

Berichte aus dem Ökolandbau 2022

Möglichkeiten und Grenzen der Intensivierung



Zusammenführung der Ergebnisse von
komplexen Dauerversuchen zur
Untersuchung ökologischer Anbau- und
Düngungsverfahren in zwei Anbau-
systemen (Marktfrucht, Futterbau) auf
Ertrag, Produktqualität, Bodenfruchtbarkeit
und Umweltwirkungen auf einem Sand- und
Lößboden in Sachsen

Dr. Hartmut Kolbe

unter Mitwirkung von Dr. Annett Model, André Schenke, Dr. Fouad Rikabi und Janine Slesaczeck

Inhalt

1	Einleitung.....	31
2	Darstellung und Abgrenzung der Fragestellungen	33
3	Material und Methoden	34
3.1	Standortbeschreibung	34
3.2	Boden	35
3.3	Witterung.....	36
3.4	Versuchsdesign.....	38
3.5	Fruchtfolgen	41
3.6	Düngung	42
3.7	Versuchsdurchführung und Feldprobenahme.....	49
3.8	Bodenuntersuchung	49
3.9	Düngemitteluntersuchungen	50
3.10	Pflanzenuntersuchungen	51
3.11	Berechnungswerkzeuge	52
4	Ergebnisse und Interpretation	55
4.1	Erträge der Fruchtarten	55
4.1.1	FM-Ertrag (HP, NP).....	55
4.1.1.1	Kleegras.....	55
4.1.1.2	Sommerweizen.....	56
4.1.1.3	Mais	59
4.1.1.4	Winterweizen.....	61
4.1.1.5	Triticale	64
4.1.1.6	Kartoffel.....	66
4.1.1.7	Zwischenfrüchte	68
4.1.2	Ertrag in Getreideeinheiten (HP + NP).....	69
4.1.2.1	Getreidearten	70
4.1.2.2	Hackfrüchte.....	73
4.1.2.3	Kleegras.....	76
4.1.2.4	Gesamte Fruchtfolge (jeweils 33,3 % KG, Getreide, Hackfrüchte).....	79
4.1.2.5	Entwicklung des Ertragsniveaus sowie Ertragsstabilität der Fruchtarten.....	83
4.2	Inhaltsstoffe und Qualitätsparameter der Fruchtarten.....	96
4.2.1	Kleegrasaufwüchse	96
4.2.1.1	Stickstoff	97
4.2.1.2	Phosphor.....	100
4.2.1.3	Kalium.....	103
4.2.1.4	Magnesium	106
4.2.1.5	Sonstige.....	108
4.2.2	Getreide (Korn und Stroh)	115
4.2.2.1	Stickstoff	115
4.2.2.2	Phosphor.....	119
4.2.2.3	Kalium.....	124
4.2.2.4	Magnesium	129
4.2.2.5	Sonstige.....	133

4.2.3	Qualitätsparameter zur Beschreibung von Körner- und Silomais	139
4.2.3.1	Stickstoff	139
4.2.3.2	Phosphor.....	139
4.2.3.3	Kalium	140
4.2.3.4	Magnesium	141
4.2.3.5	Sonstige.....	142
4.2.4	Qualitätsparameter zur Beschreibung von Kartoffeln.....	145
4.2.4.1	Knollen.....	145
4.2.4.2	Kraut	154
4.2.5	Zwischenfrüchte	158
4.2.6	Zusammenfassende Bewertung für Anbausystem und Düngung.....	160
4.3	Nährstoffgehalte des Bodens.....	161
4.3.1	Entwicklung der pH-Werte	162
4.3.1.1	Ackerkrume.....	162
4.3.1.2	Tiefenprofil	164
4.3.2	N _{min} -Menge und -Zusammensetzung	169
4.3.2.1	0 – 90 cm Bodentiefe.....	169
4.3.2.2	Tiefenprofil	176
4.3.2.3	N _{min} -Aufteilung und -Zusammensetzung	184
4.3.3	S _{min} -Mengen.....	193
4.3.3.1	0 – 90 cm Bodentiefe.....	193
4.3.3.2	Tiefenprofil	194
4.3.4	Pflanzenverfügbare Phosphor	195
4.3.4.1	Bodenkrume.....	195
4.3.4.2	Tiefenprofil	198
4.3.5	Pflanzenverfügbares Kalium	203
4.3.5.1	Ackerkrume.....	203
4.3.5.2	Tiefenprofil	207
4.3.6	Pflanzenverfügbares Magnesium.....	213
4.3.6.1	Ackerkrume.....	213
4.3.6.2	Tiefenprofil	215
4.3.7	Organischer Kohlenstoff - C _{org} -Gehalt	220
4.3.8	Gesamt-N - N _T -Gehalt	223
4.3.9	C/N-Verhältnis.....	226
4.3.10	Zusammenfassende Mittelwerte für Anbausystem und Düngung	228
4.4	Nährstoffbilanzen und -effizienzen.....	230
4.4.1	Stickstoff	233
4.4.2	Phosphor.....	239
4.4.3	Kalium	244
4.4.4	Magnesium	248
4.4.5	Schwefel	252
4.4.6	Zusammenfassende Anmerkungen	255
4.5	Ermittlung von zeitlichen Veränderungsraten an Humus und Bodennährstoffen in Relation zur Veränderung der Fruchtarterträge	256
4.5.1	Humus- und N _T -Gehalt des Bodens.....	256

4.5.2	N-Mineralisation und N _{min} -Gehalte des Bodens	260
4.5.3	Phosphat.....	265
4.5.4	Kalium.....	267
4.5.5	Magnesium	269
4.5.6	Mögliche Ursachen für die Veränderung der Fruchtarterträge	271
4.6	Relationen zwischen Salden und der Bodenveränderung an Nährstoffen sowie Strategien zur Verbesserung der Aussagefähigkeit der Nährstoff-bilanzierung im Marktfruchtsystem	277
4.6.1	Stickstoff	278
4.6.2	Phosphor.....	288
4.6.3	Kalium.....	295
4.6.4	Magnesium	301
4.6.5	Zusammenfassende Anmerkungen	304
4.7	Relation zwischen Nährstoffzufuhr, Nährstoff-bereitstellung über Mineralisation und Nährstoffbedarf der Fruchtarten	306
4.7.1	Humusumsatz und Stickstoff	306
4.7.2	Grundnährstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium, Schwefel	313
4.8	Komprimierte Darstellung der Wirkung von Standort, Anbausystem und Düngung	318
4.8.1	Standort	318
4.8.2	Anbausystem	321
4.8.3	Düngerarten	323
4.8.4	Düngungsintensität.....	326
4.8.5	Vergleich zwischen organischer und mineralischer N-Düngung.....	329
4.8.6	Zusammenfassender Vergleich zwischen den Einflussfaktoren.....	331
5	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	333
5.1	Überblick.....	333
5.1.1	Vergleich zwischen 1. und 2. Versuchsphase	333
5.1.2	Humusauf- und -abbau sowie Nährstoffmineralisation im Zeitverlauf	335
5.1.3	Wirkung der Umstellung auf ökologische Bewirtschaftungsformen	336
5.2	Möglichkeiten und Grenzen steigender Intensivierung im Ökolandbau und deren Umweltwirkung	338
5.2.1	Einfluss „mittlerer“ Intensitäten (Fruchtfolgeanteile um 33 % Leguminosen)	339
5.2.2	Einfluss niedriger Intensitäten (Viehlosigkeit, Marktfruchtanbau) mit 33 % Leguminosen in den Fruchtfolgen.....	345
5.2.3	Marktfruchtanbau mit geringem Leguminosenanbau vorwiegend als Körnerleguminosen in den Fruchtfolgen.....	349
5.2.4	Einfluss hoher bis sehr hoher Intensitäten bei 33 % Leguminosenanbau in den Fruchtfolgen	354
5.2.5	Anbausysteme um 50 % Leguminosenanbau und hoher organischer Düngung..	361
5.2.6	Zusammenfassende Anmerkungen zur Düngungsintensität.....	366
5.2.7	Einfluss organischer Düngemittelarten sowie N-Mineraldünger	383
5.2.8	Zusammenfassende Anmerkungen zu den angewendeten Düngemittelarten	393
6	Zusammenfassung	402
7	Danksagung	410
8	Literatur	410
9	Anhang.....	428

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geografische Lage der Standorte Methau und Spröda im Freistaat Sachsen (ANON. , 2007b) ...	34
Abbildung 2: Einordnung der Versuchsstandorte Spröda und Methau in die Boden-Klima-Räume (BKR) des Freistaates Sachsen (LfULG, 2012).....	36
Abbildung 3: Klimadiagramme über die monatlichen Niederschlagssummen (mm) und Lufttemperatur-Monatsmittel (°C) am Versuchsstandort Spröda (oben) in den Jahren 1995 - 2005 und Methau (unten) in den Versuchsjahren 1994 - 2007 (Angaben der Wetterstation Methau des LfULG	37
Abbildung 4: Versuchsplan mit Darstellung der kleinparzellierten Lage inkl. Faktorstufenkombination der Varianten auf den Versuchsflächen an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten) mit jeweils vier Wiederholungen (W1 - W4)	40
Abbildung 5: GE-Erträge der Wintergetreidearten (W.-Weizen, Triticale) am Standort Methau (oben) und Spröda (unten) in Bezug auf die steigende Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System	72
Abbildung 6: GE-Erträge der Nichtleguminosen (Getreide, Hackfrüchte) der Standorte Methau (oben) und Spröda (unten) in Bezug auf eine steigende Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System	75
Abbildung 7: GE-Erträge an Klee gras der Standorte Methau und Spröda in Bezug auf eine steigende Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System	78
Abbildung 8: GE-Erträge der gesamten Fruchtfolge der Standorte Methau (oben) und Spröda (unten) nach steigender Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System.....	82
Abbildung 9: Mittlere zeitliche Entwicklung der Fruchtarten-Gesamterträge im Anbausystem Marktfrucht und Futterbau der Anbauorte Methau (oben) und Spröda (unten)	84
Abbildung 10: Mittlere zeitliche Entwicklung der Fruchtarten-Gesamterträge in Folge steigender Düngungsintensität im Futterbausystem der Anbauorte Methau (oben) und Spröda (unten).....	86
Abbildung 11: Mittlere zeitliche Entwicklung der Gesamterträge der Fruchtarten in Folge steigender Düngungsintensität im System Marktfrucht der Versuchsorte Methau (oben) und Spröda (unten)	88
Abbildung 12: Mittlere zeitliche Entwicklung der Gesamterträge der Fruchtarten in Folge hoher Düngung mit organischen Düngemitteln und N-Mineraldüngung im System Futterbau der Versuchsorte Methau (oben) und Spröda (unten)	90
Abbildung 13: Mittlere zeitliche Entwicklung der Gesamterträge der Fruchtarten in Folge hoher Düngung mit organischen Düngemitteln und N-Mineraldüngung im Marktfrucht-System der Versuchsorte Methau (oben) und Spröda (unten).....	91
Abbildung 14: Ertragsreaktion der Fruchtarten im Vergleich zum Fruchtfolgedurchschnitt ($y = x$) in Folge steigender Düngeintensität im System Futterbau und Marktfrucht am Standort Methau	93
Abbildung 15: Ertragsreaktion der Fruchtarten im Vergleich zum Fruchtfolgedurchschnitt ($y = x$) in Folge steigender Düngeintensität im System Futterbau und Marktfrucht am Standort Spröda	95
Abbildung 16: Der N-Gehalt [% TM] je Anbaujahr im Mittel aller Klee gras-Schnitte an den Standorten Methau und Spröda	98
Abbildung 17: P-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte je Versuchsjahr an den Standorten Methau und Spröda	101

Abbildung 18: K-Gehalt [% TM] im Mittel aller Schnitte an Klee gras je Versuchsjahr an den Standorten Methau und Spröda	103
Abbildung 19: Mg-Gehalt [% TM] im Mittel aller Schnitte an Klee gras je Versuchsjahr an den Standorten Methau und Spröda.....	106
Abbildung 20: N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda (Methau: 1999 S.-Weizen, 2002 W.-Weizen, 2005 Triticale; Spröda: 1995 S.-Weizen, 2002 W.-Weizen).....	115
Abbildung 21: N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda.....	115
Abbildung 22: N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	116
Abbildung 23: N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	117
Abbildung 24: P-Gehalt [%TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda.....	120
Abbildung 25: P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda.....	120
Abbildung 26: P-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	121
Abbildung 27: P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	121
Abbildung 28: K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda.....	125
Abbildung 29: K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda.....	125
Abbildung 30: K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	126
Abbildung 31: K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	126
Abbildung 32: Mg-Gehalt [% TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda	129
Abbildung 33: Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda	130
Abbildung 34: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] im S.- und W.-Weizenkorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten)	135
Abbildung 35: Wuchshöhe [cm] von Weizen und Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen in Methau	137
Abbildung 36: Mehltaubefall [Note, 1 = kein Befall] von Triticale sowie Lagerneigung von Getreide allgemein (Note: - kein, + schwach, +++ starkes, wiederholtes Lager) unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen in Methau	138
Abbildung 37: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] in Körnermais unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen an den Standorten Methau und Spröda.....	144
Abbildung 38: Mittlere Nitrat-Gehalte [mg/kg TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen an den Standorten Methau und Spröda.....	150

Abbildung 39: Rohbreiverfärbung bei Kartoffeln (1 = keine Verfärbung) am Standort Methau in Bezug auf die simulierten Anbau- und Düngungsvarianten.....	151
Abbildung 40: Knollensortierung (% bzw. dt/ha) am Standort Methau und Spröda in Bezug auf die simulierten Anbau- und Düngungsverfahren	153
Abbildung 41: Mittlere Deckungsgrade [% TM] an Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen in Methau	157
Abbildung 42: Entwicklung der pH-Werte im FB- und MF-System an den Standorten Methau und Spröda in der Bodentiefe 0 - 30 cm (ohne MIN-Düngung).....	162
Abbildung 43: pH-Wert der Anbausysteme an den Standorten Methau und Spröda im Tiefenprofil (ohne MIN-Variante)	165
Abbildung 44: pH-Werte an den Standorten Methau und Spröda im Tiefenprofil nach Düngeintensität (FB, MF gesamt).....	166
Abbildung 45: Entwicklung der pH-Werte an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten) im Tiefenprofil nach Düngemittelart	168
Abbildung 46: Entwicklung der N_{\min} -Gehalte im FB- und MF-System in 3 Bodenschichten bei Frühjahrs- und Herbstmessung am Standorte Methau (ohne MIN-Varianten)	170
Abbildung 47: Entwicklung der N_{\min} -Mengen im FB- und MF-System in 3 Bodenschichten bei Frühjahrs- sowie Herbstmessung am Standorte Spröda (ohne MIN-Düngung).....	171
Abbildung 48: N_{\min} -Mengen im Tiefenprofil der Anbausysteme (ohne MIN-Düngung).....	177
Abbildung 49: N_{\min} -Gehalte im Tiefenprofil bei differenzierter Düngeintensität an den Standorten Methau und Spröda (FB + MF gemittelt)	178
Abbildung 50: N_{\min} -Mengen im Tiefenprofil nach Düngerarten (FB + MF gemittelt)	180
Abbildung 51: N_{\min} -Mengen im Herbst (0 – 90 cm, oben) und im Tiefenprofil (90 – 200 cm, unten) nach Düngerarten in Methau.....	182
Abbildung 52: N_{\min} -Mengen im Herbst (0 – 90 cm, oben) und im Tiefenprofil (90 – 200 cm, unten) nach Düngerarten in Spröda	183
Abbildung 53: Aufteilung der N_{\min} -Gehalte der drei untersuchten Schichten bis 90 cm der Frühjahrs- (oben) und Herbstanalysen (Mitte) sowie in den zwei Schichten bis 200 cm Bodentiefe (unten) auf den Düngungsvarianten im Durchschnitt der Anbausysteme am Ort Methau und Spröda.....	185
Abbildung 54: Aufteilung der N_{\min} -Gehalte der drei untersuchten Schichten bis 90 cm der Frühjahrs- (oben) und Herbstanalysen (Mitte) sowie in den zwei Schichten bis 200 cm Bodentiefe (unten) der Düngemittelvarianten im Durchschnitt der Anbausysteme am Ort Methau und Spröda.....	186
Abbildung 55: Durchschnittliche Zusammensetzung der N_{\min} -Gehalte der Frühjahrs-(oben) und Herbstanalysen (Mitte) von 0 – 90 cm sowie von 90 – 200 cm Bodentiefe (unten) der Düngungsvarianten der Orte Methau und Spröda	188
Abbildung 56: Durchschnittliche Zusammensetzung der N_{\min} -Gehalte der Frühjahrs- (oben) und Herbstanalysen (Mitte) von 0 – 90 cm sowie von 90 – 200 cm Bodentiefe (unten) der Düngemittelvarianten an den Orten Methau und Spröda.....	190

Abbildung 57: Zusammenhang zwischen der N_{\min} -Zusammensetzung und dem N-Verlagerungspotenzial nach kontinuierlicher organischer Düngung und N-Mineraldüngung in der zweiten Versuchsphase zum Zeitpunkt der Frühjahrs- und Herbstbeprobung (oben, Mitte; 0 – 90 cm Bodentiefe) und im Bodenprofil (unten) von 90 – 200 cm Tiefe	192
Abbildung 58: S_{\min} -Mengen im Tiefenprofil der Anbausysteme (ohne MIN-Düngung)	195
Abbildung 59: Entwicklung der löslichen P-Gehalte der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (ohne MIN-Düngung)	196
Abbildung 60: CAL- bzw. DL- extrahierbare P-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Anbausystemen (ohne MIN-Düngung).....	199
Abbildung 61: CAL- bzw. DL- extrahierbare P-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Düngungsintensitäten (FB + MF gemittelt).....	201
Abbildung 62: CAL- bzw. DL- extrahierbare P-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Düngungsvarianten (FB+MF gemittelt)	202
Abbildung 63: Entwicklung der pflanzenverfügbaren K-Gehalte an den Standorten Methau und Spröda in der zweiten Versuchshälfte unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität in 0 - 30 cm Bodentiefe (ohne MIN-Düngung)	204
Abbildung 64: CAL- bzw. DL- extrahierbare K-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda im Jahr 2000 sowie zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Anbausystemen (ohne MIN-Düngung)	208
Abbildung 65: CAL- bzw. DL- extrahierbare K-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngungsintensitäten (FB + MF gemittelt).....	210
Abbildung 66: CAL- bzw. DL- extrahierbare K-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda im Jahr 2000 und zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Düngungsvarianten (FB+MF gemittelt)	212
Abbildung 67: Entwicklung der Mg-Gehalte (nach $CaCl_2$ -Methode) unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität in 0 – 30 cm Bodentiefe an den Standorten Methau und Spröda (ohne MIN-Düngung)	213
Abbildung 68: Extrahierbare Mg-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda im Jahr 2000 sowie zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Anbausystemen (ohne MIN-Düngung).....	216
Abbildung 69: Entwicklung der Mg-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngungsintensitäten (FB + MF gemittelt)	217
Abbildung 70: $CaCl_2$ -extrahierbare Mg-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngungsvarianten	219
Abbildung 71: Mittlere C_{org} -Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngungsvarianten	223
Abbildung 72: Mittlere N_T -Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngungsvarianten.....	226
Abbildung 73: Unterschiede in der aktiven Zufuhr von Trockenmasse durch Düngung und Anbausystem in den Düngungsvarianten am Standort Methau (oben) und Spröda (unten)	231
Abbildung 74: Gesamt-Zufuhr, -Abfuhr und -Saldo für Stickstoff zwischen den Jahren 1993 – 2007 in Bezug auf die Anbausysteme und die Düngungsvarianten am Standort Methau	234

Abbildung 75: Gesamt-Zufuhr, -Abfuhr und -Saldo für Stickstoff zwischen den Jahren 1993 – 2005 in Bezug auf die Anbausysteme und die Düngungsvarianten am Ort Spröda.....	235
Abbildung 76: Zufuhr, Abfuhr und Saldo an Phosphor im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit in den Anbausystemen und Düngungsvarianten an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten).....	241
Abbildung 77: Zufuhr, Abfuhr und Saldo an Kalium im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit in Bezug auf die Anbau- und Düngungsvarianten am Standort Methau (oben) und Spröda (unten).....	245
Abbildung 78: Zufuhr, Abfuhr und Saldo an Magnesium im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit in den Anbau- und Düngungssystemen am Standort Methau (oben) und Spröda (unten).....	249
Abbildung 79: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der C_{org} -Gehalte im Oberboden im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	257
Abbildung 80: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der N_t -Gehalte des Bodens im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	259
Abbildung 81: Jährliche Veränderung der N-Mineralisation (kg N/ha u. Jahr) im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)	261
Abbildung 82: Jährliche Veränderung der N_{min} -Gehalte (kg N/ha u. Jahr) im Frühjahr (oben) und im Herbst (unten) im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau	263
Abbildung 83: Jährliche Veränderung der N_{min} -Gehalte (kg N/ha u. Jahr) im Frühjahr (oben) und im Herbst (unten) im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Spröda	264
Abbildung 84: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der löslichen P_{DL} -Gehalte im Boden im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)	266
Abbildung 85: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der löslichen K_{DL} -Gehalte im Boden im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)	268
Abbildung 86: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der löslichen Mg_{CaCl_2} -Gehalte im Boden im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)	270
Abbildung 87: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der GE-Erträge der angebauten Fruchtarten (dt/ha u. Jahr) im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	272
Abbildung 88: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Stickstoff (brutto) und der jährlichen Veränderung der N_t -Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	279
Abbildung 89: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Stickstoff (brutto) und der jährlichen Veränderung der C_{org} -Gehalte im Boden in den Futterbau- und Marktfrucht-Varianten am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	282
Abbildung 90: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Stickstoff (brutto) und der jährlichen Veränderung der N_t -Gehalte im Boden in den Futterbau- und Marktfruchtvarianten am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	283

Abbildung 91: Übereinstimmung der statistischen Beziehungen zwischen den korrigierten N-Salden und der Veränderung der N_t -Gehalte im Boden zwischen dem Futterbau- und Marktfruchtssystem am Ort Methau (oben) und Spröda (unten) bei jeweils 50 % N-Anrechnung der MF-Klee gras-Aufwüchse	285
Abbildung 92: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Phosphor und der jährlichen Veränderung der P_{DL} -Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen organischen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	289
Abbildung 93: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Phosphor und der Veränderung der jährlichen P_{DL} -Gehalte im Boden in den Futterbau- und Marktfrucht-Varianten am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	291
Abbildung 94: Übereinstimmung der statistischen Beziehungen zwischen den korrigierten P-Salden und der jährlichen Veränderung der DL-löslichen P-Gehalte im Boden der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht am Ort Methau (oben; 30 %ige P-Anrechnung) und Spröda (unten; 40 %ige P-Anrechnung im Klee gras-Aufwuchs, jeweils unter Einbeziehung der P_t -Änderung im Bodenfond).....	294
Abbildung 95: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Kalium und der jährlichen Veränderung der K_{DL} -Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen organischen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	296
Abbildung 96: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Kalium und der jährlichen Veränderung der K_{DL} -Gehalte im Boden in den Varianten des Futterbaus und der Marktfrucht am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	297
Abbildung 97: Übereinstimmung der statistischen Beziehungen zwischen den korrigierten K-Salden und der Veränderung der DL-löslichen K-Gehalte im Boden der Systeme Futterbau und Marktfrucht am Ort Methau (oben; 20 %ige K-Anrechnung) und Spröda (unten; 50 %ige K-Anrechnung im Klee gras-Aufwuchs, jeweils unter Einbeziehung der K_t -Bodenbilanz im Saldo).....	300
Abbildung 98: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Magnesium und der jährlichen Veränderung der Mg_{CaCl_2} -Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen organischen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	302
Abbildung 99: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Magnesium und der Veränderung der Mg_{CaCl_2} -Gehalte im Boden in den Varianten des Futterbaus und der Marktfrucht am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten).....	303
Abbildung 100: Vergleich zwischen gemessener und mit Hilfe des Modells CCB berechneten Veränderungen der C_{org} -Mengen (kg/ha u. Jahr) des Bodens am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten) (Rot = Ohne Düngung; Violett = Stalldung; Gelb = Gülle; Grün = Grüngut; Blau = N-Mineraldüngung; Schwarz = Mittelwert)	310
Abbildung 101: Rangfolge der relativen Wirkung der Standorte Methau (= 0,0 %) im Vergleich zu Spröda auf die Veränderung des Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte am Standort Methau; (DA) = Merkmal in Diskriminanzanalyse).....	320
Abbildung 102: Rangfolge der relativen Wirkung der Anbausysteme Futterbau (= 0,0 %) im Vergleich zur Marktfrucht auf die Veränderung des Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte im System Futterbau; (DA) = Merkmale in Diskriminanzanalyse).....	322
Abbildung 103: Rangfolge der relativen Wirkung der Düngemittelarten ohne Düngung (= 0,0 %) im Vergleich zu Stallmist inkl. Grüngut (SM/M), Rindergülle (G) und N-Mineraldüngung (MIN) auf die Veränderung des	

Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte in Vergleichsgruppe ohne Düngung; (DA) = Merkmale in Diskriminanzanalyse, zusätzlich P-Düngung).....	325
Abbildung 104: Rangfolge der relativen Wirkung der Düngungsintensität ohne Düngung (= 0,0 %) im Vergleich zu 0,5 DE, 1,0 DE und 2,0 DE/ha Düngung auf die Veränderung des Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte in Vergleichsgruppe ohne Düngung; (DA) = Merkmal in Diskriminanzanalyse, zusätzlich S- und Mg-Düngung).....	328
Abbildung 105: Zusammenhang zwischen langfristig verabreichten Düngemitteln und den Relationen zwischen den durchschnittlichen N_{\min} -Werten in 0 – 90 cm Bodentiefe im Frühjahr, im Herbst und den N_{\min} -Gehalten in 90 – 200 cm Tiefe sowie den korrigierten N-Bruttosalden des Sandbodens in Spröda und des Lößbodens in Methau.....	330
Abbildung 106: Entwicklung von einigen Bilanzkriterien, der Mineralisation und dem reaktiven Stickstoff sowie dem GE-Ertrag in Abhängigkeit von vier Intensitätsstufen am Anbauort Methau (oben) und in Spröda (unten)	368
Abbildung 107: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosenanteilen in den Fruchtfolgen auf die Ergebnisse der Humusbilanzierung in Dauerversuchen auf schwerem Boden	371
Abbildung 108: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosenanteilen in den Fruchtfolgen auf die berechnete legume N_2 -Bindung der Leguminosen in Dauerversuchen auf schwerem Boden	372
Abbildung 109: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die N_{\min} -Gehalte des Bodens im zeitigen Frühjahr in Dauerversuchen auf schwerem Boden	374
Abbildung 110: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die GE-Erträge der Fruchtfolgen in Dauerversuchen auf schwerem Boden.....	375
Abbildung 111: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die N-Salden (brutto) der Fruchtfolgen in Dauerversuchen auf schwerem Boden.....	377
Abbildung 112: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die P-Salden (oben) und K-Salden (unten) der Fruchtfolgen in Dauerversuchen auf schwerem Boden ...	379
Abbildung 113: Zusammenhang zwischen den N-Salden und den ermittelten N-Effizienzen in den Dauerversuchen auf schwerem Boden	381
Abbildung 114: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die N-Gesamt-Effizienz in Dauerversuchen auf schwerem Boden	383
Abbildung 115: Vergleich von einigen Bilanzkriterien, der Mineralisation und dem reaktiven Stickstoff sowie dem GE-Ertrag zwischen den langjährig angewendeten Düngemittelarten am Anbauort Methau (oben) und Spröda (unten)	395
Abbildung 116: Absolute Differenzwerte von einigen Bilanzkriterien, der Mineralisation und dem reaktiven Stickstoff sowie dem GE-Ertrag zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht (Werte Marktfrucht minus Werte Futterbau) für die langjährig angewendeten Düngervarianten Ohne Düngung, Stalldung und N-Mineraldünger im Durchschnitt der Anbauorte Methau und Spröda.....	400

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lage, Standort- und Bodenfaktoren der Prüffelder Methau und Spröda (ANON., 2007b).....	35
Tabelle 2: Witterungsparameter im Verlauf der Versuchsjahre an den Standorten Methau und Spröda	38
Tabelle 3: Prüffaktoren (A, B, C) und Definition der Faktorstufen der zwei Dauerversuchsanlagen	39
Tabelle 4: Fruchtfolge an den Standorten Methau und Spröda	41
Tabelle 5: Düngerarten und Düngungshöhe am Versuchsstandort Methau	42
Tabelle 6: Düngerarten und Düngungshöhe am Versuchsstandort Spröda.....	44
Tabelle 7: Verabreichte Nährstoffmengen über die Düngung in Methau im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit (1993 – 2007).....	47
Tabelle 8: Verabreichte Nährstoffmengen über die Düngung in Spröda im Durchschnitt der Versuchszeit (1993 – 2005).....	48
Tabelle 9: Mittlere Nährstoffgehalte der eingesetzten organischen Düngemittel	48
Tabelle 10: FM-Ertrag [dt/ha] Klee gras unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	56
Tabelle 11: FM-Ertrag [dt/ha] Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda.....	56
Tabelle 12: FM-Ertrag [dt/ha] HP (oben) und NP (unten) von Sommerweizen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau (1997, 1999) und Spröda (1995, 1998)	57
Tabelle 13: FM-Ertrag [dt/ha] HP Sommerweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dün gestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (1997, 1999).....	57
Tabelle 14: FM-Ertrag [dt/ha] HP Sommerweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dün gestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (1995, 1998)	58
Tabelle 15: FM-Ertrag[dt/ha] HP (oben) und NP (unten) von Sommerweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau (1997, 1999) und Spröda (1995, 1998)	58
Tabelle 16: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze (oben) und Korn (unten) bei Mais unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	59
Tabelle 17: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze bei Mais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dün gestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 1998).....	60
Tabelle 18: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze bei Mais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dün gestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (1996, 1999)	60
Tabelle 19: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze bei Mais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	60
Tabelle 20: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2002).....	61

Tabelle 21: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 2002).....	62
Tabelle 22: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (Jahr 2002).....	63
Tabelle 23: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2002).....	63
Tabelle 24: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (links) und NP (rechts) bei Triticale unter Berücksichtigung der Dünge­ungsintensität am Standort Methau (Jahr 2005).....	64
Tabelle 25: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 2005).....	65
Tabelle 26: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten am Standort Methau (Jahr 2005)	65
Tabelle 27: FM-Ertrag [dt/ha] Kartoffelknollen (oben) und Kraut (unten) unter Berücksichtigung der Dünge­ungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2004).....	66
Tabelle 28: FM-Ertrag [dt/ha] an Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 2004).....	67
Tabelle 29: FM-Ertrag [dt/ha] an Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (Jahr 2004)	67
Tabelle 30: FM-Ertrag [dt/ha] an Kartoffelknollen (oben) und Kraut (unten) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2004).....	68
Tabelle 31: FM-Ertrag [dt/ha] von Senf-Zwischenfrucht unter Berücksichtigung der Dünge­ungsintensität in Methau (Jahr 2002).....	68
Tabelle 32: FM-Ertrag [dt/ha] an Senf-Zwischenfrucht unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten am Standorte Methau (Jahr 2002)	69
Tabelle 33: GE-Ertrag (dt/ha) an Getreide (Korn, Stroh von S.-Weizen, W.-Weizen, Triticale) unter Berücksichtigung der Dünge­ungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	70
Tabelle 34: GE-Ertrag (dt/ha) an Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau.....	71
Tabelle 35: GE-Ertrag (dt/ha) an Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	71
Tabelle 36: GE-Ertrag (dt/ha) an Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	71
Tabelle 37: GE-Ertrag (dt/ha) der Hackfrüchte (Mais, Kartoffeln) unter Berücksichtigung der Dünge­ungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	73

Tabelle 38: GE-Ertrag (dt/ha) an Hackfrüchten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau.....	74
Tabelle 39: GE-Ertrag (dt/ha) an Hackfrüchten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	74
Tabelle 40: GE-Ertrag (dt/ha) an Hackfrüchten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	74
Tabelle 41: GE-Ertrag (dt/ha) Klee­gras­aufwuchs (2. Versuchsphase) unter Berücksichtigung der Dünge­ungs­intensität an den Standorten Methau und Spröda	76
Tabelle 42: GE-Ertrag (dt/ha) an Klee­gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau.....	77
Tabelle 43: GE-Ertrag (dt/ha) an Klee­gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	77
Tabelle 44: GE-Ertrag (dt/ha) durch Klee­gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	77
Tabelle 45: GE-Ertrag (dt/ha) der Fruchtfolge (33,3 % Klee­gras, Getreide, Hackfrüchte) unter Berücksichtigung der Dünge­ungs­intensität an den Standorten Methau und Spröda	80
Tabelle 46: GE-Ertrag (dt/ha) der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau.....	80
Tabelle 47: GE-Ertrag (dt/ha) der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	81
Tabelle 48: GE-Ertrag (dt/ha) der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	81
Tabelle 49: Intensität von Anbau und Beerntung von Klee­gras an den Standorten Methau und Spröda.....	97
Tabelle 50: Mittlerer N-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem ¹⁾	98
Tabelle 51: N-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee­gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Dünge­ungs­intensität an den Standorten Methau und Spröda.....	99
Tabelle 52: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Klee­gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	99
Tabelle 53: N-Gehalt [% TM] im Klee­gras-Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen am Standort Methau	99
Tabelle 54: N-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda.....	100
Tabelle 55: Mittlerer P-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem ¹⁾	100
Tabelle 56: P-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee­gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Dünge­ungs­intensität an den Standorten Methau und Spröda.....	101

Tabelle 57: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	102
Tabelle 58: P-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Methau	102
Tabelle 59: P-Gehalt [% TM] im Klee gras-Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda	102
Tabelle 60: Mittlerer K-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem ¹⁾	104
Tabelle 61: K-Gehalt [% TM] im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngeungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	104
Tabelle 62: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	105
Tabelle 63: K-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Methau	105
Tabelle 64: K-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda	105
Tabelle 65: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem ¹⁾	106
Tabelle 66: Mg-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngeungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	107
Tabelle 67: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	107
Tabelle 68: Mg-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Methau	108
Tabelle 69: Mg-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda	108
Tabelle 70: Mittlerer Gehalt an Rohfaser [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem ¹⁾ ..	109
Tabelle 71: Der Gehalt an Rohfaser [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngeungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	109
Tabelle 72: Mittlerer Gehalt an Rohfaser [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	109
Tabelle 73: Der Gehalt an Rohasche [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngeungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	110
Tabelle 74: Mittlerer Gehalt an Rohasche [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	110

Tabelle 75: Mittlerer NEL-Werte [MJ/kg TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten am Standorte Spröda	111
Tabelle 76: Anteil an Leguminosen [%] im Klee gras-Gemenge in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem ¹⁾	111
Tabelle 77: Lesguminosenanteil (%) im Klee grasgemenge im Mittel der erhobenen Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	112
Tabelle 78: Leguminosenanteil (%) im Klee grasgemenge im Mittel der erhobenen Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Methau	112
Tabelle 79: Leguminosenanteil (%) im Klee grasgemenge im Mittel der erhobenen Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Spröda	112
Tabelle 80: Leguminosenanteil (%) im Klee grasgemenge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	113
Tabelle 81: Durchschnittliche legume N ₂ -Bindung von Klee gras (kg N/ha Klee grasjahr) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	113
Tabelle 82: Durchschnittliche legume N ₂ -Bindung von Klee gras (kg N/ha Klee grasjahr) im Mittel aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Methau	114
Tabelle 83: Durchschnittliche legume N ₂ -Bindung von Klee gras (kg N/ha Klee grasjahr) im Mittel aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Spröda	114
Tabelle 84: Durchschnittliche legume N ₂ -Bindung von Klee gras (kg N/ha Klee grasjahr) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	114
Tabelle 85: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	117
Tabelle 86: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	117
Tabelle 87: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	118
Tabelle 88: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	118
Tabelle 89: N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda	118
Tabelle 90: N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda	119
Tabelle 91: Mittlerer P-Gehalt [% TM] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	122

Tabelle 92: Mittlerer P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	122
Tabelle 93: Mittlerer P-Gehalt [%] im Erntegut im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	122
Tabelle 94: Mittlerer P-Gehalt [% TM] im Erntegut im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	123
Tabelle 95: P-Gehalt [% TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda	123
Tabelle 96: P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen an den Standorten Methau und Spröda	124
Tabelle 97: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	126
Tabelle 98: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	127
Tabelle 99: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	127
Tabelle 100: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	128
Tabelle 101: K-Gehalt [%TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda	128
Tabelle 102: K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen an den Standorten Methau und Spröda	129
Tabelle 103: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	130
Tabelle 104: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	131
Tabelle 105: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	131
Tabelle 106: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	131
Tabelle 107: Mg-Gehalt [%TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen an den Standorten Methau und Spröda	132
Tabelle 108: Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda	132
Tabelle 109: Mittlere Fallzahlen [s] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	133

Tabelle 110: Mittlere Fallzahlen [s] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	133
Tabelle 111: Mittlere Sedimentationswerte [ml] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	134
Tabelle 112: Mittlere Sedimentationswerte [ml] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	134
Tabelle 113: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] im S.- und W.-Weizenkorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	136
Tabelle 114: Mittlere TKM-Werte [g] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	136
Tabelle 115: Mittlere TKM-Werte [g] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	136
Tabelle 116: Mittlere Wuchshöhe [cm] von Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	137
Tabelle 117: Mehltaubefall [Note, 1 = kein Befall] von Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in Methau.....	138
Tabelle 118: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	139
Tabelle 119: Mittlere N-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	139
Tabelle 120: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	140
Tabelle 121: Mittlere P-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	140
Tabelle 122: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	140
Tabelle 123: Mittlere K-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	141
Tabelle 124: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	141
Tabelle 125: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	141
Tabelle 126: Mittlere Gehalte an Rohfaser [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	142
Tabelle 127: Mittlere Gehalte an Rohfaser [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	142

Tabelle 128: Mittlere Gehalte an Stärke [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	143
Tabelle 129: Mittlere Gehalte an Stärke [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	143
Tabelle 130: Mittlere Gehalte an Rohfett [% TM] im Körnermais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	143
Tabelle 131: Mittlere Gehalte an Rohfett [% TM] im Körnermais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	143
Tabelle 132: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	144
Tabelle 133: Mittlere N-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	145
Tabelle 134: Mittlere N-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	146
Tabelle 135: Mittlere P-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	146
Tabelle 136: Mittlere P-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	146
Tabelle 137: Mittlere K-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	147
Tabelle 138: Mittlere K-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	147
Tabelle 139: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	148
Tabelle 140: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	148
Tabelle 141: Mittlere Trockenmasse-Gehalte [% FM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	148
Tabelle 142: Mittlere Trockenmasse-Gehalte [% FM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	149
Tabelle 143: Mittlere Stärke-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	149
Tabelle 144: Mittlere Stärke-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	149
Tabelle 145: Mittlere Nitrat-Gehalte [mg/kg TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	151

Tabelle 146: Mittlere Rohbreiervärbung [Note, 1 = keine Verfärbung] von Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau	152
Tabelle 147: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	154
Tabelle 148: Mittlere N-Gehalte [% TM]] im Kraut von Kartoffeln unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	154
Tabelle 149: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Kraut von Kartoffeln unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	154
Tabelle 150: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	155
Tabelle 151: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Kraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	155
Tabelle 152: Mittlere Gehalte an Mikronährstoffen im Kraut der Futterbauvarianten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	156
Tabelle 153: Mittlere Werte an Chlorophyll [Relativwert] im Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	156
Tabelle 154: Mittlere Werte an Chlorophyll [Relativwert] im Kraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	156
Tabelle 155: Mittlere Deckungsgrade [% TM] an Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in Methau.....	157
Tabelle 156: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	158
Tabelle 157: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	158
Tabelle 158: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	158
Tabelle 159: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	159
Tabelle 160: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	159
Tabelle 161: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	163
Tabelle 162: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	163
Tabelle 163: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda.....	164

Tabelle 164: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	164
Tabelle 165: N_{\min} -Gehalt [kg N/ha] im Mittel der Jahre im FB- und MF-System in 3 Bodenschichten nach Frühjahrs- und Herbstmessung an den Standorten Methau und Spröda (ohne MIN-Düngung)	172
Tabelle 166: Aggregierte N_{\min} -Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) zu Versuchsbeginn und -ende unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	173
Tabelle 167: N_{\min} -Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und -stufen in den Anbausystemen am Standort Methau	174
Tabelle 168: N_{\min} -Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Spröda	175
Tabelle 169: N_{\min} -Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	176
Tabelle 170: Mittlere S_{\min} -Mengen [kg S/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	193
Tabelle 171: S_{\min} -Mengen [kg S/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	194
Tabelle 172: Aggregierte lösliche P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	197
Tabelle 173: Lösliche P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	197
Tabelle 174: P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	198
Tabelle 175: Mittlere lösliche P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	198
Tabelle 176: Mittlere lösliche K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	205
Tabelle 177: Lösliche K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	205
Tabelle 178: Lösliche K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	206

Tabelle 179: Mittlere K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	206
Tabelle 180: Lösliche Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	214
Tabelle 181: Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	214
Tabelle 182: Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda.....	215
Tabelle 183: Lösliche Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	215
Tabelle 184: Mittlere C _{org} -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	220
Tabelle 185: C _{org} -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	221
Tabelle 186: C _{org} -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda.....	221
Tabelle 187: Mittlere C _{org} -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	222
Tabelle 188: Entwicklung der N _f -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	224
Tabelle 189: Entwicklung der N _f -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	224
Tabelle 190: Entwicklung der N _f -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	225
Tabelle 191: Entwicklung der N _f -Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	225
Tabelle 192: Entwicklung der C/N-Verhältnisse [N = 1] im Oberboden unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	227
Tabelle 193: Entwicklung der C/N-Verhältnisse im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	227
Tabelle 194: Entwicklung der C/N-Verhältnisse im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda.....	227
Tabelle 195: Entwicklung der C/N-Verhältnisse im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	228
Tabelle 196: Aktive Zufuhr von Trockenmasse [dt TM/ha u. Jahr] durch Düngung (oben), Kleeerasaufwüchse (Mitte) und Stroh (unten) im Durchschnitt der Anbausysteme und Düngemittelarten am Standort Methau und Spröda	232

Tabelle 197: Ergebnisse der N-Schlagbilanzierung [kg N/ha u. Jahr] einer Fruchtfolge zur zweiten Versuchsphase unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	236
Tabelle 198: Ergebnisse der N-Schlagbilanzierung [kg N/ha u. Jahr] einer Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	237
Tabelle 199: Ergebnisse der Fruchtfolge-Schlagbilanzierung für Stickstoff [kg N/ha u. Jahr] unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	238
Tabelle 200: Ergebnisse der N-Schlagbilanzierung [kg N/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	239
Tabelle 201: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] einer definierten Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	242
Tabelle 202: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	242
Tabelle 203: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	243
Tabelle 204: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	244
Tabelle 205: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der veranschlagten Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	246
Tabelle 206: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	246
Tabelle 207: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	247
Tabelle 208: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	247
Tabelle 209: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	250
Tabelle 210: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	250
Tabelle 211: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda.....	251
Tabelle 212: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	251

Tabelle 213: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda	252
Tabelle 214: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	253
Tabelle 215: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda	254
Tabelle 216: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	255
Tabelle 217: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der C _{org} -Mengen [kg C/ha u. Jahr] im Oberboden im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme am Versuchsort Methau und Spröda (A – E = Humus-Versorgungsgruppen).....	258
Tabelle 218: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der N _t -Mengen [kg N/ha u. Jahr] im Oberboden im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme am Versuchsort Methau und Spröda	260
Tabelle 219: Jährliche Veränderung der N-Mineralisation (kg N/ha u. Jahr) an den Versuchsorten Methau und Spröda im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme (oben: MW 0,5-2,0 DE, unten 2,0 DE/ha).....	262
Tabelle 220: Jährliche Veränderung der N _{min} -Gehalte (kg N/ha u. Jahr) im Frühjahr (oben) und im Herbst (unten) am Versuchsort Methau und Spröda im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme (oben: MW 0,5-2,0 DE, unten 2,0 DE/ha).....	265
Tabelle 221: Jährliche Veränderung der löslichen P-Mengen [kg P/ha] in der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	267
Tabelle 222: Jährliche Veränderung der löslichen K-Mengen [kg P/ha] in der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	269
Tabelle 223: Jährliche Veränderung der löslichen Mg-Mengen [kg P/ha] in der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda	271
Tabelle 224: Jährliche Veränderung der GE-Gesamterträge der Fruchtarten (dt/ha u. Jahr) am Versuchsort Methau und Spröda im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme (oben: MW 0,5-2,0 DE, unten 2,0 DE/ha).....	273
Tabelle 225: Korrelationsmatrix (r) zwischen den ermittelten jährlichen Veränderungen an GE-Erträgen der Fruchtarten und den Bodenmerkmalen an den Standorten Methau und Spröda	274
Tabelle 226: Parziale Korrelationsanalysen (r) zwischen der Veränderung der GE-Erträge und der Gehalte mit Bodennährstoffen am Standort Methau und Spröda.....	276
Tabelle 227: Korrektur der N-Salden durch Berücksichtigung der variierten KG-Aufwüchse in den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten des Marktfrucht-systems (rechts) für den Standort Methau (Erklärung siehe Text)	287

Tabelle 228: Korrektur der N-Salden durch variierte Berücksichtigung der KG-Aufwüchse in den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten im Marktfruchtsystem (rechts) für den Standort Spröda (Erklärung siehe Text)	288
Tabelle 229: Korrektur der P-Salden durch variierte Berücksichtigung der KG-Aufwüchse bei den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten im Marktfruchtsystem (rechts) für den Ort Methau (oben) und Spröda (unten) ohne Einbeziehung der P_T -Bodenänderung im Saldo	293
Tabelle 230: Korrektur der K-Salden durch variierte Berücksichtigung der KG-Aufwüchse bei den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten im Marktfruchtsystem (rechts) für den Standort Methau (oben) und Spröda (unten) ohne Einbeziehung der K_T -Bodenänderung in die Salden	298
Tabelle 231: Korrelationskoeffizienten (r , einseitiger Test) zwischen den korrigierten Nährstoffsalden für Stickstoff, Phosphor und Kalium und verschiedenen Merkmalen der Ackerkrume und des Tiefenprofils des Bodens an den Standorten Methau und Spröda.....	305
Tabelle 232: Entwicklung der mittleren Korrelationskoeffizienten (r , einseitiger Test) der Bodenmerkmale bei Verwendung verschiedener Arten an Nährstoffsalden für Stickstoff, Phosphor und Kalium an den Standorten Methau und Spröda.....	305
Tabelle 233: Mit dem Modell CCB berechnete Humussalden (oben; kg C_{org} /ha u. Jahr) und N-Mineralisation (unten; kg N/ha u. Jahr) der Fruchtfolge (33,3 % Klee gras, Getreide, Hackfrüchte) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A – E = Humusversorgungsgruppen)	307
Tabelle 234: Mit dem Modell CCB berechnete Humussalden (oben; kg C_{org} /ha u. Jahr) und N-Mineralisation (unten; kg N/ha u. Jahr) der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau	307
Tabelle 235: CCB-berechnete Humussalden (oben; kg C_{org} /ha u. Jahr) und N-Mineralisation (unten; kg N/ha u. Jahr) der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda.....	308
Tabelle 236: CCB-berechnete Humussalden (oben; kg C_{org} /ha u. Jahr) und N-Mineralisation (unten; kg N/ha u. Jahr) der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda (A – E = Humusversorgungsgruppen).....	308
Tabelle 237: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr sowie an pflanzenverfügbaren Formen der Zufuhr an Stickstoff (kg N/ha u. Jahr) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	312
Tabelle 238: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Phosphor (kg P/ha u. Jahr) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A–E-Klassen nach KOLBE , 2019: Ökolandbau).....	314
Tabelle 239: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Kalium (kg K/ha u. Jahr) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A–E-Klassen nach KOLBE , 2019: Ökolandbau)	315
Tabelle 240: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Magnesium (kg Mg/ha u. Jahr) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A–E-Klassen nach ALBERT et al., 2007: konvention. Landbau)	316
Tabelle 241: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Schwefel (kg S/ha u. Jahr) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda.....	317

Tabelle 242: Wirkungsvergleich der Einflussfaktoren auf die Veränderung der ermittelten Merkmale (-, + = rel. Ab- bzw. Zunahme um 5 – 50 %; --, ++ = 50 – 100 %; ---, +++ = > 100 % im Vergleich zum jeweiligen Standard = 0 %)	332
Tabelle 243: Mittlere Werte einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit der Futterbau- und Marktfruchtsysteme der Düngungsvariante 0,5 DE/ha auf dem Lehmstandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda	341
Tabelle 244: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität (= 100 %, siehe Tab. 343) einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit bei reinen Futterbau- und Marktfruchtsystemen der Variante 0,0 DE/ha auf dem Lehmstandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda	347
Tabelle 245: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität (Vergleich = 100 %, siehe Tab. 243) einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit in Marktfruchtsystemen mit 33 % Fruchtfolgeanteil mit Leguminosen aus Klee gras bzw. Körnerleguminosen auf Lehm Boden (nach Daten von SCHULZ, 2012; CASTELL et al., 2016).....	350
Tabelle 246: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative (in Klammern) Veränderung gegenüber einer mittleren Intensität (Vergleich1 = 100 %, siehe Tab. 243) bzw. niedrigen viehlosen Intensität (Vergleich 2, siehe Tab. 244) einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit in Marktfruchtsystemen mit 20 % Fruchtfolgeanteil an Leguminosen aus Klee gras bzw. Körnerleguminosen auf Lehm Boden (nach Daten von KOCH, 2012, 2019a,b; HOF-KAUTZ, 2019)	352
Tabelle 247: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität (= 100 %, siehe Tab. 243) einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit der Futterbau- und Marktfruchtsysteme der Düngungsvariante mit 1,0 DE/ha auf dem Lehmstandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda	356
Tabelle 248: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität (= 100 %, siehe Tab. 243) einiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit der Futterbau- und Marktfruchtsysteme bei einer Düngungshöhe der Variante mit 2,0 DE/ha auf dem Lehmstandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda	360
Tabelle 249: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität (Vergleich 1 = 100 %, siehe Tab. 243) einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit von Anbausystemen mit 50 % Fruchtfolgeanteil an Futter- und Körnerleguminosen und zusätzlicher organischer Düngung bis 2,0 DE/ha und Jahr (nach Daten von MEYER et al., in Vorbereitung; FARACK et al., in Vorbereitung).....	363
Tabelle 250: Mittlere Werte-Differenzen sowie relative Veränderungen gegenüber ohne Düngung (= 100 %) einiger Merkmale nach stetiger Düngung mit Stalldung, Grüngut, Gülle und N-Mineraldünger im Durchschnitt der Versuchsstandorte.....	388
Tabelle A 1: Abfolge der durchgeführten acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen an den Versuchsstandorten Methau und Spröda	428
Tabelle A 2: Ergänzende Merkmale der Bodenuntersuchung der Ackerkrume zum Versuchsende im Jahr 2007 am Standort Methau	438
Tabelle A 3: Ergänzende Merkmale der Bodenuntersuchung der Ackerkrume zum Versuchsende im Jahr 2005 am Standort Spröda	440

Tabelle A 4: Veränderung regressionsstatistischer Merkmale zwischen den Nährstoffsalden und den Veränderungen dieser Nährstoffe im Boden zwischen den Anbauvarianten Futterbau und Marktfrucht nach Abzug unterschiedlicher Anteile der Nährstoffaufnahme in gemulchten Kleeergrasaufwüchsen (oben: Berechnungen ohne Bodenänderung u. nach Abzug der NH₃-N-Verluste, unten: inkl. Bodenänderung u. Abzug NH₃-N).....442

Abkürzungsverzeichnis

BEFU	<u>B</u> estandes <u>f</u> ührung, Programm zum Nährstoffmanagement für den konventionellen und ökologischen Landbau
CaCl ₂	Calciumchlorid-Lösung, zur Extraktion des pflanzenverfügbaren Magnesiums
CAL	Calzium-Acetat-Lactat, zur Extraktion von Kalium und Phosphor
CCB	<u>C</u> ANDY <u>C</u> arbon <u>B</u> alance, Prozessmodell zur C- und N-Dynamik
C/N-Verhältnis	Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis
C _{org}	organisch gebundener Kohlenstoff des Bodens
C _t	Gesamtkohlenstoff
DA	Diskriminanzanalyse
DE	Dungeinheit
Δ	Delta, Differenz
DL	Doppellactat, zur Extraktion von Kalium und Phosphor
EWR	Ernte- und Wurzelrückstände
FB	Futterbau
FM	Frischmasse
G	Gülle
GV	Großvieheinheit
ha	Hektar
HÄQ	Humusäquivalente
HP	Hauptprodukt
J	Jauche
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
KG	Klee gras
KL	Körnerleguminosen
KP	Koppelprodukt
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
MF	Marktfrucht
Mg	Magnesium
MIN	Mineraldüngung
M	Grüngut, Mulch
MW	Mittelwert
n	Anzahl
N	Stickstoff
N ₂	molekularer Stickstoff, Distickstoff der Atmosphäre
NH ₃	Ammoniak
NH ⁴⁺	Ammonium
N _{min}	Summe von Nitrat- und Ammoniumstickstoff im Boden, pflanzenverfügbar
NN	Normalnull, Höhe über dem Meeresspiegel
NP	Nebenprodukt
N _t	Gesamtstickstoff
p	Signifikanzniveau
P	Phosphor
pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
Rfa	Rohfasergehalt
RP	Rohprotein

r	Korrelationskoeffizient
r^2, R^2	Bestimmtheitsmaß
mR^2	multipl. Bestimmtheitsmaß
S	Schwefel
s, SDA	Standardabweichung, Streuung
SM	Stallmist
S_{min}	Sulfat-Schwefel, pflanzenverfügbar
TM (TS)	Trockenmasse (Trockensubstanz)
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
vgl.	vergleiche
WW	Winterweizen
x	unabhängiger Faktor
y	abhängige Variable
ZF	Zwischenfrucht
Ø	Durchschnitt = Mittelwert
α	Signifikanzniveau

1 Einleitung

Der ökologische Landbau (ANON., 2007a, 2018) verzichtet generell auf mineralische Stickstoffdünger, die im konventionellen Landbau als effektive Mittel zur Ertragssteigerung angesehen werden. Stattdessen wird das Potenzial zur N₂-Bindung durch Zufuhr an Stickstoff durch den Anbau von Leguminosen in den möglichst weit gestellten Fruchtfolgen genutzt. Nach Möglichkeit werden im Betriebskreislauf anfallende Nährstoffe aus Stallmist, Gülle oder anderen organischen Düngern zur Pflanzenernährung eingesetzt. Für die Tierhaltung bestehen Obergrenzen für die Tieranzahl, die eng mit der Betriebsflächengröße gekoppelt sind. Nährstoffüberhänge können so bestmöglich vermieden werden. Günstige Wirkungen bestehen daher nicht nur auf die Umwelt und die Biodiversität, sondern auch auf die Verzehrsgewohnheiten und die Nachfrage der Verbraucher, so dass diese Anbauform sich einer hohen Beliebtheit erfreut und in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen hat.

Nach BALZER & SCHULZ (2015) beruhen z.B. vorteilhafte Umweltwirkungen der ökologischen Bewirtschaftung auf einem verringerten Nährstoffaustrag in die Grund- und Oberflächengewässer. Am Nährstoff Stickstoff konnte aufgezeigt werden, dass es hierbei zu einer verbesserten Relation zwischen Zufuhr und Abfuhr kommt, wodurch die Nährstoffeffizienz entsprechend ansteigt, die Erträge jedoch auf Grund der genannten systembedingten Regelmechanismen fruchtartenabhängig auf unterschiedlicher Höhe, insgesamt jedoch auf niedrigerem Niveau verbleiben (KOLBE, 2000). Vergleichende Untersuchungen zeigen aber auch auf, dass zwischen konventionellem und ökologischem Anbau nicht nur Ertragsunterschiede festgestellt werden, sondern dass im Zeitverlauf bei einigen Fruchtarten Tendenzen zur Stagnation und sogar zu einer Vergrößerung der Ertragsunterschiede bestehen. Entwicklungen dieser Art werden besonders in bestimmten Marktfruchtbetrieben beobachtet, wodurch schließlich auch die betriebswirtschaftliche Attraktivität dieser meistens viehlosen Anbausysteme verringert werden könnte (BÖHM et al., 2011; SEUFERT et al., 2012; RECKNAGEL & NUßBAUMER, 2017).

Nach aktuellen Untersuchungen in der landwirtschaftlichen Praxis werden u.a. lang anhaltende Fehler im Nährstoffmanagement und Mängel in der Fruchtfolgegestaltung, z.B. durch Nichtbeachtung fruchtartenabhängiger Anbaupausen, als Ursachen angesehen (MÖLLER, 2014; KOLBE, 2015a; MEYER et al., 2021b). Entsprechend der zunehmenden Differenzierung der Anbauverfahren sind die Ökobetriebe in den letzten Jahrzehnten nicht gleichmäßig von diesen Tendenzen betroffen. So werden zunächst auf vielen Betrieben noch keine großen Mängel festgestellt. Bei diesen Analysen waren jedoch darüber hinaus bei einigen wichtigen betrieblichen Kennzahlen folgende Differenzen zwischen den geringsten und höchsten Werten am Beispiel des Stickstoffs festgestellt worden (Mittelwerte in Klammern):

- Anteil Leguminosen in den Fruchtfolgen (%): 13 – 60 (33)
- Legume N₂-Bindung (kg N/ha u. Jahr): 7 – 136 (52)
- Organische Düngung (kg N/ha u. Jahr): 0 – 166 (42)
- Nährstoff-Bruttosaldo (kg N/ha u. Jahr): -23 – 137 (27).

Je nach Betriebsspezialisierung sind auch unter Beachtung des angehenden Klimawandels bei Fortsetzung dieser Trends ganz unterschiedliche Entwicklungen in der Zukunft zu erwarten: von weiter abfallender Bodenfruchtbarkeit und des Ertragspotenzials z.B. in bestimmten viehlosen Anbausystemen bis hin zu einem zunehmenden Auftreten von Formen der Überdüngung und Inbalancen von organischer Substanz, bestimmten Nährstoffen und der pH-Werte nicht nur in einigen intensiven Gemüsebaubetrieben.

Vor diesem Hintergrund können Ergebnisse von Dauerfeldversuchen, auf Grund genauer Kenntnisse der Fruchtfolgen und der Bewirtschaftung von Vorteil sein, um die Entwicklung von Ertragspotenzial und der

Pflanzenvitalität der Fruchtarten sowie von Nährstoffbilanzen, Bodenfruchtbarkeitsindikatoren und Umweltwirkungen quantitativ aufzuzeigen. Dies wird am besten gelingen, wenn in den Versuchen, ausgerichtet am Beispiel der Praxis, eine möglichst breite Differenzierung an Bewirtschaftungsformen abgebildet werden kann. Entsprechend diesen Gesichtspunkten sind im Jahr 1992 zwei umfangreiche Dauerfeldversuche auf einem Sandboden und einem Lehmboden unter den klimatischen Bedingungen von West-Sachsen angelegt worden. In diesen Feldversuchen wurde der Frage nachgegangen, wie sich stark differenzierte Anbausysteme mit Futterbau und Marktfrucht, verschiedenen Düngerarten und Intensitätsstufen langfristig auf Boden und Pflanzen auswirken.

Die Versuche gehören zu den wenigen Dauerfeldversuchen, die es auf dem Gebiet des Ökologischen Landbaus gibt, sie sind im Euro-Somnet (<http://www.ufz.de/somnet>) aufgeführt und wurden von URBATZKA et al. (2011) in einer Übersichtsarbeit beschrieben. Zu verschiedenen Aspekten des Anbaus und der Umweltwirkung inklusive klimarelevanter Spurengase, wurden Zwischenauswertungen der ersten Versuchsphase von BECKMANN et al. (2001, 2002), MODEL (2003) und von KOLBE (2008a) angefertigt.

In diesem Abschlussbericht ist einerseits eine Dokumentation vieler Einzelergebnisse mit Schwerpunkt auf der zweiten Versuchsphase erstellt worden, die auch zum Selbststudium anregen soll. Andererseits wurde eine zusammenfassende Gesamtauswertung über beide Versuchsphasen zu verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen. In der Diskussion und den Schlussfolgerungen wurden unter Nutzung weiterer Ergebnisse von Dauerversuchen aus der Literatur die Vor- und Nachteile von Intensivierungsmöglichkeiten (Leguminosenumfang in der Fruchtfolge, organische und mineralische Düngung) aufgezeigt, die für die zukünftige Entwicklung des Ökolandbaus von Bedeutung sein können.

2 Darstellung und Abgrenzung der Fragestellungen

Zielsetzung dieser experimentellen Untersuchungen war es, im Vergleich zu den geprüften Formen und der Intensität der Landbewirtschaftung, neben den Erträgen, der Qualität der Ernteprodukte und der Bodenfruchtbarkeit, auch die Bedeutung und den Umfang an Umweltwirkungen (Nährstoff-Bilanz, Effizienzkennzahlen, -Verlagerung) aufzuzeigen und zu beschreiben. Es wurden Rückschlüsse für eine optimale Ausgestaltung ökologischer Anbauverfahren in ihren kurzfristigen und langfristigen Auswirkungen auf Boden, Pflanze und Atmosphäre abgeleitet. Auf nachfolgend genannte Einflussfaktoren wurde dabei besonderes Augenmerk gelegt:

■ Standort

Die Versuche wurden auf einem zu Trockenheit (Regenschatten des Harzes) neigenden Sandboden sowie auf einem Löß-Braunstaugley im Einflussbereich des mitteldeutschen Hügelklimas im Freistaat Sachsen durchgeführt. Durch Ergebnisse des Standortvergleiches und der klimatischen Besonderheiten sind Hinweise für eine optimale Betriebsgestaltung in Folge des einsetzenden Klimawandels ermöglicht worden.

■ Anbausystem und Betriebsform

In diesen Dauerversuchen wurden Kernelemente viehloser (Marktfruchtbau: Leguminosenaufwüchse werden gemulcht, Koppelprodukte verbleiben auf dem Acker) und viehreicher Produktionsrichtungen bzw. Bewirtschaftungsformen (Futterbau: Leguminosenaufwüchse und Koppelprodukte werden vom Feld abgefahren) in ihren kurzfristigen und langfristigen Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit, Erträge und Qualitäten der Ernteprodukte geprüft.

■ Düngemittelart und -intensität

Es wurde die Anwendung der organischen Düngemittel Stallmist, Jauche, Gülle und Grüngut von 0 – 2 Dungeinheiten je Hektar und Jahr im ökologischen Landbau (sowie in einem kleinen Umfang mit der N-Mineraldüngung aus dem konventionellen Landbau) vergleichend gegenübergestellt, um Bestimmungsgründe für die Wahl und die angemessene Höhe der Dungstoffe aus kurzfristigen (Ertrag, Produkt-Qualität, Einfluss auf legume N₂-Bindung, Pflanzenvitalität) und langfristigen Erwägungen (Nährstoffmanagement, Nährstoffbilanzen, Bodenfruchtbarkeit, Umweltverträglichkeit) treffen zu können.

Die Versuche erlauben eine Darstellung der Ergebnisse über ein weites Spektrum an Anbauverfahren, die z.T. auch über das übliche Maß des Ökolandbaus hinausgehen. Das Intensitätsniveau reicht von einer relativ niedrigen Nährstoffversorgung in den viehlosen Marktfruchtvarianten ohne Düngung bis zu einer sehr hohen Nährstoffversorgung in den intensiven Futterbauvarianten. In Abhängigkeit vom Anbauumfang an Leguminosen konnten hierdurch sowohl die vielfältigen Möglichkeiten als auch die Grenzen der Intensivierung untersucht und aufgezeigt werden.

3 Material und Methoden

3.1 Standortbeschreibung

Im Freistaat Sachsen wurden auf einem Lößboden in Methau, östlich der Mulde im Landkreis Mittelsachsen zwischen Colditz und Rochlitz gelegen und einem Sandboden in Spröda (Landkreis Nordsachsen) ab dem Jahr 1992 komplexe Dauerversuche angelegt. Ziel dieser Versuche war es, nach Ablauf einer Umstellungszeit mehrjährige Auswirkungen stark unterschiedlicher ökologischer Anbauverfahren auf relevante Bodenparameter sowie Ertrag und Qualität der Ernteprodukte zu untersuchen. Am Standort Spröda liefen die Versuche im Zeitraum von 1993 – 2005 und in Methau von 1993 – 2007.

Der Versuchsstandort Methau liegt 265 m über NN im Naturraum Mulde-Lösshügelland und ist den Sächsischen Lössfeldern zuzuordnen. Der Naturraum erhält im Wesentlichen sein Gepräge durch flachwellige bis hügelige Plateauflächen, die von lössartigen Sedimenten bedeckt sind und zwischen 280 m und 380 m über NN liegen (HAASE et al., 1986).

Spröda liegt in der Nähe von Delitzsch im Westen des Naturraums Dübener-Dahlener Heide, welcher zum Altmoränengebiet des Sächsisch-Niederlausitzer Heidelandes gehört. „Heide“ steht hierbei für „waldreiches Land“. Die Höhenlage des Diluvial-Standorts beträgt 120 m über NN (HAASE et al., 1986). Die folgende Abbildung 1 zeigt die geografische Lage der zwei Versuchsstandorte im Freistaat Sachsen und Tabelle 1 fasst die Standortbeschreibungen zusammen.

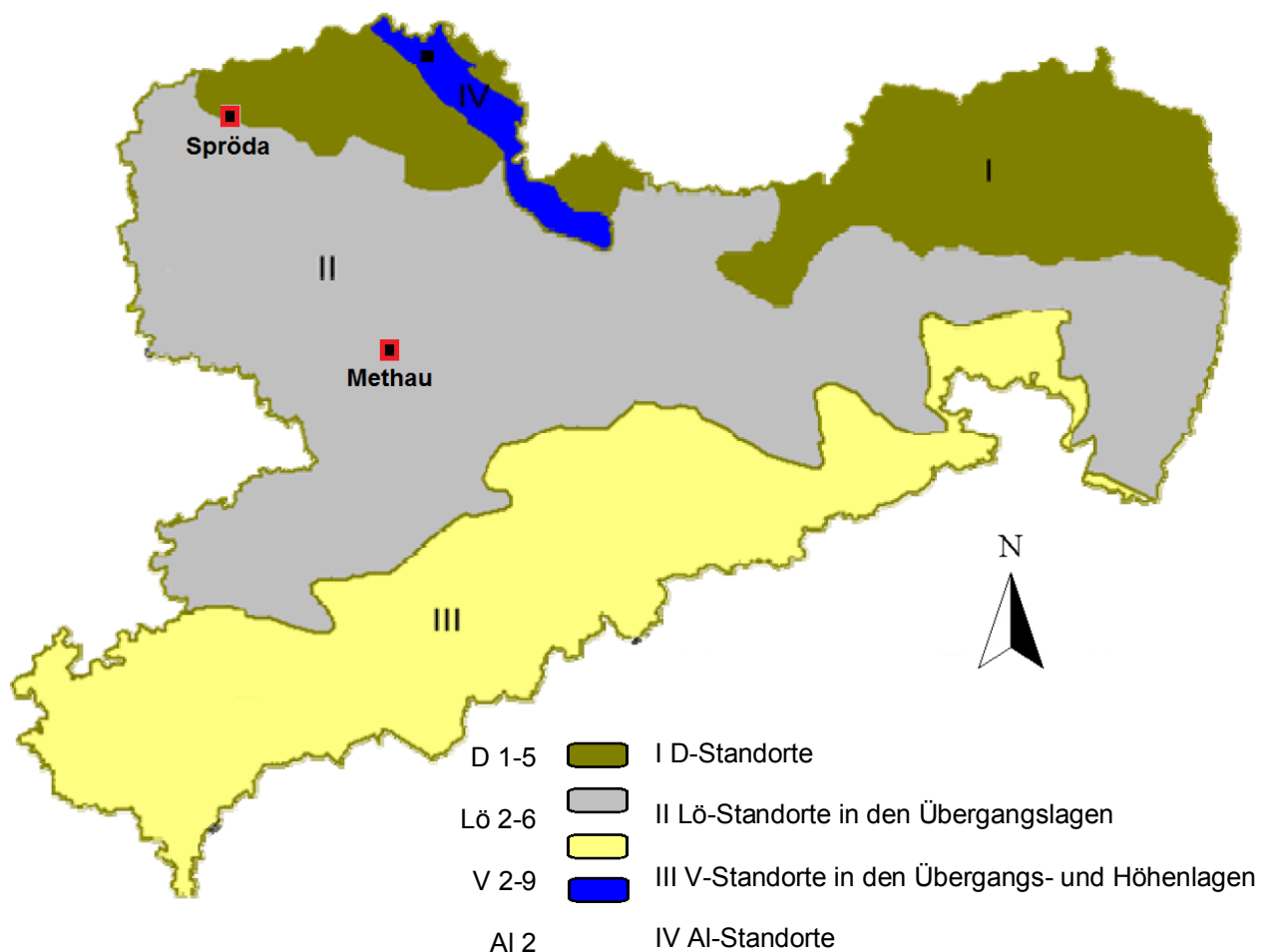


Abbildung 1: Geografische Lage der Standorte Methau und Spröda im Freistaat Sachsen (ANON., 2007b)

Tabelle 1: Lage, Standort- und Bodenfaktoren der Prüffelder Methau und Spröda (ANON., 2007b)

Prüffeld	Spröda	Methau
Lage		
Landkreis	Nordsachsen	Mittelsachsen
Höhenlage	120 m	265 m
Versuchsfläche	16 ha, ökologisch ca. 1 ha	10 ha, ökologisch ca. 0,5 ha
Klima		
Klimagebiet	trockenes, warmes Binnenlandklima der unteren Lagen	schwächer maritim beeinflusst; mäßig warmes, mitteldeutsches Berg- und Hügellandklima
Mittlerer Jahresniederschlag	547 mm	693 mm
Niederschlag Mai – September	274 mm	324 mm
Mittlere Jahrestemperatur	8,8 °C	8,4 °C
Temperatur Mai – September	15,8 °C	15,2 °C
Boden		
Bodenart	anlehmgiger Sand (SI)	Lehm (L)
Bodentyp	D4, starkes Lessivé aus Geschiebelehm	Lö4, lessive Staugleye aus Lösslehm
Leitbodenform	Tieflehm-Fahlerde (Albic Luvisol)	Löss-Braunstaugleye (Gleyic-Luvisol)
Durchschnittliche Bodenpunkte	30/33	70/63
Sand	67 – 69 %	5 %
Schluff	25 – 27 %	77 – 80 %
Ton	5 – 7 %	15 – 18 %
Feinerde	8 – 12 %	25,9 %
Spezifisches Gewicht	1,7 g/cm ³	1,3 g/cm ³
Porenvolumen	23 %	41 %
Feldkapazität	24 %	33 %
Nutzbare Feldkapazität	14 %	21 – 23,5 %

3.2 Boden

Das Gebiet um Methau zeichnet sich durch auf Lössderivaten entwickelte stauernässte Fahlerden aus, die in (primär entwickelte) Braunstaugleye und Staugleye übergehen (HAASE et al., 1986). Charakteristisch für die Gegend um Spröda sind zwei Stauchendmoränenwälle aus der Saale-Kaltzeit, die vor 300 000 – 130 000 Jahren entstanden sind und die sich hauptsächlich aus Sanden und darin eingepresste, bis zu 60 m mächtigen Tertiärschollen aus Ton, Schluff, Feinsand und Braunkohle zusammensetzen. Sie sind umgeben von flachwelligen, z. T. hügeligen Platten unterschiedlichen Aufbaus. Es ergeben sich daher sehr verschiedene oberflächenbildende Substrate bzw. eine sehr stark differenzierte Bodendecke. Der Untergrund Sprödas ist ein Kies-Staukörper. Die Tabelle 1 fasst die Bodenverhältnisse der zwei Versuchsstandorte Methau und Spröda zusammen.

3.3 Witterung

KÜCHLER & SOMMER (2005) beschreiben Sachsens Klima im Allgemeinen als relativ trocken. Sie geben die große Entfernung zum Atlantik als eine Ursache an. Zudem bestimme die Geländehöhe maßgeblich die Temperatur. Die Mittelgebirge und der Abstand zum Meer sorgen für Klimaunterschiede (LFULG, 2008). Die Gebiete mit den höchsten Niederschlägen sind an den Westhängen der Erzgebirgskammlagen gelegen.

Spröda und Methau liegen in zwei unterschiedlichen klimatischen Räumen (Abbildung 2). Der Klimabezirk Spröda wird als „Ostdeutsches Binnenland-Klima“ und Methau als „Deutsches Berg- und Hügelland-Klima“ gekennzeichnet (KÜCHLER & SOMMER, 2005). In Methau ist ein mäßig trockenes, mäßig warmes Klima der unteren Lagen, welches schwächer maritim beeinflusst wird, anzutreffen. In Spröda ist trockenwarmes Klima der unteren Lagen vorherrschend.

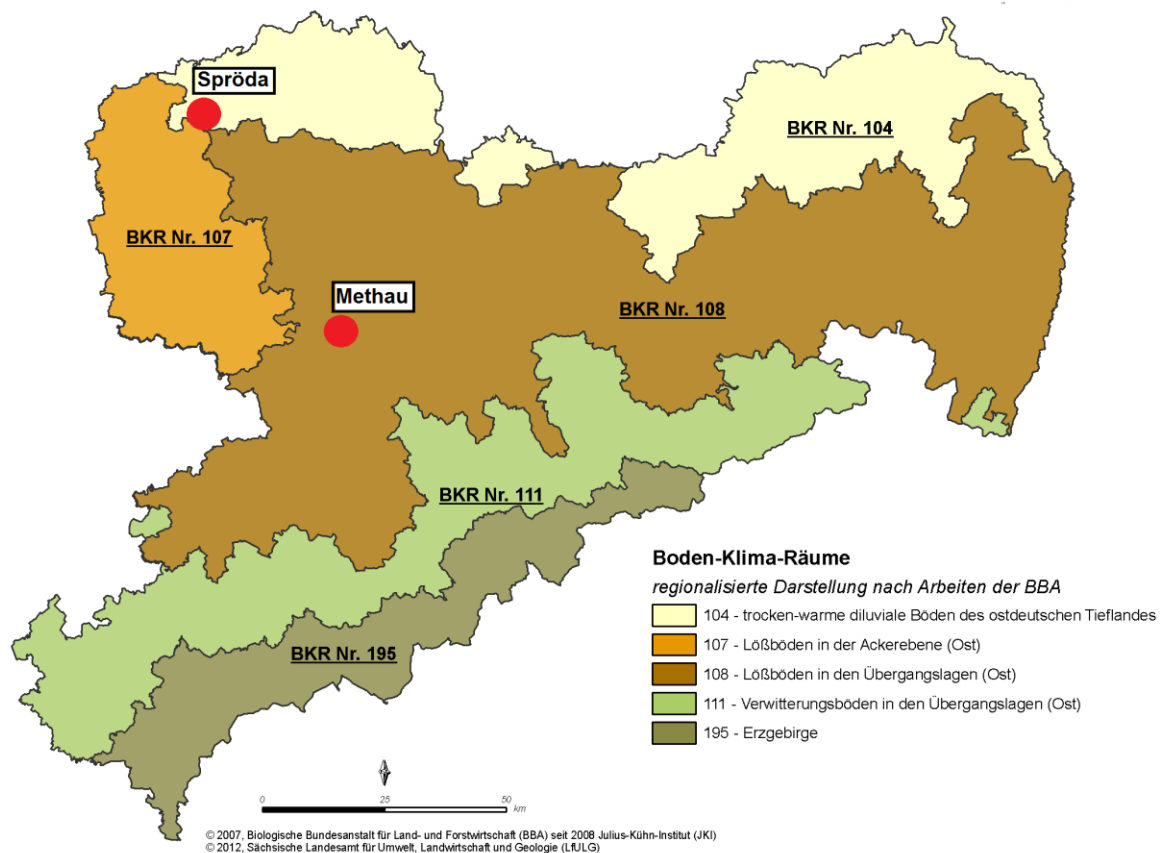


Abbildung 2: Einordnung der Versuchsstandorte Spröda und Methau in die Boden-Klima-Räume (BKR) des Freistaates Sachsen (LfULG, 2012)

Die Wetterdaten wurden an den Standorten über Wetterstationen des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) erfasst (Abbildung 3, Tabelle 2). Der Standort Spröda wird durch niedrige Niederschläge von meistens unter 550 mm, gepaart mit einem geringen Wasserhaltevermögen des Bodens (anlehmiger Sand), charakterisiert. Im Mittel der Jahre 1995 - 2005 ist eine Jahrestemperatur von 9,7 °C und eine Niederschlagssumme von 436 mm gemessen worden. An der Wetterstation von Methau betragen die Temperaturen 9,2 °C und es sind 686 mm Niederschlag im Mittel der Untersuchungsjahre 1994 - 2007 gemessen worden.

Es ist zu erkennen, dass die Jahresdurchschnittstemperatur im Jahr 1996 an beiden Versuchsstandorten deutlich unter dem Mittelwert lag. Im Jahr 2003 bescherte der "Jahrhundertsummer" ein sehr trockenes Jahr mit einem neuen Hitzerekord. Dies wird vor allem auch durch die Niederschlagssummen und Temperaturen während der Hauptvegetationszeit (April - September) ersichtlich. Vergleichsweise niederschlagsreich war hingegen an beiden Standorten das Jahr 2002.

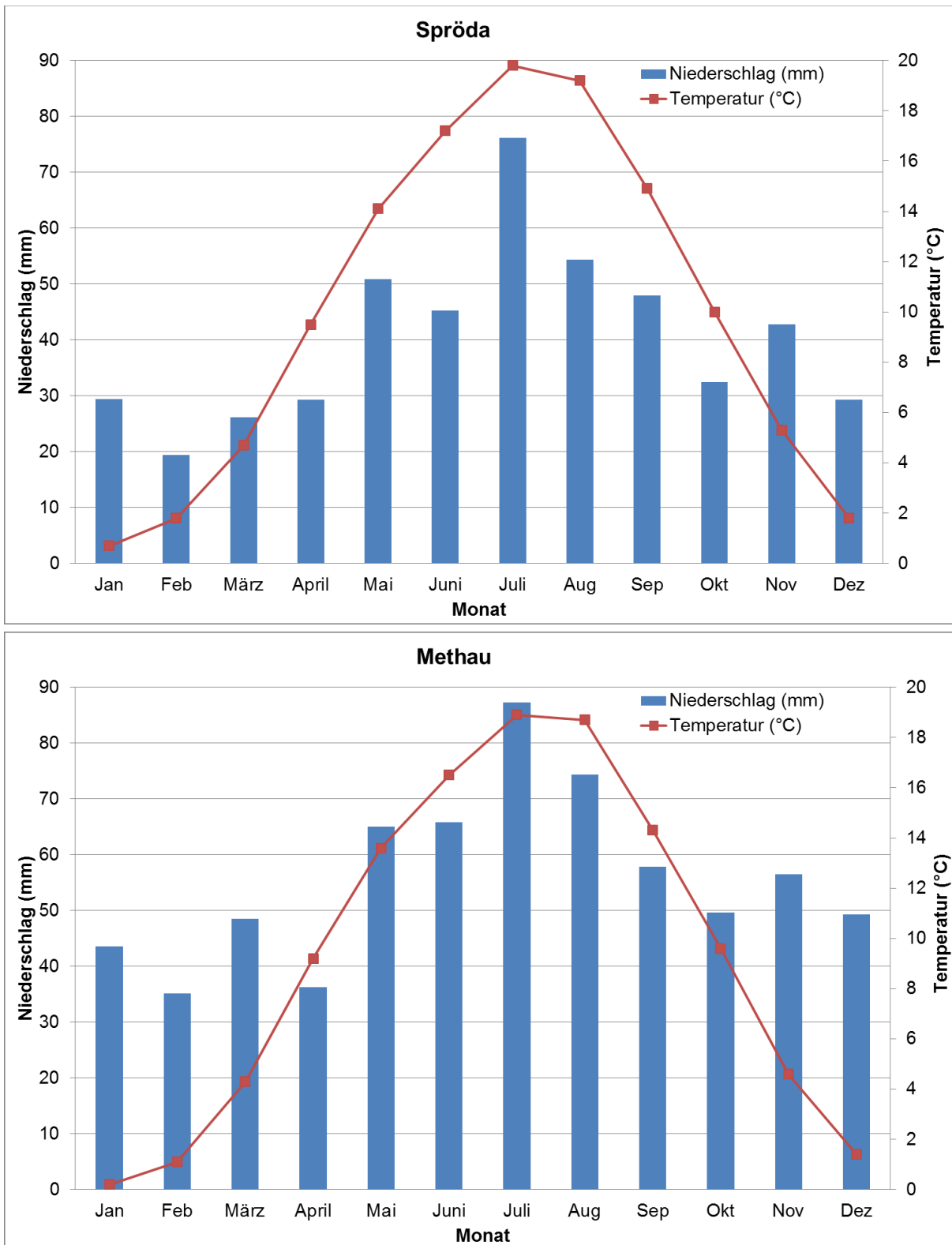


Abbildung 3: Klimadiagramme über die monatlichen Niederschlagssummen [mm] und Lufttemperatur-Monatsmittel [°C] am Versuchsstandort Spröda (oben) in den Jahren 1995 – 2005 und Methau (unten) in den Versuchsjahren 1994 – 2007 (Angaben der Wetterstation Methau des LfULG)

Tabelle 2: Witterungsparameter im Verlauf der Versuchsjahre an den Standorten Methau und Spröda

Parameter		94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	Mittel
Methau	Niederschlags-summe [mm]	747	748	555	628	685	618	659	718	959	435	784	664	572	831	686
	Temperatur-mittel [°C]	10,1	8,9	6,8	8,8	9,1	9,6	10,1	8,9	9,5	9,5	8,9	9,1	9,8	10,1	9,2
	Niederschlag i. d. Vegetations-zeit April - Sept. [mm]	435	523	397	386	396	328	301	383	574	206	450	399	279	515	398
	Temperatur i. d. Vegetationszeit April - Sept. [°C]	15,2	14,5	13,0	14,3	14,6	15,4	15,3	14,2	15,1	16,4	14,5	14,9	16,0	15,6	14,9
Spröda	Niederschlags-summe [mm]		435	361	380	460	334	373	428	622	342	513	556			436
	Temperaturmittel [°C]		9,5	7,4	9,4	10,0	10,5	10,8	9,7	10,0	10,1	9,7	9,8			9,7
	Niederschlag i. d. Vegetations-zeit April - Sept. [mm]		325	276	248	309	231	219	339	370	178	332	380			291
	Temperatur i. d. Vegetationszeit April - Sept. [°C]		15,1	13,8	15,1	15,5	16,3	15,9	15,2	15,7	17,0	15,1	15,4			15,5

Agronomische Bedeutung haben in Bezug auf beachtenswerte Wetterereignisse in der Hauptvegetationszeit April bis September vor allem die Jahre 2002, 2003 sowie 2006 und 2007. Im Jahr 2003 und 2006 fielen geringe Niederschläge bzw. gab es längere Trockenperioden bei vergleichsweise langanhaltend hohen Temperaturen (Tabelle 2).

3.4 Versuchsdesign

Die Komplexversuche wurden als mehrfaktorielle Spaltanlagen angelegt, in denen in der ersten Versuchsphase zunächst vier Faktoren und in der zweiten Phase drei Prüffaktoren (A, B, C) als sogenannte Teilstücke ausgewiesen worden sind. An jedem Standort wurden jeweils 48 Parzellen in 4 Wiederholungen (W), das heißt 192 Kleinparzellen als Versuchsflächen angelegt und bearbeitet. Die Einzelparzellen waren ursprünglich in der ersten Versuchsphase durch Abmessungen von jeweils 3 x 6 m = 18 m² charakterisiert. Die Ernteparzelle betrug 9 m² (vgl. BECKMANN et al., 2001).

Die Tabelle 3 zeigt die Versuchsfaktoren und deren Abstufungen und Abbildung 4 gibt die Parzellenpläne und alle Faktorstufenkombinationen der Versuche in Methau und Spröda wieder. Beispielsweise setzt sich die Faktorstufenkombination mit der Nummer 112 folgendermaßen zusammen: Prüffaktor „Anbau- und Bewirtschaftungssystem“ in der Faktorstufe 1 = Futterbau, kombiniert mit dem zweiten Faktor „Düngemittelart“ in der Faktorstufe 1 = Stallmist und dem dritten Faktor Düngungsstufe in der Faktorstufe 2 = 0,5 DE/ha u.

Jahr. Der nicht mehr ausgewiesene Faktor D als „vegetationsbegleitende Maßnahme“ ist in der zweiten Versuchsphase ab dem Jahr 2000 entfallen. Dadurch haben sich die Einzel- und die Ernteparzellen entsprechend vergrößert.

Tabelle 3: Prüffaktoren (A, B, C) und Definition der Faktorstufen der zwei Dauerversuchsanlagen

Prüffaktor	Faktorstufen
A: Anbau- bzw. Bewirtschaftungs-system → Großteilstück	1 = Futterbau (viehreich), Abernten aller Koppelprodukte, Abfuhr des Leguminosengrases (FB) 2 = Marktfrucht (vieharm), Koppelprodukte verbleiben auf dem Acker, Mulchen des Leguminosengrases (MF)
B: Düngemittelart → Mittelteilstück	0 = ohne Düngung (ohne) 1 = Stallmist (SM), Jauche (J) 2 = Gülle (G) 3 = Grüngut/Mulch (M) 4 = N-Mineraldüngung (MIN)
C: Düngungsstufen → Kleinteilstück	0 = N-Mineraldüngung 1 = 0,0 DE ¹ /ha u. Jahr (ohne Düngung) 2 = 0,5 DE/ha u. Jahr (niedriges Düngeniveau) 3 = 1,0 DE/ha u. Jahr (mittleres Düngeniveau) 4 = 2,0 DE/ha u. Jahr (hohes Düngeniveau)

1) DE = Dungeinheiten je ha u. Jahr

101	114	113	112	124	123	122	140	240	234	233	232	214	213	212	201	W4
101	113	114	112	123	124	122	140	240	233	234	232	213	214	212	201	W3
101	114	112	113	124	122	123	140	240	234	232	233	214	212	213	201	W2
101	112	113	114	122	123	124	140	240	232	233	234	212	213	214	201	W1

240	234	233	232	224	223	222	201	101	114	113	112	124	123	122	140	W4
240	223	224	222	233	224	232	201	101	123	124	122	113	114	112	140	W3
240	234	232	233	224	222	223	201	101	114	112	113	124	122	123	140	W2
240	222	223	224	232	233	234	201	101	122	123	124	112	113	114	140	W1

Abbildung 4: Versuchsplan mit Darstellung der kleinparzellierten Lage inkl. Faktorstufenkombination der Varianten auf den Versuchsflächen an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten) mit jeweils vier Wiederholungen (W1 - W4)

3.5 Fruchtfolgen

In der Zeitperiode 1993 - 1999 verlief die 1. Fruchtfolgerotation an beiden Orten (= erste Versuchsphase). Die zweite Phase wurde ausgehend vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2005 in Spröda bzw. bis 2007 in Methau angelegt. Die meistens mehrjährig angebauten Leguminosen dienten durch Fixierung von Luftstickstoff als aufbauendes Element der Fruchtfolgen. Der Aufwuchs wurde nach Möglichkeit maximal dreimal pro Erntejahr geschnitten. Danach folgten für den Ökologischen Landbau weitere wichtige Ackerfrüchte. Der Mais wurde systemspezifisch als Silo- oder Körnermais angebaut. Die ursprünglich geplante Fruchtfolge musste aus versuchstechnischen Gründen mehrfach kurzfristig verändert werden. Abweichend vom Klee gras wurde in der zweiten Rotation gegen Versuchsende in Methau ein Luzerne-Klee gras-Gemenge angebaut. Tabelle 4 zeigt die in den Versuchen angebauten Fruchtarten in chronologischer Abfolge auf.

Tabelle 4: Fruchtfolge an den Standorten Methau und Spröda

Methau	Jahr	Spröda
Fruchtart		Fruchtart
Wintergerste	1992	Wintergerste
viehreich: Klee gras vieharm: Hafer mit Klee grasuntersaat	1993	viehreich: Klee gras vieharm: Hafer mit Klee grasuntersaat
Klee gras	1994	Klee gras
Klee gras	1995	Sommerweizen
Klee gras	1996	viehreich: Silomais vieharm: Körnermais
Sommerweizen	1997	Luzernegras
viehreich: Silomais vieharm: Körnermais	1998	Sommerweizen Winterzwischenfrucht: Wickroggen
Sommerweizen	1999	viehreich: Silomais vieharm: Körnermais
Klee gras	2000	Klee gras
Klee gras	2001	Klee gras
Winterweizen Zwischenfrucht: Senf	2002	Winterweizen Zwischenfrucht: Senf
viehreich: Silomais vieharm: Körnermais	2003	viehreich: Silomais vieharm: Körnermais
Kartoffeln	2004	Kartoffeln
Triticale	2005	Klee gras
Luzerne-Klee gras	2006	-----
Klee gras	2007	-----
Aufteilung der Fruchtfolgen (ohne 1992, 1993)		
	Methau	Spröda
Klee gras	50 %	42 %
Getreide	29 %	25 %
Hackfrüchte	21 %	33 %
Zwischenfrüchte	7 %	17 %

3.6 Düngung

Die in den Versuchen ausgebrachten Nährstoffe sind in der Tabelle 5 sowie der Tabelle 6 zusammengefasst worden. Es handelt sich um die auf den Boden tatsächlich applizierten Mengen. Sie weichen ggf. von den in den jeweiligen Düngungsstufen ausgewiesenen formalen Angaben ab.

Tabelle 5: Düngerarten und Düngungshöhe am Versuchsstandort Methau

Dungin- tensität ¹⁾	organische Düngemittel				mineral. Düngemittel
	SM [dt/ha]	J [m ³ /ha]	G [m ³ /ha]	M [dt/ha]	MIN KAS [dt/ha]
1993 Klee gras					
					4,9 (viehreich)
0,0 DE	0	-	0	0	
0,5 DE	77	-	15	0	2,2 (vieharm)
1,0 DE	154	-	30	0	
2,0 DE	231	-	45	0	
1994 Klee gras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	
1995 Klee gras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	
1996 Klee gras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	
1997 Sommerweizen					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	10	20	65	
1,0 DE	100	10	20	130	
2,0 DE	200	10	20	260	
1998 Mais					
					5,5
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	20	10	80	
1,0 DE	100	40	20	160	
2,0 DE	200	80	40	320	

Tabelle 5: (Fortsetzung)

Dungin- tensität ¹⁾	organische Düngemittel				mineral. Düngemittel
	SM [dt/ha]	J [m ³ /ha]	G [m ³ /ha]	M [dt/ha]	MIN KAS [dt/ha]
1999 Sommerweizen					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	10	10	75	
1,0 DE	100	10	20	150	
2,0 DE	200	10	40	300	
2000 Klee gras					
					8,3
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	0	10	0	
1,0 DE	100	0	20	0	
2,0 DE	200	0	40	0	
2001 Klee gras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	
2002 Winterweizen					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	4	20	78	
1,0 DE	100	8	40	155	
2,0 DE	200	16	80	310	
2003 Silo-/ Körnermais					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	4	10	78	
1,0 DE	100	8	20	155	
2,0 DE	200	16	40	310	
2004 Kartoffel					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	0	10	78	
1,0 DE	100	0	20	155	
2,0 DE	200	0	40	310	

Tabelle 5: (Fortsetzung)

Düngintensität ¹⁾	organische Düngemittel				mineral. Düngemittel
	SM [dt/ha]	J [m ³ /ha]	G [m ³ /ha]	M [dt/ha]	MIN KAS [dt/ha]
2005 Triticale					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	100	0	15	100	
1,0 DE	200	0	30	200	
2,0 DE	400	0	60	400	
2006 Luzerne-Klee gras					
					5,9
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	
2007 Klee gras					
					6,2
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	

1) Düngungsintensität: 1 Dungeinheit (DE) = 80 kg N/ha und Jahr

Tabelle 6: Düngerarten und Düngungshöhe am Versuchsstandort Spröda

Düngintensität ¹⁾	organische Düngemittel				mineral. Düngemittel
	SM [dt/ha]	J [m ³ /ha]	G [m ³ /ha]	M [dt/ha]	MIN KAS [dt/ha]
1993 Klee gras					
					3,6 (viehreich)
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	100	0	10	0	1,8 (vieharm)
1,0 DE	200	0	20	0	
2,0 DE	300	0	30	0	
1994 Klee gras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	
1995 Sommerweizen					
					0,9 (viehreich)
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	10	10	66	0,9 (vieharm)
1,0 DE	0	20	20	133	
2,0 DE	100	35	35	267	

Tabelle 6: (Fortsetzung)

Dungintensität ¹⁾	organische Düngemittel				mineral. Düngemittel
	SM [dt/ha]	J [m ³ /ha]	G [m ³ /ha]	M [dt/ha]	MIN KAS [dt/ha]
1996 Mais					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	100	0	15	37	
1,0 DE	200	0	30	74	
2,0 DE	400	0	60	148	
1997 Luzernegras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	
1998 Sommerweizen					
					- ²⁾
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	15	14	75	
1,0 DE	0	30	28	150	
2,0 DE	0	65	56	300	
1999 Mais					
					2,0 (viehreich) 0,9 (vieharm)
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	15	15	55	
1,0 DE	0	30	30	111	
2,0 DE	0	60	60	222	
2000 Klee gras					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	85	0	13	80	
1,0 DE	170	0	25	160	
2,0 DE	340	0	50	320	
2001 Klee gras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	0	0	0	0	
1,0 DE	0	0	0	0	
2,0 DE	0	0	0	0	

Tabelle 6: (Fortsetzung)

Dünging- tensität ¹⁾	organische Düngemittel				mineral. Düngemittel
	SM [dt/ha]	J [m ³ /ha]	G [m ³ /ha]	M [dt/ha]	MIN KAS [dt/ha]
2002 Winterweizen					
					8,0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	40	10	10	60	
1,0 DE	80	20	20	120	
2,0 DE	160	30	30	240	
2003 Silo-/Körnermais					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	10	10	60	
1,0 DE	100	20	20	120	
2,0 DE	200	30	30	240	
2004 Kartoffeln					
					4,4
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	40	10	10	60	
1,0 DE	80	20	20	120	
2,0 DE	160	30	30	240	
2005 Klee gras					
					0
0,0 DE	0	0	0	0	
0,5 DE	50	10	10	60	
1,0 DE	100	20	20	120	
2,0 DE	200	30	40	240	

1) Düngungsintensität: 1 Dungeinheit (DE) = 80 kg N/ha und Jahr;

2) Mineralische N-Düngung wurde nicht durchgeführt

Die organischen Düngerarten entstammten konventioneller (extensiver) Tierhaltung aus der jeweiligen Region, in der Regel aus der Rinderhaltung. Als Grüngut (teilweise Mulch) wurde Wegrandaufwuchs mit teilweise geringem Leguminosenanteil sowie Klee gras aufwuchs aus ebenfalls konventioneller Produktion oder es wurde der im Versuch erzeugte Klee gras aufwuchs verwendet.

Die Bemessung der mineralischen N-Düngung in Form von Kalkammonsalpeter (KAS, 27 % N, 10 % Ca) auf einem kleinen Variantenanteil wurde unter Berücksichtigung der N_{min}-Frühjahrs werte und der anzubauenden Kulturart mit Hilfe des Programms BEFU (FÖRSTER et al., 1997) optimal für integrierte Anbauverfahren, jedoch ohne PKMg-Ausgleichsdüngung, vorgenommen. In diesen ökologischen Bewirtschaftungsvarianten wurden leicht lösliche N-Mineraldünger eingesetzt, um deren Wirkung den organisch gedüngten Varianten gegenüber zu stellen. Leguminosengras wurde in der Regel nicht gedüngt.

In der Tabelle 7 sowie der Tabelle 8 wurden die genauen Mengen an verabreichten Nährstoffen im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit von 1993 – 2007 in Methau und von 1993 – 2005 in Spröda aufgeführt. Tabelle 9 zeigt die durchschnittliche Nährstoffzusammensetzung der angewandten organischen Düngemittel.

Tabelle 7: Verabreichte Nährstoffmengen über die Düngung in Methau im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit (1993 – 2007)

Dungart	DE/ha	N [kg/ha]	P [kg/ha]	K [kg/ha]	Mg [kg/ha]
Futterbau					
ohne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM	0,5	23,8	8,9	39,1	6,0
SM	1,0	47,3	17,8	77,6	11,9
SM	2,0	91,4	34,2	150,8	22,6
G	0,5	29,8	5,5	21,7	4,7
G	1,0	54,8	10,1	40,7	8,7
G	2,0	100,9	18,5	75,0	15,9
MIN		104,0	0,0	0,0	0,0
Marktfrucht					
ohne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM	0,5	23,8	8,9	39,1	6,0
SM	1,0	47,3	17,8	77,6	11,9
SM	2,0	91,4	34,2	150,8	22,6
M	0,5	23,1	2,8	23,9	1,9
M	1,0	46,1	5,5	47,6	3,8
M	2,0	88,3	10,2	91,4	6,7
MIN		99,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 8: Verabreichte Nährstoffmengen über die Düngung in Spröda im Durchschnitt der Versuchszeit (1993 – 2005)

Düngart	DE/ha	N [kg/ha]	P [kg/ha]	K [kg/ha]	Mg [kg/ha]
Futterbau					
ohne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM	0,5	30,6	4,4	43,6	4,4
SM	1,0	60,3	8,5	87,1	8,6
SM	2,0	119,4	18,7	161,5	17,2
G	0,5	29,6	5,3	20,0	3,8
G	1,0	59,2	10,6	40,1	7,6
G	2,0	108,2	19,4	72,7	13,5
MIN		67,7	0,0	0,0	0,0
Marktfrucht					
ohne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M	0,5	25,1	3,1	25,9	2,4
M	1,0	50,3	6,3	52,0	4,8
M	2,0	96,5	11,4	97,0	8,7
G	0,5	29,6	5,3	20,0	3,8
G	1,0	59,2	10,6	40,1	7,6
G	2,0	108,2	19,4	72,7	13,5
MIN		61,5	0,0	0,0	0,0

Tabelle 9: Mittlere Nährstoffgehalte der eingesetzten organischen Düngemittel

Düngemittel	TM [% FM]	N [% TM]	P [% TM]	K [% TM]	Mg [%TM]	C/N-Verhältnis
Methau						
Stallmist (SM)	21,46	2,73	1,16	4,26	0,74	14,3
Jauche (J)	0,93	13,32	0,44	21,98	0,54	-
Rindergülle (G)	6,93	5,50	1,00	4,07	0,86	7,7
Grüngut (M)	20,00	2,58	0,27	2,72	0,15	15,1
Spröda						
Stallmist (SM)	25,94	2,20	0,42	2,36	0,37	17,7
Jauche (J)	2,28	6,57	0,46	17,62	0,55	-
Rindergülle (G)	6,60	5,16	0,90	3,63	0,70	7,8
Grüngut (M)	19,89	2,49	0,23	2,24	0,18	16,1

3.7 Versuchsdurchführung und Feldprobenahme

Aufgrund verwaltungstechnischer Probleme konnte die erste Hauptversuchsphase erst im Laufe der Vegetation des Jahres 1996 begonnen werden. Infolge der fortschreitenden Dauerversuche hatten diese Verzögerungen negative Auswirkungen auf das geplante Versuchsprogramm. So mussten z.B. die Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten kurzfristig umgestellt werden. In einigen Fällen konnten laut Versuchsplan vorgesehene Untersuchungen nicht durchgeführt werden (N_{\min} , Erträge von Klee gras, Stroh). In den Fällen, in denen z.B. Stroherträge und –inhaltsstoffe fehlten, wurden zu Auswertungs- und Vergleichszwecken durchschnittliche Tabellenwerte zugrunde gelegt und ggf. eingesetzt.

In Spröda wurde im Jahr 1996 im Mais eine Untersaat eingesät (Weißklee 5 kg/ha, Knaul gras 10 kg/ha), die sich aufgrund der Trockenheit und der Wasserkonkurrenz mit dem Mais nicht etablieren konnte. Aufgrund technischer Probleme mit dem kleinen Reihenabstand wurde in den Jahren 1996 und 1999 die angestrebte Anzahl von 14 Maispflanzen/m² nicht erreicht.

Aufgrund der erwähnten Zeitverschiebung wurde am Standort Spröda im Jahr 1997 ein Leguminosengemeinschaft in die Fruchtfolge eingeschoben (Luzerne gras). Am 11.06.1997 und am 04.09.1997 wurden zwei Schröpfungsschnitte durchgeführt. Es kam aufgrund von Trockenheit zu keinem nennenswerten Aufwuchs an Luzerne gras.

Am Versuchsort Methau stand im Jahr 1996 noch ein mehrjähriges Klee grasgemisch, welches entsprechend der Versuchsplanung umgebrochen werden sollte. Durch die beschriebenen versuchstechnischen Probleme wurde der Anbau des Klee grasgemisches um ein weiteres Jahr verlängert. Der Aufwuchs war im 3. Jahr sehr schwach und der Bestand wurde im Herbst 1996 umgebrochen, um die Fläche für den folgenden Sommerweizen termingerech t zu räumen und bearbeitungstechnisch fertig zu stellen (Herbstfurche, Saatbettbereitung). Im Jahr 1997 erfolgte auf den Varianten mit Gülle keine laut Versuchsplan vorgegebene Abstufung der Düngung. Im Jahr 1998 wurde in der vierten Wiederholung statt Santiago die Maissorte Atarik ausgesät.

An den Standorten Methau und Spröda wurden in den viehrefeichen Varianten, bis auf das zeitgleiche Anbaujahr 2003, an beiden Standorten zu verschiedenen Zeitpunkten (1996, 1998, 1999 und 2003) Mais als Silomais in die Fruchtfolge integriert. Unterstellt wurde ein vorhandener Bedarf an Futterpflanzen für energiereiches Grundfutter eines Milchviehbetriebs. In den vieharmen Varianten fand demgegenüber jeweils ein Anbau von Körnermais statt. Die genaue zeitliche Abfolge der Anbaumaßnahmen kann der Tabelle A1 im Anhang entnommen werden.

3.8 Bodenuntersuchung

Mineralischer Stickstoff

Mit Hilfe der N_{\min} -Methode wurde der NO_3 -N- und NH_4 -N-Gehalt des Bodens ermittelt. Die Extraktion erfolgte mit schwachen Salzlösungen ($CaCl_2$) (VDLUFA-Methodenbuch Bd. 1, Teil A, Abschnitt 6.1.4.1., HOFFMANN, 1991). Die Endbestimmung beider Parameter wurde mit dem Segmental Flow Analysis System (SFAS, Skalar-Methodenblätter) photometrisch durchgeführt. Der extrahierbare Stickstoff ist in der Regel in den Abstufungen 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm Bodentiefe untersucht worden.

Tiefenbohrungen (Rammkernsonde, 6 cm Durchmesser) sind im Spätherbst des Jahres 2000 und 2005 am Ort Spröda und in den Jahren 2000 und 2007 am Ort Methau mindestens von 0 – 2 m Bodentiefe in den

Abstufungen 0 – 30, 30 – 60, 60 – 90, 90 – 150 cm Tiefe und darunter in 50 cm-Schritten durchgeführt worden.

Mineralischer Schwefel

Der S_{\min} -Gehalt wurde nach VDLUFA-Methodenbuch Bd. 1, Teil A, 6.3.1 durchgeführt.

Gesamt-Stickstoff (N_t)

Nach dem Kjeldahl-Verfahren werden durch Destillation die aus den N-Verbindungen entstandenen Ammoniumionen als Ammoniak nach Zugabe einer starken Lauge in eine Vorlage aus Borsäure überführt und maßanalytisch bestimmt (VDLUFA-Methodenbuch Bd. 1, Teil A, Abschnitt 2.2.1., HOFFMANN, 1991).

Kohlenstoff (C_{org})

Der C_{org} -Gehalt im Boden wurde durch Elementaranalyse bestimmt.

Gesamt-Nährstoffe (P_t , K_t , Mg_t)

Aufschluss mit Königswasser(VDLUFA-Methodenbuch, Bd. 1).

P- und K-Bestimmung (P_{CAL} , K_{CAL} , P_{DL} , K_{DL})

Der leichtlösliche P- und K-Gehalt der Böden als Maß für den pflanzenverfügbaren Anteil wurde mit Hilfe der DL- und CAL-Methode an Bodenproben bestimmt (A 6.2.1.1 VDLUFA Methodenbuch I).

Mg-Bestimmung

CaCl₂-Methode (A 6.2.4.1 VDLUFA Methodenbuch I).

pH-Wert

Der pH-Wert wurde nach VDLUFA-Methodenbuch bestimmt (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. 1, Abschnitt 5.1.1, HOFFMANN, 1991).

Mikronährstoffe (Cu, Mn, Zn, B)

(siehe MEYER et al., 2021b).

3.9 Düngemitteluntersuchungen

Stickstoff

Die Bestimmung erfolgte nach einem modifizierten Kjeldahl-Aufschluss. Dabei wird vor dem Aufschluss das Nitrat des Düngers mittels Phenolschwefelsäure in Nitrophenol überführt und anschließend durch Zinkstaub in Aminophenol reduziert. Das nach dem Aufschluss vorliegende Ammonium wird wie üblich durch Wasserdampfdestillation isoliert und die N-Menge danach titrimetrisch ermittelt (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. II, Abschnitt 3.5.2.5, NIEDERMAIER, 1995).

Organische Substanz

Die Probe wird bei 105 °C getrocknet, im Muffelofen bei 550 °C verascht und der Glühverlust ermittelt.

3.10 Pflanzenuntersuchungen

Pflanzenfrischmasse (FM)

Durch Auswiegen der bei den Flächenschnitten geernteten Pflanzenproben wurde die Frischmasse als Gesamtertrag bzw. Ertragskomponente bestimmt. Der Anteil an Leguminosen und Nichtleguminosen wurde im Luzerne-Klee gras-Gemisch gesondert ermittelt.

Pflanzen trockenmasse (TM)

Die Pflanzenproben aus den Flächenschnitten wurden frisch eingewogen und bis zur Gewichtskonstanz bei 60 °C getrocknet und zurückgewogen. Die Restfeuchte wurde durch Trocknung bei 105 °C ermittelt.

Gehalte an Mineralstoffen (P, K, Mg)

Die Gehalte an K, P und Mg wurden nach DIN 51418 (1996 – 2009) ermittelt.

Gehalt an N

Der N-Gehalt wurde nach DIN ISO 10694b ermittelt.

Rohprotein (RP)

Der ermittelte Stickstoffgehalt von Getreidekörnern wurde mit dem Faktor 5,7 multipliziert, für die anderen pflanzlichen Materialien wurde der Faktor 6,25 eingesetzt (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, Abschnitt 4.1.1, BUCHHOLZ, 1993).

Getreideeinheiten (GE, dt/ha):

Bei Getreide und Hackfrüchten wurden die geernteten Frischmasseerträge mit folgenden GE-Koeffizienten nach BECKER (1988) multipliziert:

Weizenkorn:	1,07
Triticale:	1,04
(Mittelwert aus Weizen und Roggen)	
Getreidestroh:	0,10
Silomais:	0,18
Körnermais:	1,10
Kartoffelknollen:	0,22.

Die geernteten Klee graserträge wurden zu Heu umgerechnet (86 % TM) und mit dem Faktor 0,68 multipliziert.

Rohfaser

Die Probe wird, falls erforderlich, entfettet und nacheinander in siedender Schwefelsäure und mit siedender Kalilauge definierter Konzentrationen behandelt. Der Rückstand wird durch Filtration über ein gesintertes Glasfilter getrennt, gewaschen, getrocknet, gewogen und bei einer Temperatur von 475 - 500 °C verascht. Der Ascheverlust entspricht dem Rohfasergehalt der Probe (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, Abschnitt 6.1.1, BUCHHOLZ, 1993).

Fallzahl

Die Fallzahl wurde nach ICC-Standard Nr. 107 bestimmt.

Sedimentationswert

Der Sedimentationswert wurde nach ICC-Standard Nr. 118 ermittelt.

Stärke

Zur Ermittlung des Stärkegehalts von Kartoffeln wurde das Unterwassergewicht ermittelt.

Rohbrei

Die Rohbreiverfärbung wurde nach KOLBE (1990) ermittelt.

3.11 Berechnungswerkzeuge

Nährstoff-Bilanzierungen aufgrund experimentell ermittelter Daten und Tabellenwerken

In die N-Bilanzrechnung sind als N-Zufuhrquellen die Düngung (Stallmist, Jauche, Gülle, Mulch, Gründüngung, Stroh), symbiotische N₂-Fixierung im Ertrag, Ernte- und Wurzelrückständen der Leguminosen und die N-Immission eingegangen (Methau 45 kg N/ha, Spröda 30 kg N/ha, 10 kg N/ha asymbiotische N₂-Fixierung; BECKMANN et al., 2001). Je nach Ansatz ist bei der Berechnung von einem konstanten Bodenvorrat an Stickstoff ausgegangen worden, oder es wurden experimentell ermittelte Werte für Mineralisation und Immobilisation eingesetzt. Die N-Abfuhr wurde aus den N-Entzugswerten der Ernteprodukte errechnet. Der N-Saldo wurde aus der Differenz der N-Zufuhr und der N-Abfuhr ermittelt. Die N-Aufnahme der Pflanzen wurde durch Multiplikation des entsprechenden N-Gehaltes und der Summe aus Haupt- und Nebenprodukt der Fruchtarten gebildet. Die Nährstoffbilanzierung und die Ermittlung der legumen N₂-Bindung der Leguminosen erfolgten ausführlich nach KOLBE & KÖHLER (2008). Zur Bilanzierung anderer Nährstoffe wurde in ähnlicher Weise vorgegangen. Die S-Immissionen haben an beiden Standorten von 1993 – 2007 von ca. 16 kg auf 8 kg S/ha und Jahr abgenommen (LIPPOLD & ALBERT, 2003; NAGEL et al., 2004; BARTH et al., 2016).

Nährstoff-Effizienz je Flächeneinheit sowie Nutzungseffizienz der symbiotischen N₂-Bindung durch Leguminosen

Je nach Ansatz wurde folgende Gleichung verwendet: Nährstoffeffizienz (%) = (Nährstoffabfuhr in kg N/ha x 100) / Nährstoffzufuhr in kg N/ha (OENEMA et al., 2015). Zur Nährstoffbilanzierung inklusive der N_t-Bodensalden wurden negative Werte der Zufuhr und positive Werte der Abfuhr hinzugerechnet und als Gesamt-Effizienz ausgewiesen (KOLBE, 2015b, 2016). Die gebildete Menge an symbiotischer N₂-Bindung durch Leguminosen ist u.a. abhängig von der Leguminosenart, dem Ertrag, dem Anteil an Leguminosen im Gemenge und der Menge an reaktivem Stickstoff (z.B. N_{min}) im Boden (KOLBE, 2009b). Da diese Faktoren durch die verwendeten Bestimmungsmethoden berücksichtigt werden, kann im Rahmen von Bilanzierungsmaßnahmen der Fruchtfolge unter der Bedingung eines gleich hohen Anbauumfangs an Leguminosen in Düngungsvarianten eine Berechnung des relativen N-Anteils an N₂-Bindung am Gesamt-N-Entzug (= 100 %) nach folgender Gleichung berechnet werden: Nutzungseffizienz (%) = (Menge N₂-Bindung kg/ha x 100) / N-Abfuhr.

Bodenbilanzen an Nährstoffen und C_{org} (Humus)

Zur Ermittlung der Veränderung der Gehalte an Bodennährstoffen und C_{org} zwischen Versuchsanfang und – Ende wurden die ersten und letzten Gehalte an Nährstoffen verwendet. Bei den C_{org}- und N_t-Merkmale wurden Verfahren der Regressionsanalyse (lineare und quadratische Regression) zur Bestimmung von Anfangs- und Endwerten verwendet (siehe KOLBE et al., 2013).

Humusreproduktion und N-Umsatz

Zur Berechnung des Humusumsatzes und der N-Mineralisation wurde das Modell CCB verwendet (FRANKO et al., 2011; KOLBE et al., 2013). Die N-Mineralisation umfasst sowohl die kurzfristige N-Bereitstellung aus organischen Düngergaben im Anwendungsjahr zur Fruchtart als auch die langfristige N-Nachlieferung der aktiven Bodensubstanz in Abhängigkeit von Standort, Witterung, Vorfrüchten und der Bewirtschaftung. Die Berechnungen stellen Maximalwerte dar, da Verlustgrößen z.B. bei der Düngerausbringung nicht abgezogen worden sind. Die Mineralisation der Grundnährstoffe wurde auf Basis der CCB-Werte für Stickstoff nach folgenden Schätzwerten ermittelt (KOLBE, 2021):

■ N : P : K : Mg : S = 1,0 : 0,08 : 1,25 : 0,65 : 0,1.

Ammoniakverluste durch Mulch

Die Verluste an Ammoniak wurden für mittlere Verhältnisse nach KOLBE & KÖHLER (2008) für gemulchte Kleeegrasauflüchse nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\frac{((3,0266 * N\text{-Gehalt}) - 2,1459) * N\text{-Entzug}}{100}$$

N-Verlagerung und Auswaschung

Kalkulation der Auswaschung an Stickstoff wurde nach Vorgaben von HAFERKORN (2013) aus Lysimeterversuchen für folgende Standortbedingungen ermittelt:

- Methau (Lysimetergruppe 9): Sickerwassermenge 60 mm, Austauschhäufigkeit 18 % (bei 66 % Winterauffüllung, 28% Austauschhäufigkeit)
- Spröda (Lysimetergruppe 7): Sickerwassermenge 50 mm, Austauschhäufigkeit 21 % (bei 66 % Winterauffüllung, 32 % Austauschhäufigkeit).

Ernte- und Wurzelrückstände der Fruchtarten

Die Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) wurden auf Basis der HP-Trockenmasseerträge der Fruchtarten mit Hilfe einfacher linearer mathematischer Gleichungen ermittelt (KOLBE et al., 2022).

Bewertungskriterien für Bilanzen und Bodennährstoffgehalte

C_{org} bzw. Humus: Umrechnung von CCB-Humusbilanzen in Humusäquivalente:

- Humusäquivalente (kg HÄQ/ha) = Humussaldo (kg C_{org}/ha u. Jahr) / Bodenfaktor (Spröda: 50100; Methau: 38100) x 20 Jahre / Faktor 0,0005672

Auf Grund enger Korrelationen entsprechen Humussalden bzw. C_{org}-Differenzen ungefähr den Humusäquivalenten (siehe KOLBE, 2012a).

Umrechnung von (experimentell) ermittelten jährlichen C_{org}-Gehalts-Differenzen in Humusäquivalente:

- Humusäquivalente (kg HÄQ/ha) = Δ C_{org}-Gehalt (% TM) x 20 Jahre / Faktor 0,0005672

Bodenfaktor:

- 30 cm Bodentiefe; spezif. Gewicht: Spröda = 1,7 g/cm³, Methau = 1,3 g/cm³ (siehe Tabelle 1).

Faktor 0,0005672: Aus Dauerversuchen ermittelter Umrechnungsfaktor von Humusäquivalenten (kg HÄQ/ha) in C_{org}-Gehaltsdifferenzen (C_{org}, % TM), die in etwa nach 20jähriger Beibehaltung der postulierten Bewirtschaftung erreicht werden nach folgender Gleichung:

- Humusäquivalente (kg HÄQ/ha) x Faktor = Δ C_{org}-Gehalt (% TM) (KOLBE, 2012a; KOLBE & ZIMMER, 2015).

VDLUF A-Bewertungssysteme:

- A-E-Bewertungssystem für Humussalden nach EBERTSEDER et al. (2014): Ökolandbau.
- A-E-Bewertungssysteme für extrahierbare P- und K-Bodengehalte nach KOLBE (2019): neue Klasse C ist optimal für Ökolandbau); für Mg nach ALBERT et al. (2007): konventioneller Landbau (Klasse B ist optimal für Ökolandbau), für pH-Werte nach ALBERT et al. (2007): Klasse C ist optimal für Ökolandbau.
- Bewertungssysteme für Nährstoffsalden nach KOLBE (2015a) und MEYER et al. (2021b).

Biometrische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte bei allen Pflanzen- und Bodendaten mit Hilfe des Programmsystems SPSS (Superior Performance, Software System; Fa. SPSS, München). Aufgrund des hohen Variantenumfangs wurden bei vielen Merkmalen lediglich Mischproben der vier Wiederholungen untersucht. Eine varianzanalytische Verrechnung fand in diesen Fällen nicht statt. Die Werte der Merkmale werden als Mittelwerte der jeweiligen Faktoren dokumentiert.

Die varianzanalytische Auswertung der mehrfaktoriellen Spaltanlage erfolgte bei allen Pflanzen-Daten, die mit Wiederholungen erfasst wurden, mit Hilfe des Programmsystems EFDAS (Evaluation of Field Experiment Data and Series of Experiments, Version 3.0) oder mit dem Programm SPSS. Dabei wurden die Daten der beiden Standorte und der viehrefreien und viehrefreien Systeme aus programmtechnischen Gründen getrennt verrechnet (Tukey-Test für $p \leq 5\%$; Standardabweichung, SDA, s). Verschiedene Buchstaben bezeichnen Signifikanzunterschiede. Weitere Statistikprozeduren kamen zum Einsatz: Korrelation, einfache Regression, multiple lineare Regressionsanalyse, partielle Korrelationsanalyse, Signifikanzgrenzen: $10\% = (*)$; $5\% = *$; $1\% = **$; $0,1\% = ***$.

Die Ertragsstabilität der Fruchtarten wurde durch Regressionsanalyse nach FINLAY & WILKINSON (1963) im Vergleich zum Ertragsniveau der Fruchtfolge durch Ausweisung der Regressionsgleichung und dem Standardfehler der Regression ermittelt. Die Diskriminanzanalysen (DA) zur Gruppentrennung der Faktoren Standort, Anbausystem, Düngemittelart und Düngungshöhe erfolgte entsprechend den Anwendungshinweisen von KOLBE (1990).

Die Laboruntersuchungen von Bodenproben, Pflanzen und Düngemitteln wurden in einem Zeitraum von über 20 Jahren in der Regel von der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Leipzig und Nossen durchgeführt.

4 Ergebnisse und Interpretation

Das Jahr 1993 ist als Übergangsjahr betrachtet worden. Es wurde als erstes Anbaujahr unter ökologischer Bewirtschaftung nur bedingt in die Auswertungen einbezogen, um kurzfristige Umstellungseffekte der vorherigen Bewirtschaftung auszuschließen. Wird das Jahr 1993 dennoch einbezogen wird dies explizit kenntlich gemacht. Es soll durch Einbezug des Versuchsbeginns ein besserer Überblick über den Verlauf möglich werden.

Grundsätzlich zu beachten ist, dass am Standort Methau im Jahre 1997 die Varianten mit Gülle-Düngung (G) des Systems Marktfrucht (MF) umgewandelt wurden in Grüngut-Düngung (M). Am Standort Spröda gab es diese Veränderung bereits ab dem Jahre 1995. Hier war ebenfalls im MF-System die mit Stallmist (SM) gedüngte Variante von einer Änderung in M-Düngung betroffen. Diese Varianten werden aus Gründen der Übersichtlichkeit fortlaufend mit M-Düngung bezeichnet und dargestellt.

4.1 Erträge der Fruchtarten

Nachfolgend werden die an den Standorten Methau und Spröda über die Versuchszeit ermittelten Frischmasseerträge (FM-Erträge) der Haupt- (HP) und Nebenprodukte (NP) sowie die Erträge angegeben in Getreideeinheiten (GE-Erträge) als Summen zwischen HP und NP der Anbaukulturen nach Anbausystem, Düngesteigerungsstufe und Düngemittelart geordnet gegenübergestellt. Das Jahr 1993 wurde an beiden Standorten, sowohl bei statistischer Verrechnung der FM-Erträge aber auch der GE-Erträge nicht mit einbezogen, da die in diesem Jahr angebauten Kulturen zwischen den Systemen nicht vergleichbar und Umstellungseffekte sehr wahrscheinlich sind. Aufgrund unvollständiger Datenerfassung am Standort Spröda mussten einige Jahre aus der Analyse zum FM- sowie GE-Ertrag ausgenommen werden.

Da Kalkammonsalpeter (Variante MIN) nach den Grundsätzen des Ökologischen Landbaus nicht zulässig ist und daher in der Praxis keine Anwendung findet, wurde in der Regel in den verschiedenen Kapiteln nur eine kurze vergleichende Wirkungsanalyse des Düngemittels vorgenommen.

4.1.1 FM-Ertrag (HP, NP)

4.1.1.1 Klee gras

Klee gras und Sommerweizen konnten, da von diesen beiden Kulturarten die Erträge mehrerer Anbaujahre vorlagen, gesondert in die Betrachtung einbezogen werden. In Methau wird bei den mittleren Klee gras-FM-Erträgen eine Ausdifferenzierung anhand der Ertrags-Mittelwerte zwischen den Anbausystemen zu Gunsten des FB-Systems erkennbar. Statistisch absicherbar sind die Unterschiede zwischen den Anbausystemen jedoch sowohl in Methau als auch in Spröda nicht. Der mittlere FM-Ertrag Sprödas der Klee gras-Anbaujahre ist über die Systeme hinweg nahezu identisch (Tabelle 10). Die Erträge liegen am Standort Methau um fast 130 dt/ha FM höher. Im Vergleich zu ohne Düngung führte besonders eine Gülledüngung am Standort Methau zu einem Anstieg der Klee graserträge (Tabelle 11).

Tabelle 10: FM-Ertrag [dt/ha] Klee gras unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
449,1	483,0	491,2	498,9	480,6	346,3	350,1	352,6	356,3	351,3
±16,1 a	±7,6 b	±10,1 b	±6,1 b	±6,1 A	±23,7 a	±21,6 a	±19,5 a	±32,6 a	±16,9 A
Marktfrucht									
458,7	477,7	478,3	484,2	474,7	321,9	345,5	360,6	363,9	347,9
±16,5 a	±16,1 a	±6,3 a	±6,5 a	±5,3 A	±17,7 a	±22,6 a	±26,8 a	±30,7 a	±23,6 A
MW									
453,9	480,4	484,8	491,6	477,7 B	334,1	347,8	356,6	360,1	349,6 A

Tabelle 11: FM-Ertrag [dt/ha] Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
449,1	487,9	494,2	468,4	346,3	362,9	343,0	222,9
±16,1 a	±7,7 bc	±5,9 c	±8,5 ab	±23,7 b	42,2 b	±9,2 b	±42,4 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
458,7	480,5	479,7	487,3	321,9	357,5	355,8	316,1
±16,5 a	±5,2 ab	±8,3 ab	±12,4 b	±17,7 a	±23,9 a	±32,1 a	±49,9 a

4.1.1.2 Sommerweizen

Der mittlere FM-Ertrag der Haupt- und Nebenprodukte der Fruchtart Sommerweizen zeigt in der FB-Variante und ebenfalls bei den Nebenprodukten der MF-Variante signifikante Ertragsunterschiede zwischen den Düngesteigerungsstufen (Tabelle 12). In der MF-Variante der Hauptprodukte Methaus unterscheidet sich die ungedüngte Variante (0,0 DE) von der intensiv mit 2,0 DE/ha versorgten Variante signifikant. Eine kontinuierliche Ertragssteigerung durch 0,5 DE sowie 1,0 DE/ha wird in den Ertragswerten in der Tendenz ersichtlich, ist jedoch nicht statistisch absicherbar. Am Standort Spröda sind nur geringe Tendenzen durch eine steigende Düngung zu erkennen. Weitere Ergebnisse zum Einfluss von Anbausystem und Düngung auf die Erträge an Sommerweizen können der Tabelle 13, der Tabelle 14 sowie der Tabelle 15 entnommen werden.

Tabelle 12: FM-Ertrag [dt/ha] HP (oben) und NP (unten) von Sommerweizen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau (1997, 1999) und Spröda (1995, 1998)

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
51,0	56,9	57,5	58,1	55,9	20,2	22,9	21,5	22,0	21,6
±1,3 a	±1,9 b	±1,0 b	±2,5 b	±1,5 B	±2,9 a	±1,6 a	±1,3 a	±2,3 a	±2,0 B
Marktfrucht									
47,1	49,0	50,8	52,7	49,9	19,9	19,9	19,8	19,8	19,8
±1,4 a	±3,3 ab	±0,9 ab	±2,7 b	±1,5 A	±1,8 a	±1,0 a	±1,3 a	±2,3 a	±1,6 A
MW									
49,1	53,0	54,2	55,4	52,9 B	20,1	21,4	20,7	20,9	20,8 A

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
34,8	32,3	35,0	37,7	35,0	22,2	24,5	22,8	24,3	23,4
±0,4 b	±1,1 a	±1,3 b	±1,2 c	±1,0 B	±3,2 a	±2,6 a	±2,4 a	±2,5 a	±2,7 A
Marktfrucht									
31,5	30,4	33,8	32,3	32,0	21,9	21,5	21,5	21,7	21,5
±0,4 ab	±0,1 a	±0,7 c	±0,6 d	±0,3 A	±2,0 a	±1,5 a	±2,0 a	±2,5 a	±2,0 A
MW									
33,2	31,4	34,4	35,0	33,5 B	22,1	23,0	22,2	23,0	22,6 A

Tabelle 13: FM-Ertrag [dt/ha] HP Sommerweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (1997, 1999)

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
51,0	55,1	55,6	56,1	51,0	58,6	59,4	60,1	57,7
±1,3	±2,7	±1,1	±3,1	±1,3	±2,6	±2,0	±2,4	±2,2
Marktfrucht								
	SM				M			
47,1	47,9	50,0	51,1	47,1	50,1	51,7	54,2	57,5
±1,4	±4,1	±1,4	±2,7	±1,4	±2,7	±1,7	±3,3	±2,7

Tabelle 14: FM-Ertrag [dt/ha] HP Sommerweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (1995, 1998)

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
20,2	22,4	22,1	22,6	20,2	22,1	20,9	21,4	22,2
±2,9	±2,0	±0,7	±2,6	±2,9	±1,2	±2,0	±2,0	±0,7
Marktfrucht								
	M				G			
19,9	20,1	19,3	18,7	19,9	19,1	18,3	20,8	18,2
±1,8	±1,2	±0,7	±2,1	±1,8	±0,8	±1,9	±2,5	±0,4

Tabelle 15: FM-Ertrag[dt/ha] HP (oben) und NP (unten) von Sommerweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau (1997, 1999) und Spröda (1995, 1998)

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
51,0	55,6	59,4	57,8	20,2	22,4	21,9	22,2
±1,3 a	±1,4 b	±2,2 b	±2,2 b	±2,9 a	±1,8 a	±1,7 a	±0,7 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
47,1	49,7	52,0	57,5	19,9	19,6	20,0	18,2
±1,4 a	±1,9 ab	±1,6 b	±2,7 c	±1,8 a	±1,3 a	±1,7 a	±0,4 a
Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
34,8	33,0	37,1	33,0	22,2	24,1	23,6	24,4
±0,4 a	±1,7 a	±0,8 b	±0,7 a	±3,2 a	±2,5 a	±2,5 a	±0,8 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
31,5	32,3	32,0	32,4	21,9	21,3	21,8	20,1
±0,4 a	±0,2 a	±0,8 a	±1,4 a	±2,0 a	±1,9 a	±2,1 a	±0,4 a

4.1.1.3 Mais

Beim Anbau von Mais liegt das Ertragsniveau am Versuchsort Methau deutlich höher. Die Erträge an Silomais sind durch die Düngung deutlich angestiegen. Im Futterbau wurden höhere Erträge erzielt als im Marktfruchtsystem (Tabelle 16). Weitere Ergebnisse über das Ertragsniveau im Maisanbau können der Tabelle 17, der Tabelle 18 sowie der Tabelle 19 entnommen werden.

Tabelle 16: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze (oben) und Korn (unten) bei Mais unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau 1998					Spröda 1996, 1999				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
423,7	498,9	516,8	527,3	491,7	202,7	213,5	207,7	206,3	207,6
±33,4 a	±66,7 ab	±68,6 ab	±63,1 b	±58,0 A	±12,1 a	±12,1 a	±6,7 a	±9,7 a	±10,2 B
Marktfrucht									
407,8	450,7	470,4	496,3	456,3	183,1	182,3	188,0	194,1	186,9
±88,6 a	±102,5 a	±83,3 a	±92,7 a	±91,8 A	±17,8 a	±16,9 a	±9,1 a	±8,9 a	±13,2 A
MW									
415,8	474,8	493,6	511,8	474,0 B	192,9	197,9	197,9	200,2	197,3 A
Methau 2003					Spröda 1996, 1999				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marktfrucht									
57,3	52,8	53,5	60,0	55,9	36,5	34,7	36,7	40,4	37,1
±7,0 ab	±4,6 a	±3,8 ab	±2,9 b	±4,6	±9,8 a	±6,0 a	±6,1 a	±3,8 a	±6,4
MW									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 17: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze bei Mais unter Berücksichtigung der applizierten Düngertypen in verschiedenen Düngegraden in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 1998)

Methau 1998								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
423,7	494,1	531,9	551,8	423,7	503,7	501,7	502,9	516,7
±33,4	±49,0	±53,9	±66,3	±33,4	±84,5	±83,2	±60,0	±88,1
Marktfrucht								
	SM				M			
407,8	438,1	462,3	491,8	407,8	463,2	478,4	500,8	532,1
±88,6	±106,6	±73,7	±97,8	±88,6	±98,3	±93,0	±87,6	±95,1

Tabelle 18: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze bei Mais unter Berücksichtigung der applizierten Düngertypen in verschiedenen Düngegraden in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (1996, 1999)

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
202,7	210,7	207,3	204,6	202,7	216,4	208,2	208,0	195,5
±12,1	±9,1	±5,1	±7,4	±12,1	±15,0	±8,4	±12,1	±7,5
Marktfrucht								
	M				G			
183,1	184,1	194,2	198,0	183,1	180,5	181,7	190,2	166,9
±17,8	±14,1	±9,2	±7,0	±17,8	±19,7	±8,9	±10,8	±7,6

Tabelle 19: FM-Ertrag [dt/ha] Ganzpflanze bei Mais unter Berücksichtigung der applizierten Düngertypen an den Standorten Methau und Spröda

Methau 1998				Spröda 1996, 1999			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
423,7	525,9	502,8	516,7	202,7	207,5	210,9	195,5
±33,4 a	±56,4 b	±75,9 ab	±88,1 ab	±12,1 ab	±7,2 ab	±11,8 b	±7,5 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
407,8	464,1	480,8	532,1	183,1	192,1	184,1	166,9
±88,6 a	±97,2 a	±93,0 a	±95,1 a	±17,8 ab	±10,1 b	±13,1 ab	±7,6 a

4.1.1.4 Winterweizen

Auch die Korn- und Stroherträge waren beim Weizenanbau am Ort Methau höher als am Ort Spröda. Dagegen gab es keinen eindeutigen Trend nach steigender Düngung oder in Folge Futter- oder Marktfruchtbau (Tabelle 20). Die Kornerträge liegen nach Gülle- und Mulchdüngung etwas höher als in den Vergleichsvarianten (Tabelle 21, Tabelle 22 u. Tabelle 23).

Tabelle 20: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2002)

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
40,8	41,2	40,5	43,2	41,4	36,3	36,9	37,2	37,7	37,0
±5,8 a	±6,2 a	±2,8 a	±3,6 a	±4,6 A	±1,3 a	±1,0 a	±1,8 a	±1,6 a	±1,4 A
Marktfrucht									
43,2	38,1	38,6	39,2	39,8	36,0	39,4	40,4	40,7	39,1
±3,0 a	±3,7 a	±4,5 a	±4,5 a	±3,9 A	±1,4 a	±2,9 ab	±3,2 b	±2,6 b	±2,5 A
MW									
42,0	39,7	39,0	41,2	40,5 B	36,2	38,2	38,8	39,2	38,1 A
Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau									
34,1	34,9	34,7	39,8	35,9	18,4	17,4	17,2	18,1	17,8
±3,8 a	±7,0 a	±2,5 a	±8,0 a	±5,3 A	±4,1 a	±2,3 a	±2,0 a	±4,1 a	±3,1 A
Marktfrucht									
37,3	36,8	33,6	34,8	35,8	20,2	18,8	21,5	19,1	19,9
±4,3 a	±3,6 a	±7,8 a	±5,9 a	±5,4 A	±1,1 ab	±2,5 a	±3,5 ab	±2,4 b	±2,4 B
MW									
35,7	35,9	34,2	37,3	35,9 B	19,3	18,0	18,9	18,6	18,8 A

Tabelle 21: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 2002)

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
40,8	38,5	37,5	40,8	40,8	44,0	41,1	45,7	46,7
±5,8	±6,5	±1,8	±5,2	±5,8	±5,8	±3,8	±2,0	±1,6
Marktfrucht								
	SM				M			
43,2	34,7	37,7	37,3	43,2	41,5	39,4	41,1	46,1
±3,0	±4,1	±4,9	±4,4	±3,0	±3,4	±4,1	±4,6	±2,2

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
34,1	33,4	34,8	38,0	34,1	36,4	34,5	41,6	39,5
±3,8	±4,9	±1,9	±6,7	±3,8	±9,1	±3,1	±9,2	±1,9
Marktfrucht								
	SM				M			
37,3	34,8	32,0	33,9	37,3	38,9	35,2	35,7	31,4
±4,3	±3,8	±7,2	±5,5	±4,3	±3,4	±8,7	±6,3	±5,3

Tabelle 22: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (Jahr 2002)

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
36,3	37,4	37,6	37,4	36,3	36,4	36,8	38,0	39,4
±1,3	±0,8	±2,1	±2,2	±1,3	±1,1	±1,5	±1,1	±1,1
Marktfrucht								
	M				G			
36,0	39,0	40,0	39,5	36,0	39,7	40,8	41,8	36,6
±1,4	±2,8	±3,4	±2,9	±1,4	±2,9	±3,1	±2,4	±2,3

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
18,4	17,3	15,9	18,2	18,4	17,5	16,7	18,1	18,8
±4,1	±1,3	±3,3	±3,3	±4,1	±3,3	±0,6	±4,9	±3,3
Marktfrucht								
	M				G			
20,2	17,3	20,7	21,2	20,2	20,3	22,3	17,1	13,9
±1,1	±1,4	±2,7	±2,9	±1,1	±3,6	±4,2	±1,9	±3,7

Tabelle 23: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Winterweizen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2002)

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
40,8	39,7	43,6	46,9	36,3	37,5	37,1	39,4
±5,8 ab	±4,5 a	±3,9 ab	±1,6 b	±1,3 a	±1,7 ab	±1,2 ab	±1,1 b
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
43,2	36,6	40,7	46,1	36,0	39,5	40,8	36,6
±3,0 ab	±4,6 a	±4,0 ab	±2,2 b	±1,4 a	±3,0 ab	±2,8 b	±2,3 a

Tabelle 23: (Fortsetzung)

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
34,1	35,4	37,5	39,5	18,4	17,1	18,1	18,8
±3,8 a	±4,5 a	±7,1 ab	±1,9 b	±4,1 a	±2,6 a	±2,9 a	±3,3 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
37,3	33,6	36,6	31,4	20,2	19,7	19,9	13,9
±4,3 a	±5,5 a	±6,1 a	±5,3 a	±1,1 b	±2,3 b	±3,2 b	±3,7 a

4.1.1.5 Triticale

Am Ort Methau wurden relativ hohe Erträge an Triticale-Stroh ermittelt. Ein leichter Trend zu höheren Erträgen war nach Düngung zu erkennen (Tabelle 24, Tabelle 25 u. Tabelle 26).

Tabelle 24: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (links) und NP (rechts) bei Triticale unter Berücksichtigung der Düngungsintensität am Standort Methau (Jahr 2005)

Methau									
HP					NP				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _{HP}	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _{NP}
Futterbau									
60,2	60,7	63,8	60,9	61,4	56,8	54,1	55,5	60,5	56,7
±5,4 a	±5,5 a	±4,5 a	±3,5 a	±4,7 A					
Marktfrucht									
55,0	59,6	60,6	57,5	58,2	71,4	60,9	60,0	56,4	62,2
±5,8 a	±4,7 a	±4,6 a	±5,9 a	±5,3 A					
MW									
57,6	60,2	62,2	59,2	59,8	64,1	57,5	57,8	58,5	59,5

Tabelle 25: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 2005)

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
60,2	62,8	66,8	63,0	60,2	58,5	60,8	58,8	51,3
±6,4	±4,7	±5,8	±0,7	±5,4	±6,4	±3,2	±6,3	±6,7
Marktfrucht								
	SM				M			
55,0	56,1	59,3	60,6	55,0	63,1	61,9	54,5	51,4
±5,8	±4,4	±1,9	±6,6	±5,8	±5,1	±7,4	±5,2	±7,1

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
56,8	56,8	52,3	59,6	56,8	51,4	58,6	61,4	63,2
Marktfrucht								
	SM				M			
71,4	55,0	60,5	56,8	71,4	66,8	59,6	55,9	45,9

Tabelle 26: FM-Ertrag [dt/ha] für HP (oben) und NP (unten) bei Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten am Standort Methau (Jahr 2005)

Methau							
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
60,2	64,2	59,4	51,3	-	-	-	-
±5,4 ab	±3,7 b	±5,3 ab	±6,7 a				
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
55,0	58,7	59,8	51,4	-	-	-	-
±5,8 a	±4,3 a	±5,9 a	±7,1 a				

Tabelle 26: (Fortsetzung)

Methau							
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
56,8	56,2	57,1	63,2	-	-	-	-
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
71,4	57,4	60,8	45,9	-	-	-	-

4.1.1.6 Kartoffel

Am Ort Methau wurden deutlich höhere Knollenerträge ermittelt als am Ort Spröda. In Folge der Düngung stiegen die Erträge an beiden Versuchsorten deutlich an. Im Marktfruchtssystem wurden im Vergleich zum Futterbau etwas höhere Werte erhalten (Tabelle 27). Nach fortgesetzter Stalldungzufuhr reagierten die Kartoffeln offenbar durch eine höhere Ertragsbildung, besonders in den Futterbauvarianten (Tabelle 28, Tabelle 29 u. Tabelle 30).

Tabelle 27: FM-Ertrag [dt/ha] Kartoffelknollen (oben) und Kraut (unten) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2004)

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
339,2	430,8	439,4	468,4	419,5	181,5	226,5	232,1	250,8	222,7
±24,0 a	±20,9 b	±17,2 bc	±33,6 c	±23,9 A	±13,1 a	±23,0 b	±21,0 bc	±20,2 c	±19,3 A
Marktfrucht									
355,5	427,8	445,0	467,7	424,0	184,4	245,2	254,1	259,1	235,7
±48,0 a	±19,5 b	±25,0 b	±15,2 b	±26,9 A	±12,6 a	±19,1 b	±23,2 b	±18,0 b	±18,2 B
MW									
347,4	429,3	442,2	468,1	421,8 B	183,0	235,9	243,1	255,0	229,2 A
Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
MF									
32,9	52,1	54,3	60,4	49,9	-	-	-	-	-

Tabelle 28: FM-Ertrag [dt/ha] an Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau (Jahr 2004)

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
339,2	445,4	453,1	507,5	339,2	416,3	425,7	429,4	463,7
±24,0	±14,4	±21,6	±33,3	±24,0	±27,4	±12,7	±33,9	±21,5
Marktfrucht								
	SM				M			
355,5	406,3	433,3	477,5	355,5	449,3	456,8	457,9	491,4
±48,0	±23,0	±35,9	±11,3	±48,0	±16,1	±14,1	±19,1	±23,7

Tabelle 29: FM-Ertrag [dt/ha] an Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda (Jahr 2004)

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
181,5	238,7	252,4	263,8	181,5	214,3	211,8	237,8	164,4
±13,1	±21,6	±17,9	±13,0	±13,1	±24,4	±24,2	±27,4	±11,3
Marktfrucht								
	M				G			
184,4	212,1	213,2	219,2	184,4	278,3	295,0	299,0	177,2
±12,6	±18,7	±27,3	±17,8	±12,6	±19,5	±19,1	±18,2	±23,0

Tabelle 30: FM-Ertrag [dt/ha] an Kartoffelknollen (oben) und Kraut (unten) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda (Jahr 2004)

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
339,2	468,7	423,8	463,7	181,5	251,6	221,3	164,4
±24,0 a	±23,1 c	±24,7 b	±21,5 c	±13,1 a	±17,5 c	±25,3 b	±11,3 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
355,5	439,0	454,7	491,4	184,4	214,8	290,8	177,2
±48,0 a	±23,4 b	±16,4 bc	±23,7 c	±12,6 a	±21,3 b	±18,9 c	±23,0 a
Methau				Spröda			
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
32,9	48,6	62,6	73,6	-	-	-	-

4.1.1.7 Zwischenfrüchte

Von den Zwischenfruchtaufwüchsen (Senf) liegen vom Anbauort Methau aus dem Jahr 2002 Ertragsserhebungen vor (Tabelle 31 u. Tabelle 32). Bei insgesamt niedrigen Aufwuchsmengen ist aber ein deutlicher Effekt einer steigenden Düngung zu erkennen. Der mittlere Ertragsanstieg liegt bei über 40 % im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung. Im Marktfruchtssystem ohne Düngungszufuhr werden etwas höhere Erträge erzielt. Im Durchschnitt gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden Anbausystemen.

Tabelle 31: FM-Ertrag [dt/ha] von Senf-Zwischenfrucht unter Berücksichtigung der Düngungsintensität in Methau (Jahr 2002)

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
41,4	60,4	59,5	66,8	57,0	-	-	-	-	-
Marktfrucht									
49,4	52,6	64,8	62,5	57,3	-	-	-	-	-
MW									
45,4	56,5	62,2	64,7	57,2	-	-	-	-	-

Tabelle 32: FM-Ertrag [dt/ha] an Senf-Zwischenfrucht unter Berücksichtigung der applizierten Düngertypen am Standorte Methau (Jahr 2002)

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
41,6	53,6	70,8	74,8	-	-	-	-
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
49,4	54,9	65,0	75,0	-	-	-	-

Das durchschnittliche HP-Ertragsniveau und die Schwankungsbreite der angebauten Fruchtarten lagen am Ort Methau auf folgendem Niveau (dt FM/ha):

■ Klee gras	478 (454 – 492)
■ Sommerweizen	53 (49 – 55)
■ Silomais	474 (416 – 512)
■ Winterweizen	41 (39 – 42)
■ Triticale	60 (58 – 62)
■ Kartoffeln	422 (347 – 468).

Am Ort Spröda wurden folgende Ertragswerte erzielt (dt FM/ha):

■ Klee gras	350 (334 – 360)
■ Sommerweizen	20 (20 – 21)
■ Silomais	197 (193 – 200)
■ Winterweizen	38 (36 – 39)
■ Kartoffeln	229 (183 – 255).

4.1.2 Ertrag in Getreideeinheiten (HP + NP)

In diesem Kapitel werden die Erträge zunächst in Getreideeinheiten (GE/ha) der Haupt- und Nebenprodukte der Fruchtarten umgerechnet und schrittweise in Fruchtartengruppen immer weiter verdichtet, wobei die ersten Versuchsjahre fruchtartenabhängig nicht in den Berechnungen enthalten sind. Am Ende des Kapitels erfolgen Berechnungen für eine anvisierte Fruchtfolge mit gleichen Bestandteilen an Leguminosen, Getreide- und Hackfruchtarten, damit die untersuchten Einflussfaktoren möglichst genau quantifiziert und miteinander vergleichend gegenüber gestellt werden können.

4.1.2.1 Getreidearten

Von den Getreidearten kamen in Methau S.- und W.-Weizen sowie Triticale und in Spröda S.- und W.-Weizen zum Anbau. Die zusammengefassten Daten ergeben einen deutlichen Unterschied zwischen den Versuchsorten. Das mittlere Ertragsniveau liegt am Anbauort Methau um ca. 25 dt GE/ha (174 %) höher als am Ort Spröda (Tabelle 33, Tabelle 34 u. Tabelle 35). Als Gründe für diesen Unterschied müssen die Bodenart und die klimatischen Besonderheiten herangezogen werden. Der leichte Boden in Spröda gilt als Randgebiet zum Anbau von Weizen. Zusätzlich dürfte die oft auftretende Vorsommertrockenheit besonders den Anbau von Sommerungen beschränkt haben.

Während in Spröda keine Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen aufgetreten sind, liegen die GE-Erträge im Futterbau unabhängig vom Intensitätsniveau um durchschnittlich 3,7 dt GE/ha höher als auf den Marktfruchtvarianten (Tabelle 33). Werden nur die Winterungen zusammengeführt, so ist der Ertragsunterschied zwischen beiden Orten deutlich geringer und es wird in Spröda sogar ein Mehrertrag von 1,3 dt GE/ha im Marktfrucht-System erzielt (Abbildung 5).

Eine steigende Düngung führt in der Regel zu einer Zunahme der Erträge, doch gibt es Unterschiede zwischen den Anbauorten. In Methau kommt es beim Anbau von Winterungen nur zu einer geringen Zunahme nach hoher Düngung im Futterbau, während die GE-Erträge im Marktfrucht-System sogar einen eher depressiven Charakter aufweisen. Am Ort Spröda steigen die Erträge bis zur höchsten Düngermenge noch an, so dass der abnehmende Ertragszuwachs sichtbar wird. An beiden Orten weist mineralische N-Düngung ebenfalls eher einen depressiven Charakter auf. Gegenüber den Varianten ohne Düngung haben alle geprüften Düngemittel zu dem Ertragsanstieg beigetragen (Tabelle 36). Zwischen den Düngemitteln gab es nach langfristiger Zufuhr keine großen Unterschiede in der Wirkung.

Tabelle 33: GE-Ertrag [dt/ha] an Getreide (Korn, Stroh von S.-Weizen, W.-Weizen, Triticale) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
57,8	60,1	61,2	61,9	60,2	32,2	34,0	33,4	34,1	33,4
±3,9 a	±4,9 a	±2,1 a	±3,0 a	±3,5 A	±1,9 a	±1,2 a	±1,7 a	±2,1 a	±1,7 A
Marktfrucht									
55,9	56,0	57,2	56,8	56,5	32,0	33,7	34,3	34,4	33,6
±2,8 a	±3,2 a	±3,0 a	±2,9 a	±3,0 A	±1,5 a	±2,1 a	±2,0 a	±1,6 a	±1,8 A
MW									
56,9	58,1	59,2	59,4	58,4 B	32,1	33,9	33,9	34,3	33,5 A

Tabelle 34: GE-Ertrag [dt/ha] an Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
57,8	59,3	61,1	60,8	57,8	60,9	61,3	62,9	59,7
±3,9	±4,8	±1,6	±2,6	±3,9	±5,1	±2,7	±3,5	±3,3
Marktfrucht								
	SM				M			
55,9	52,9	56,1	56,7	55,9	59,1	58,2	56,9	58,4
±2,8	±3,4	±2,5	±2,4	±2,8	±3,0	±3,6	±3,4	±1,4

Tabelle 35: GE-Ertrag [dt/ha] an Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
32,2	34,0	33,9	34,3	32,2	34,0	33,0	33,9	35,1
±1,9	±1,5	±1,6	±2,6	±1,9	±0,8	±1,8	±1,7	±0,8
Marktfrucht								
	M				G			
32,0	33,6	34,2	33,3	32,0	33,8	34,5	35,5	31,0
±1,5	±2,3	±2,2	±0,8	±1,5	±2,0	±1,9	±2,4	±1,3

Tabelle 36: GE-Ertrag [dt/ha] an Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
57,8	60,4	61,7	59,7	32,2	34,1	33,6	35,1
±3,9 a	±3,0 a	±4,1 a	±3,3 a	±1,9 a	±1,9 ab	±1,4 ab	±0,8 b
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
55,9	55,2	58,1	58,4	32,0	33,7	34,6	31,0
±2,8 a	±2,8 a	±3,3 a	±1,4 a	±1,5 ab	±1,8 ab	±2,1 b	±1,3 a

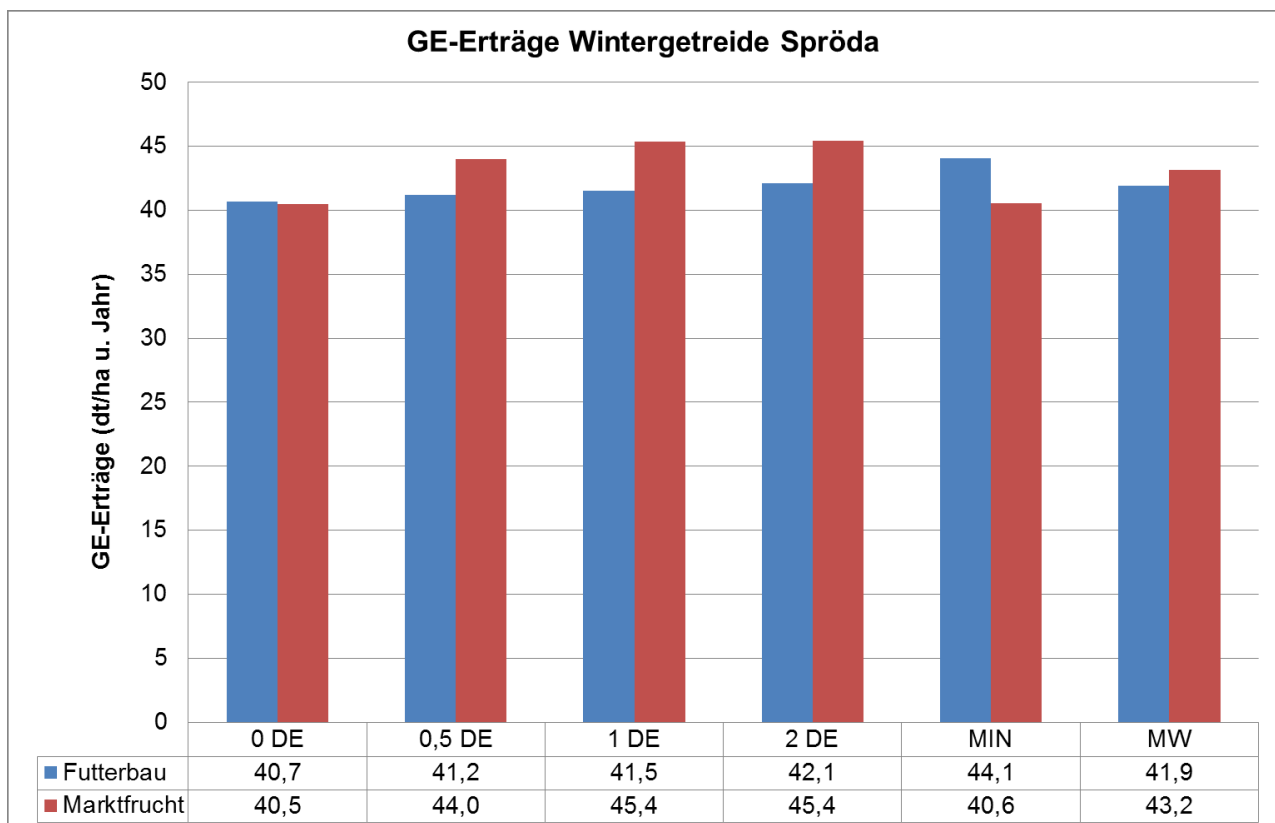
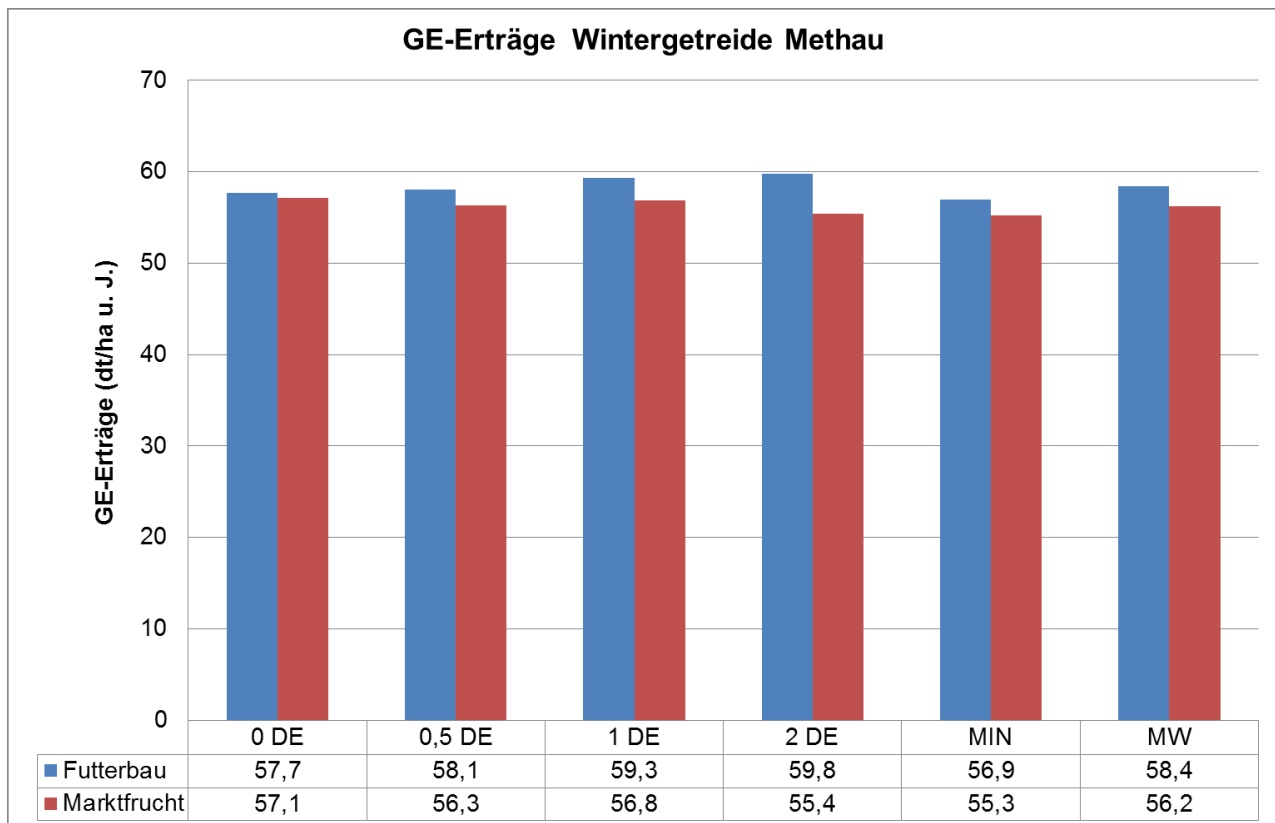


Abbildung 5: GE-Erträge der Wintergetreidearten (W.-Weizen, Triticale) am Standort Methau (oben) und Spröda (unten) in Bezug auf die steigende Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System

Im Durchschnitt der untersuchten Getreidearten wird der abnehmende Ertragszuwachs in Folge steigender Düngung an den Ergebnissen beider Orte sichtbar. Eine weitere Zunahme der Düngungshöhe würde nach diesen Ergebnissen wahrscheinlich zu keiner weiteren Ertragssteigerung führen können. Daher kann für die Getreidearten für beide Orte ein weitgehend maximales Ertragsniveau nach dauerhafter Düngung von ca. 2 DE/ha und Jahr angenommen werden. Die Ertragssteigerungen betragen an den Versuchsorten folgende Werte (ohne Düngung = 100 %):

- Methau - Futterbau +4,1 dt GE/ha (107 %)
- Marktfrucht +0,9 dt GE/ha (102 %)
- Spröda - Futterbau +1,9 dt GE/ha (106 %)
- Marktfrucht +2,4 dt GE/ha (108 %).

4.1.2.2 Hackfrüchte

In den Versuchen wurden Mais und Kartoffeln als Hackfrüchte angebaut. Am Versuchsort Methau war bei beiden Kulturen das Ertragsniveau mit 207 % mehr als doppelt so hoch wie am Vergleichsort Spröda, auch die Zunahmen durch Düngung waren etwas stärker ausgeprägt (Tabelle 37, Tabelle 38 u. Tabelle 39). In der Tendenz wurden an beiden Orten im System Futterbau etwas höhere Werte erreicht. Zwischen den geprüften Düngemitteln gab es keine gesicherte Rangfolge in der Wirkung (Tabelle 40). An beiden Orten führte eine steigende Düngung zu einem deutlich ausgeprägten abnehmenden Ertragszuwachs. Am Beispiel der Summe der Nichtleguminosen ist auf beiden Anbausystemen zu erkennen, dass hierbei jeweils ungefähr maximale Erträge in der höchsten Düngungsstufe erreicht worden sind (Abbildung 6). Die N-Mineraldüngung führte am Ort Methau ebenfalls zu sehr hohen Erträgen, am Ort Spröda dagegen erfolgte im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung sogar eine Abnahme des Ertragsniveaus.

Tabelle 37: GE-Ertrag [dt/ha] der Hackfrüchte (Mais, Kartoffeln) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MWS
Futterbau									
75,4	92,3	94,8	99,0	90,4	38,2	44,1	44,2	46,2	43,2
±4,8 a	±6,9 b	±7,9 b	±8,7 b	±7,1 A	±2,3 a	±3,4 b	±2,4 b	±1,7 b	±2,5 A
Marktfrucht									
75,8	87,6	91,3	96,1	87,7	36,8	43,4	44,9	46,0	42,7
±12,4 a	±10,9 ab	±9,4 ab	±9,1 b	±10,4 A	±2,9 a	±1,9 b	±3,0 b	±2,5 b	±2,6 A
MW									
75,6	90,0	93,1	97,6	89,1 B	37,5	43,8	44,6	46,1	43,0 A

Tabelle 38: GE-Ertrag [dt/ha] an Hackfrüchten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
75,4	93,5	97,7	105,5	75,4	91,1	92,0	92,5	97,5
±4,8	±5,5	±7,0	±8,4	±4,8	±8,3	±8,8	±9,0	±10,0
Marktfrucht								
	SM				M			
75,8	84,1	89,3	96,8	75,8	91,1	93,3	95,4	101,9
±12,4	±12,1	±10,5	±10,0	±12,4	±9,8	±8,2	±8,1	±11,1

Tabelle 39: GE-Ertrag [dt/ha] an Hackfrüchten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
38,2	45,2	46,4	47,4	38,2	43,0	42,0	44,9	35,7
±2,3	±3,1	±2,4	±1,1	±2,3	±2,8	±2,3	±2,3	±1,8
Marktfrucht								
	M				G			
36,8	39,9	40,9	41,9	36,8	46,9	48,8	50,0	34,5
±2,9	±1,9	±3,1	±2,5	±2,9	±1,9	±2,9	±2,6	±3,1

Tabelle 40: GE-Ertrag [dt/ha] an Hackfrüchten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
75,4	98,9	91,9	97,5	38,2	46,3	43,3	35,7
±4,8 a	±7,0 b	±8,7 b	±10,0 b	±2,3 a	±2,2 c	±2,8 b	±1,8 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
75,8	90,1	93,3	101,9	36,8	40,9	48,6	34,5
±12,4 a	±10,9 ab	±8,7 ab	±11,1 b	±2,9 ab	±2,5 b	±2,5 c	±3,1 a

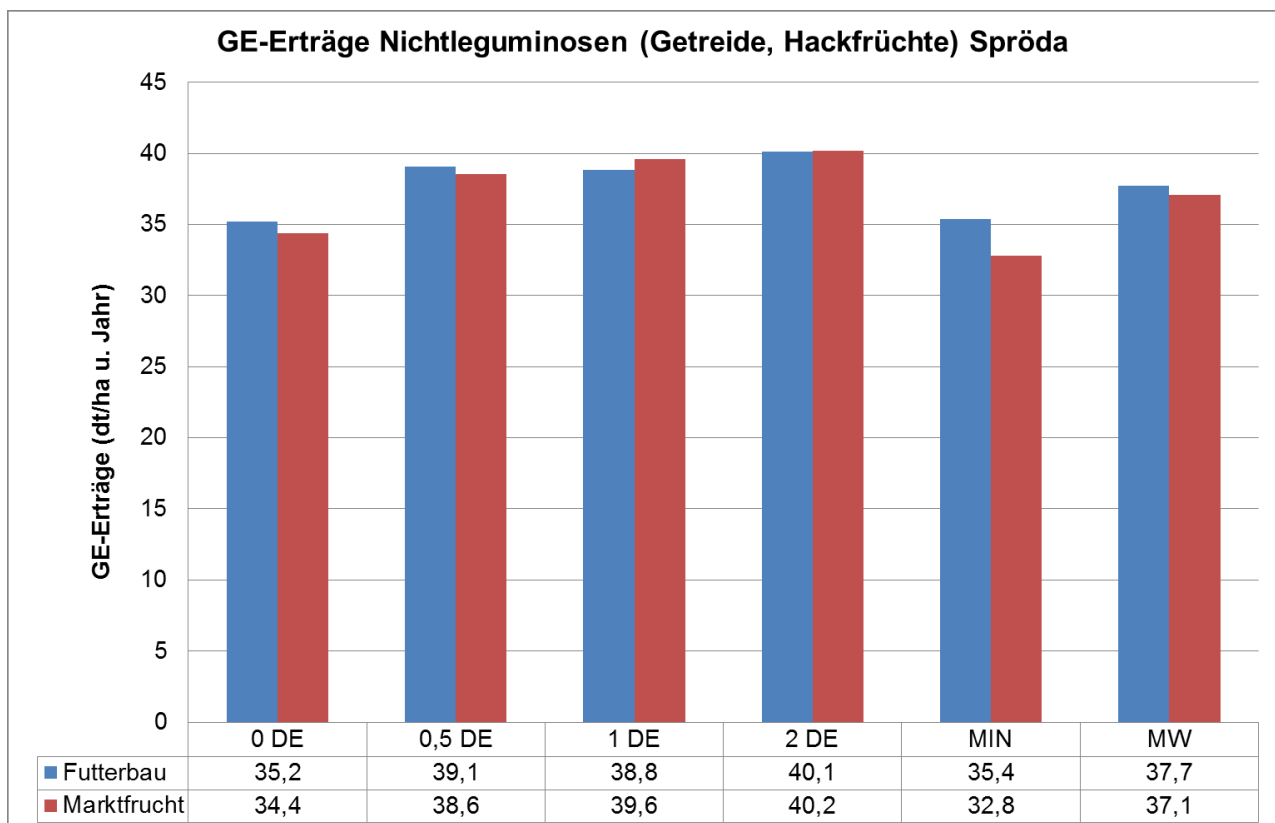
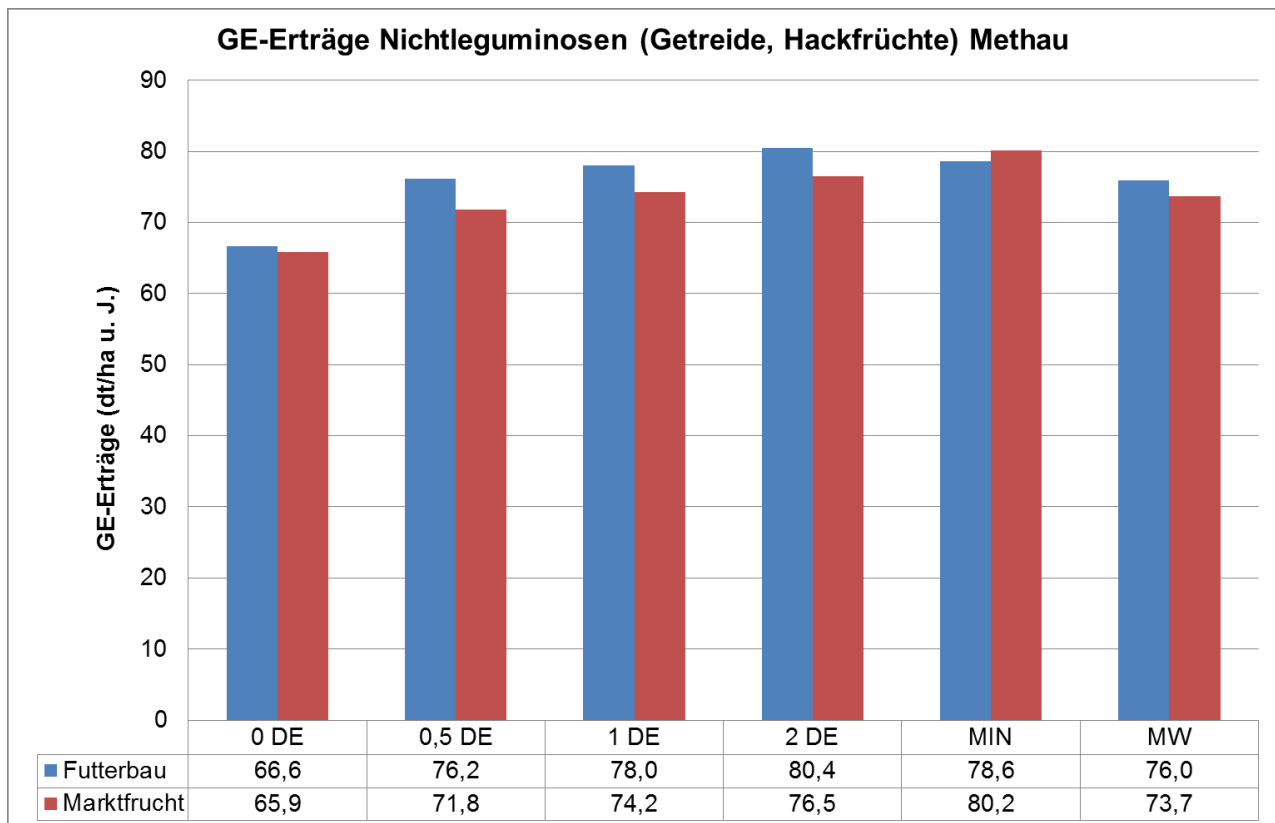


Abbildung 6: GE-Erträge der Nichtleguminosen (Getreide, Hackfrüchte) der Standorte Methau (oben) und Spröda (unten) in Bezug auf eine steigende Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System

Wie schon bei den Einzelfrüchten Mais und Kartoffeln an den Frischmasseerträgen ausgeführt (siehe Tabelle 16, Tabelle 17, Tabelle 18 u. Tabelle 19 sowie Tabelle 27, Tabelle 28, Tabelle 29 u. Tabelle 30), gab es deutliche Ertragszunahmen bei den berechneten GE-Erträgen bei diesen beiden Fruchtarten infolge steigender Düngung (Tabelle 37, siehe auch Abbildung 6: Summe Nichtleguminosen). Der Ertragsanstieg betrug bei den Hackfrüchten zwischen 20 – 30 %, wie die nachfolgende Aufstellung zeigt (ohne Düngung = 100 %):

■ Methau	- Futterbau	+23,6 dt GE/ha (131 %)
	- Marktfrucht	+20,3 dt GE/ha (127 %)
■ Spröda	- Futterbau	+8,0 dt GE/ha (121 %)
	- Marktfrucht	+9,2 dt GE/ha (125 %).

4.1.2.3 Klee gras

Mit Schwerpunkt auf die zweite Versuchshälfte wurden die GE-Erträge der angebauten Futterleguminosen zusammengefasst. Das Ertragsniveau lag um 181 % am Ort Methau über dem des Vergleichsortes (Tabelle 41, Tabelle 42 u. Tabelle 43). Auch bei diesen Kulturen, die zudem oft nicht direkt gedüngt worden sind, hat die langfristige Zufuhr der aufgeführten Düngemittel die Erträge in beiden Anbausystemen ansteigen lassen, obwohl nicht so eindeutig ausgeprägt und gradlinig, wie bei den Nichtleguminosen beschrieben (Abbildung 7). In den Varianten mit leichtlöslicher N-Mineraldüngung werden in Methau die höchsten und in Spröda die niedrigsten Erträge ermittelt.

Das Leguminosengras hat nach diesen Ergebnissen ebenfalls deutlich von der Düngung profitiert, das trifft für alle Düngemittel zu. Ein eindeutiger Trend in der Rangfolge einer Wirkung kann aber auch nicht für diese Fruchtart erkannt werden (Tabelle 44). Die Düngemittelarten, ob mit hohem Anteil verfügbarer Nährstoffe wie bei Kalkamonsalpeter oder Gülle oder bei geringer Verfügbarkeit wie beim Stalldung, liegen in der mittleren Wirkung verhältnismäßig dicht nebeneinander.

Tabelle 41: GE-Ertrag [dt/ha] Klee gras aufwuchs (2. Versuchsphase) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
81,6	94,8	94,6	96,7	91,9	49,6	52,7	48,2	51,5	50,5
±4,0 a	±4,2 b	±4,5 b	±3,9 b	±4,1 A	±4,1 a	±6,7 a	±0,8 a	±8,0 a	±4,9 A
Marktfrucht									
86,4	90,8	92,1	94,2	90,9	45,2	51,5	49,9	54,0	50,2
±2,9 a	±5,2 ab	±1,6 ab	±3,8 b	±3,4 A	±1,9 a	±2,6 bc	±1,9 b	±6,3 c	±3,2 A
MW									
84,0	92,8	93,4	95,5	91,4 B	47,4	52,1	49,1	52,8	50,4 A

Tabelle 42: GE-Ertrag [dt/ha] an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
81,6	93,6	95,1	93,4	81,6	96,0	94,2	99,9	94,8
±4,0	±4,5	±2,6	±5,4	±4,0	±3,9	±6,5	±2,3	±2,8
Marktfrucht								
	SM				M			
86,4	91,9	90,9	92,4	86,4	89,6	93,4	96,0	102,7
±2,9	±5,2	±0,5	±5,3	±2,9	±5,1	±2,8	±2,4	±2,9

Tabelle 43: GE-Ertrag [dt/ha] an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
49,6	50,6	47,7	53,3	49,6	54,9	48,6	49,7	38,4
±4,1	±9,4	±0,4	±11,1	±4,1	±4,0	±1,1	±4,9	±6,3
Marktfrucht								
	M				G			
45,2	50,8	49,8	54,9	45,2	52,2	50,0	53,2	46,0
±1,9	±3,5	±1,4	±6,8	±1,9	±1,8	±2,4	±5,9	±4,8

Tabelle 44: GE-Ertrag [dt/ha] durch Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
81,6	94,0	96,7	94,8	49,6	50,5	51,1	38,4
±4,0 a	±4,2 b	±4,2 b	±2,8 b	±4,1 b	±7,0 b	±3,3 b	±6,3 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
86,4	91,7	93,0	102,7	45,2	51,8	51,8	46,0
±2,9 a	±3,7 ab	±3,4 b	±2,9 c	±1,9 a	±3,4 b	±3,4 b	±4,8 a

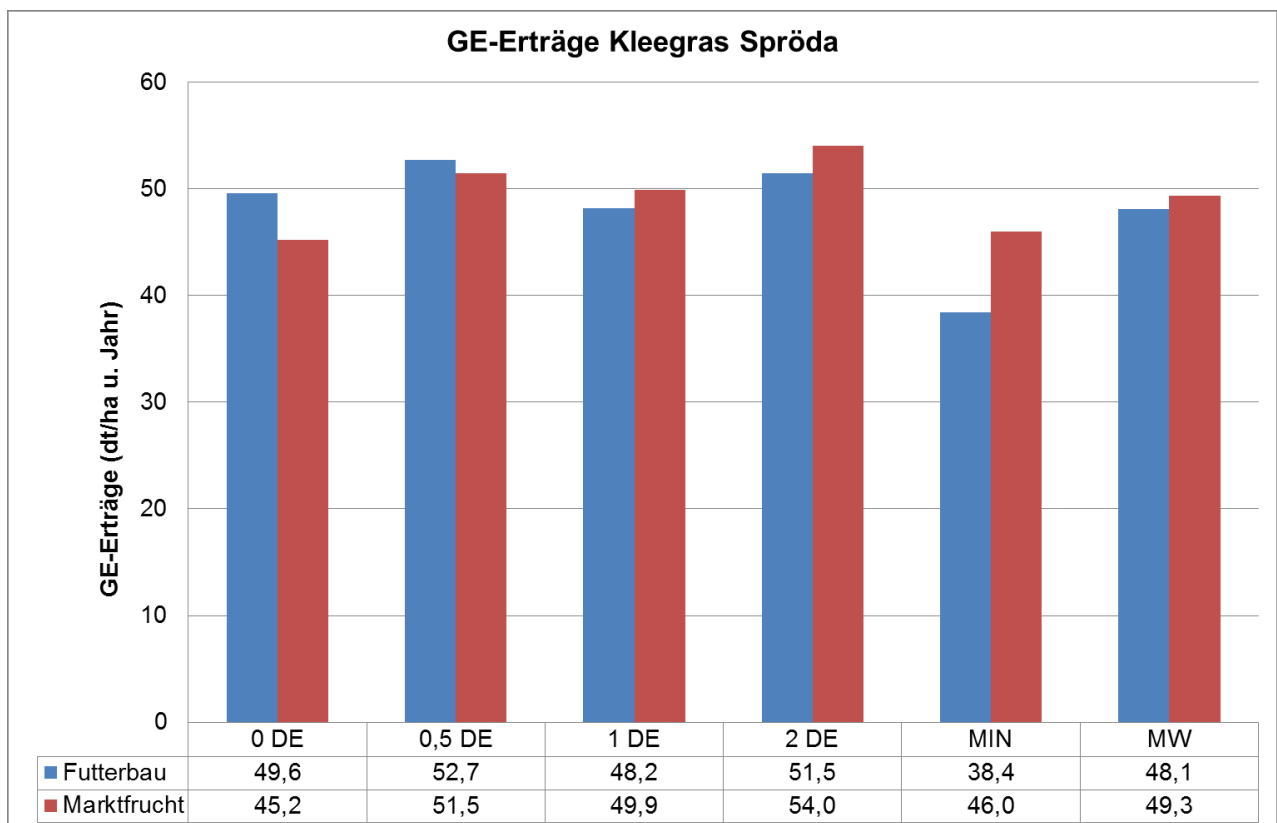
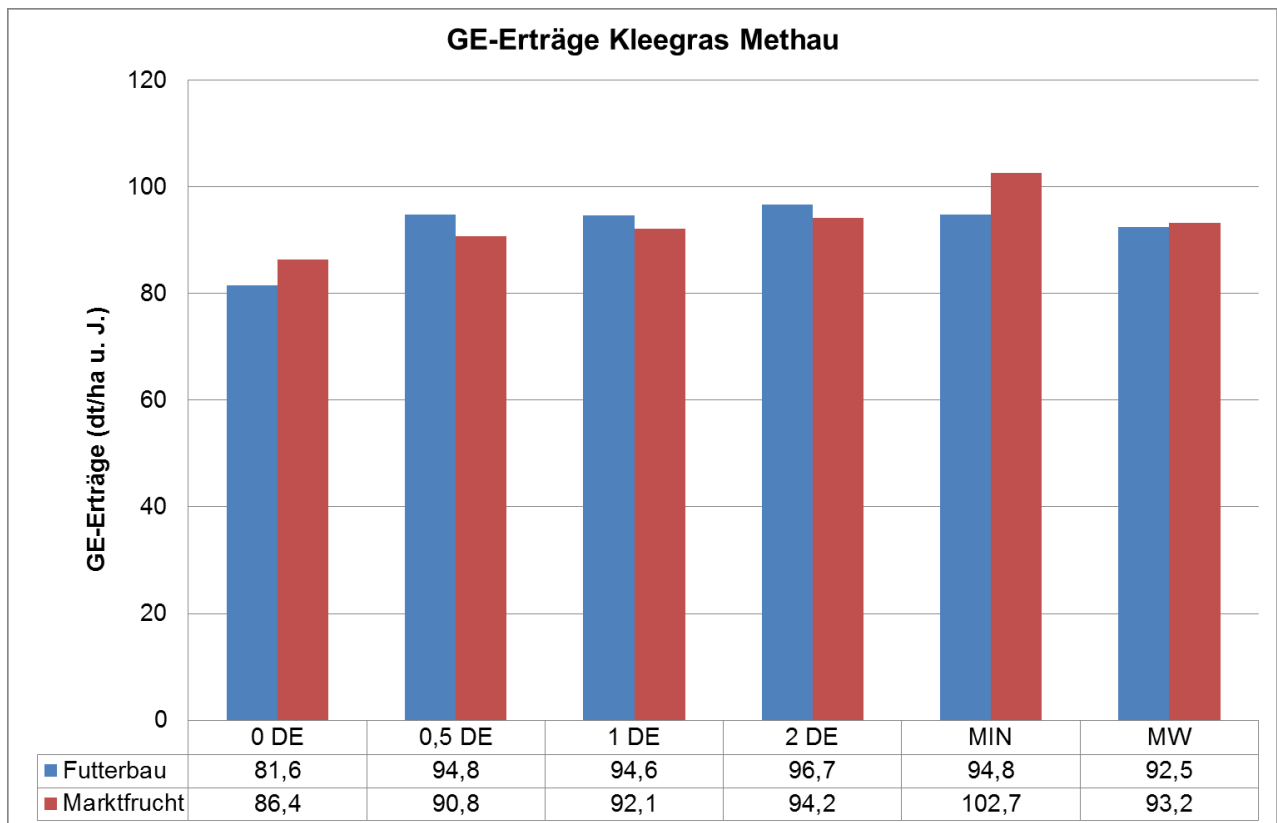


Abbildung 7: GE-Erträge an Klee gras der Standorte Methau und Spröda in Bezug auf eine steigende Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System

Der Anstieg des GE-Ertrages an Leguminosengras-Aufwüchsen war im Durchschnitt der Düngemittel an den Anbausystemen folgender Maßen ausgeprägt (ohne Düngung = 100 %):

■ Methau	- Futterbau	+15,1 dt GE/ha (119 %)
	- Marktfrucht	+7,8 dt GE/ha (109 %)
■ Spröda	- Futterbau	+1,9 dt GE/ha (104 %)
	- Marktfrucht	+8,8 dt GE/ha (120 %)

4.1.2.4 Gesamte Fruchtfolge (jeweils 33,3 % KG, Getreide, Hackfrüchte)

In dieser Auswertungsserie wurden alle Ertragsergebnisse auf Basis der berechneten Getreideeinheiten (GE) mit Schwerpunkt auf der zweiten Versuchsperiode entsprechend einer Fruchtfolge mit jeweils 33,3 % Leguminosengras, Hackfrüchten und Getreidearten zusammengefasst. Hierdurch kann das erreichbare Ertragspotenzial der Fruchtarten für die geprüften Einflussfaktoren für beide Standorte einer abschließenden Bewertung zugeführt werden.

Für diese veranschlagte Fruchtfolge liegt das Ertragspotenzial am Ort Methau um über 37 dt GE/ha über dem des Anbauortes Spröda, was einem relativen Wert von ca. 189 % entspricht (Tabelle 45, Tabelle 46 u. Tabelle 47). Trotzdem sind die absoluten GE-Werte am Standort Spröda auch in den ungedüngten Varianten mit 38 dt GE/ha im Marktfrucht-System und mit 40 dt GE/ha im Futterbau-System, ohne jegliche Düngungszufuhr und Abfuhr aller Koppelprodukte, nicht als besonders niedrig zu bezeichnen. So liegen die vergleichbaren Varianten ohne Düngung am Ort Methau im Durchschnitt auch nur 185 % höher und erreichen mit 72 – 73 dt GE/ha in beiden Systemen in etwa gleich hohe Ertragswerte. Zu diesen relativ hohen Werten der Varianten ohne Düngung trägt an beiden Orten sicherlich der verhältnismäßig hohe Anbauanteil an Leguminosengräsern bei.

Dagegen hat der Futterbau- und Marktfrucht-Anbau, obwohl große Unterschiede in der Zufuhr an Klee gras-Mulch und Koppelprodukten bestehen, langfristig zu keiner großen Unterscheidung der Erträge geführt. In Methau scheinen die höher gedüngten Varianten des Futterbau-Systems sogar einen geringen Ertragsvorteil zu bringen, im Marktfrucht-System die Varianten mit niedriger oder keiner Düngung (Abbildung 8). Entsprechend der hohen zusätzlichen Zufuhr (an Leguminosengras-Mulch) in den Marktfruchtvarianten ist über die Versuchszeit im Durchschnitt kein allgemeiner Ertragsvorteil für die angebauten Fruchtarten an beiden Versuchsorten entstanden.

Auch die Varianten mit leicht löslicher N-Düngung müssen differenziert betrachtet werden. In Methau wurde in diesem Versuchsglied ein sehr hohes Ertragsniveau ermittelt, in Spröda wies die Mineraldüngung eher einen zusätzlichen depressiven Charakter auf. Weitere Analysen, wie z.B. Nährstoffbilanzierungen, werden zeigen, wo die Nährstoffe verblieben sind und welche weiteren Ursachen für dieses unterschiedliche Verhalten aufgedeckt werden können (siehe weiter unten).

Tabelle 45: GE-Ertrag [dt/ha] der Fruchtfolge (33,3 % Klee gras, Getreide, Hackfrüchte) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
71,6	82,4	83,6	85,8	80,9	40,0	43,6	41,9	43,9	42,4
±3,4a	±4,9 b	±4,2 b	±4,8 b	±4,3 A	±0,8 a	±2,3 b	±1,0 ab	±3,1 b	±1,8 A
Marktfrucht									
72,7	78,1	80,2	82,4	78,4	38,0	42,9	43,0	44,8	42,2
±4,9 a	±5,8 ab	±4,1 b	±3,6 b	±4,6 A	±1,8 a	±1,8 b	±1,5 b	±2,6 b	±1,9 A
MW									
72,2	80,3	81,9	84,1	79,7 B	39,0	43,3	42,5	44,4	42,3 A

Tabelle 46: GE-Ertrag [dt/ha] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
71,6	82,1	84,6	86,6	71,6	82,7	82,5	85,1	84,0
±3,4	±4,6	±3,6	±5,2	±3,4	±5,2	±4,8	±4,4	±5,2
Marktfrucht								
	SM				M			
72,7	76,3	78,7	82,0	72,7	80,0	81,6	82,8	87,7
±4,9	±6,6	±3,6	±4,2	±4,9	±5,0	±4,5	±3,0	±4,8

Tabelle 47: GE-Ertrag [dt/ha] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
40,0	43,3	42,7	45,0	40,0	44,0	41,2	42,8	36,4
±0,8	±3,3	±0,9	±3,7	±0,8	±1,4	±1,0	±2,5	±1,7
Marktfrucht								
	M				G			
38,0	41,4	41,7	43,3	38,0	44,3	44,4	46,2	37,2
±1,8	±2,3	±1,5	±2,5	±1,8	±1,3	±1,6	±2,8	±2,5

Insbesondere auf Grund der zusammengefassten Werte in Tabelle 48 ist keine genaue Rangfolge der Düngemittelarten zu erkennen, da die mittleren Ertragswerte in der Höhe sehr nahe beieinander liegen. Auf lange Sicht ist hiernach unter ökologischen Anbaubedingungen auch kein Vorteil durch die Anwendung leicht löslicher Nährstoffe (KAS, Gülle) zu erkennen, da für deren Wirkungen andere Begrenzungen zu Tage treten (Nährstoffverluste, geringere Pflanzenvitalität, siehe Ergebnisse weiter unten). Bei stetig wiederholter Zufuhr erfolgen bestimmte Bodenveränderungen (siehe weiter unten), die dazu führen, dass Düngemittelarten mit langsamerer Nährstoffwirkung (Stalldung, Grüngut, Mulch) den anderen Düngemitteln auf Dauer im Ertragspotenzial weitgehend gleichwertig sind.

Tabelle 48: GE-Ertrag [dt/ha] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
71,6	84,4	83,4	84,0	40,0	43,7	42,7	36,4
±3,4 a	±4,5 b	±4,8 b	±5,2 b	±0,8 b	±2,6 c	±1,6 bc	±1,7 a
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
72,7	79,0	81,5	87,7	38,0	42,1	45,0	37,2
±4,9 a	±4,8 ab	±4,2 b	±4,8 c	±1,8 a	±2,1 bc	±1,9 c	±2,5 ab

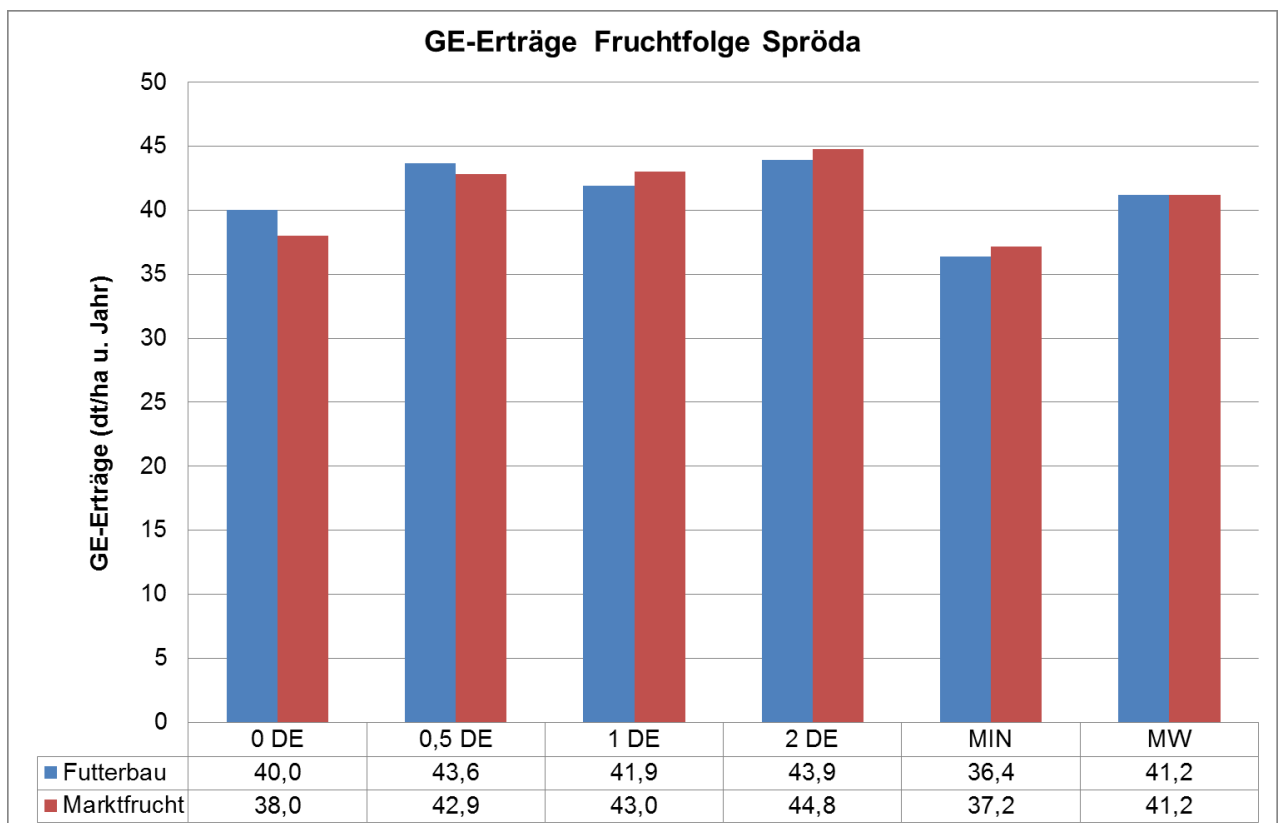
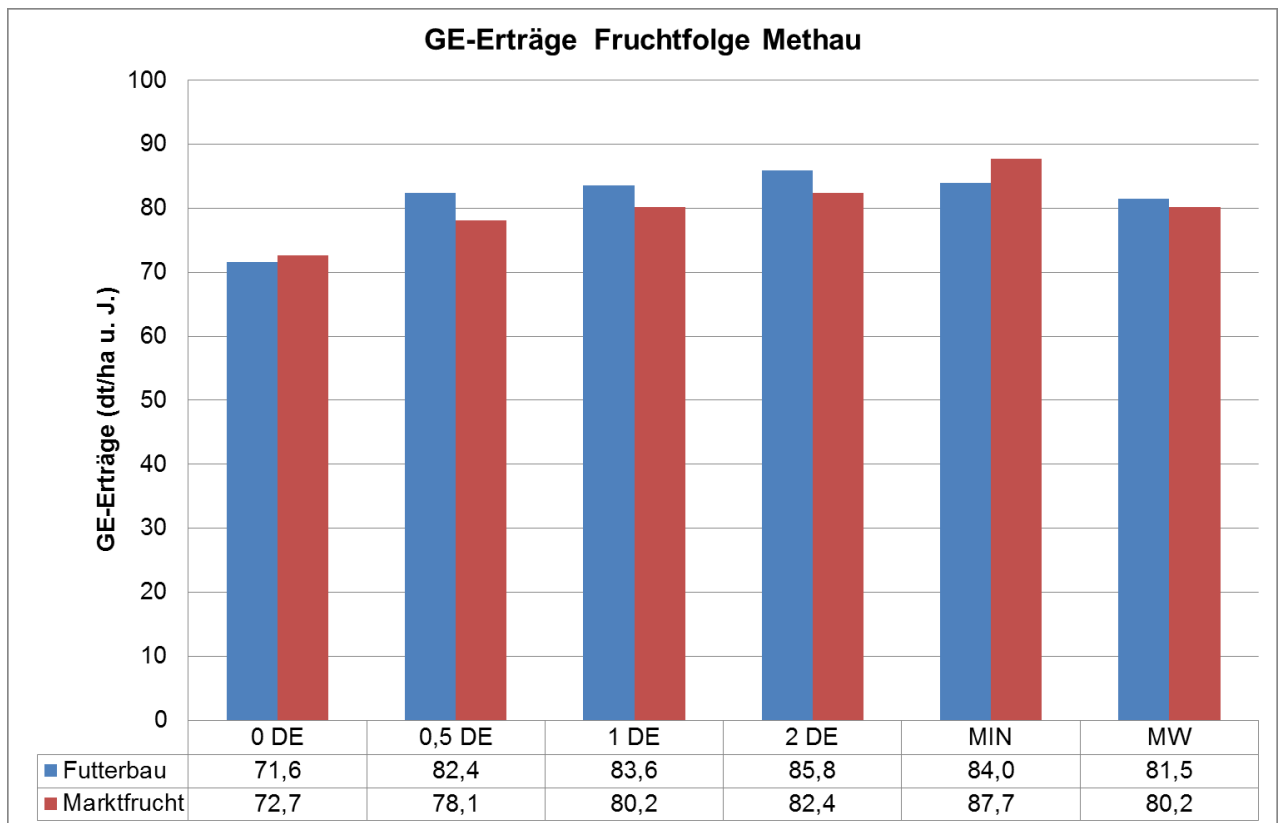


Abbildung 8: GE-Erträge der gesamten Fruchtfolge der Standorte Methau (oben) und Spröda (unten) nach steigender Düngung (DE/ha) im Futterbau- und Marktfrucht-System

An beiden Versuchsorten erfolgt der größte Ertragsanstieg mit genau 111 % jeweils zwischen 0 DE und 0,5 DE/ha organischer Düngung. Eine weitere Verdopplung auf ca. 1 DE, sowie eine nochmalige Verdopplung auf 2 DE/ha, haben nach diesen Ergebnissen deutlich geringere Ertragszunahmen zur Folge. Daher ist auch im Durchschnitt der gesamten Fruchtfolge der abnehmende Ertragsanstieg deutlich zu erkennen. Mit einer Zufuhr von 2 DE/ha wird an beiden Orten in etwa das Ertragsmaximum erreicht. Zusammenfassend betragen die Ertragszuwächse durch die organische Düngung folgende Werte (ohne Düngung = 100 %):

■ Methau	- Futterbau	+14,2 dt GE/ha (120 %)
	- Marktfrucht	+9,7 dt GE/ha (117 %)
■ Spröda	- Futterbau	+3,9 dt GE/ha (110 %)
	- Marktfrucht	+6,8 dt GE/ha (114 %)

Der Ertragszuwachs durch Düngung hat hiernach am Ort Methau ca. 11,9 dt GE/ha und am Ort Spröda 5,4 dt GE/ha betragen. Diese Unterschiede sind im Verhältnis zu den zugeführten Düngermengen nicht besonders groß. Es ist darüber hinaus nicht damit zu rechnen, dass eine weitere Anhebung der Erträge gelingen kann, auch nicht durch eine Zufuhr spezieller (leicht löslicher) Düngemittel, wie die Ergebnisse der Düngemittelartenprüfung ergeben haben (Tabelle 46, Tabelle 47 u. Tabelle 48).

4.1.2.5 Entwicklung des Ertragsniveaus sowie Ertragsstabilität der Fruchtarten

Zeitliche Entwicklung des Ertragsniveaus

Da die untersuchten Einflussfaktoren von Anbausystem und Düngung über eine verschiedene zeitliche Entwicklung von Komponenten der Bodenfruchtbarkeit die Erträge der Fruchtarten beeinflusst haben können, wurden an beiden Anbauorten die GE-Gesamterträge (HP + NP) auch in ihrer chronologischen Entwicklung von Versuchsanfang bis -ende mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse ermittelt. Es erfolgte keine Umrechnung in Relativwerte, so dass auch der absolute Trend der Erträge beurteilt werden kann, weil an beiden Orten eine genügend hohe Anzahl an Versuchsjahren vorliegt.

Trotz der Wiedergabe in GE-Form ist eine erhebliche Streuung der Erträge zwischen den einzelnen Fruchtarten im Versuchsablauf zu erkennen (Abbildung 9). Dennoch ist eine deutliche Unterscheidung in den mittleren Ertragswirkungen zwischen den Versuchsorten und den Anbausystemen (jeweils Mittelwerte über alle Varianten) zu sehen. Während die Erträge der angebauten Fruchtarten in Methau auf beiden Anbausystemen im Verlauf der Versuche ansteigen, ist das am Ort Spröda, bei relativ intensiver konventioneller Vorbewirtschaftung, nur für das Marktfruchtssystem eingetreten. Insgesamt liegen die Erträge auf dem fruchtbaren Boden in Methau auf einem deutlich höheren Niveau und der Ertragsanstieg im Verlauf der Versuche ist zudem an diesem Ort deutlicher ausgeprägt.

Nach diesen Ergebnissen erfolgte an beiden Orten in den Marktfruchtssystemen, bei denen alle Koppelprodukte sowie die Kleegrasaufwüchse auf den Flächen verblieben sind, im Vergleich zu den Futterbausystemen ein höherer mittlerer Ertragsanstieg im zeitlichen Verlauf der Versuche. An beiden Versuchsorten sind jedoch die Marktfruchtvarianten am Versuchsbeginn zunächst deutlich im Ertragsniveau unterlegen: Methau -5,5 dt GE/ha, Spröda -9,2 dt GE/ha. Da der Ertragsanstieg im System Marktfrucht mit +15,7 dt GE/ha in Methau und mit +5,8 dt GE/ha in Spröda, jeweils berechnet für das Jahr 1993 und 10 Jahre später 2003, erheblich über dem Niveau der Futterbau-Varianten lag, wurde zunächst zwischen den Jahren 2001 – 2003 ein Gleichstand im Ertragsniveau erreicht. Am Versuchsende lagen dann die durchschnittlichen GE-Erträge relativ unabhängig von den angebauten Fruchtarten an beiden Orten im MF-System über dem des FB-Systems (Abbildung 9).

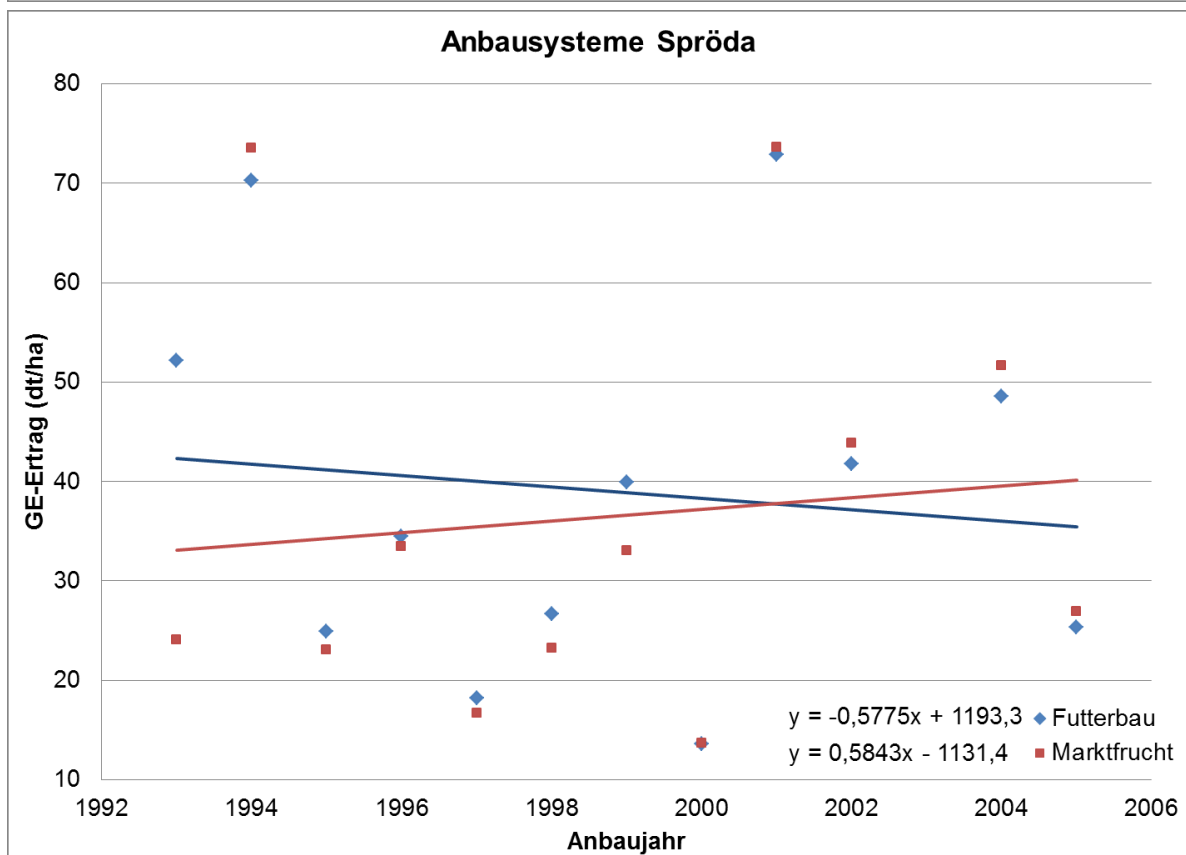
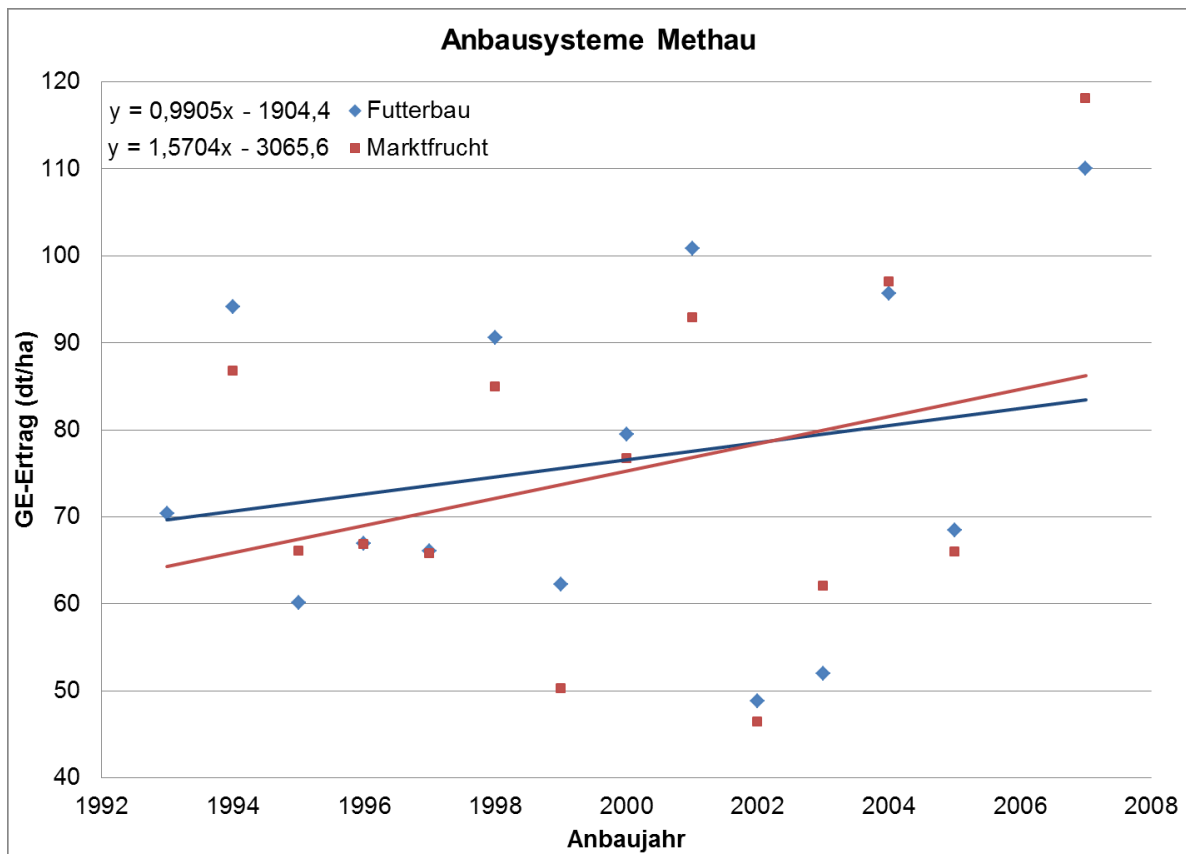


Abbildung 9: Mittlere zeitliche Entwicklung der Fruchtarten-Gesamterträge im Anbausystem Marktfrucht und Futterbau der Anbauorte Methau (oben) und Spröda (unten)

Da es große Unterschiede zwischen den Anbausystemen in der Ertragsentwicklung gegeben hat, werden auch die Einzelergebnisse über den Einfluss eines steigenden Düngungslevels dargestellt. In den FB-Systemen, bei denen alle Koppelprodukte und die Klee gras-Aufwüchse abgefahren wurden, kann für den Lehmboden des Anbauortes Methau vermerkt werden, dass sogar in Varianten ohne jegliche organische Düngung das durchschnittliche Ertragsniveau der Fruchtarten sich über die Versuchszeit quasi nicht verändert hat, während auf dem Sandboden in Spröda ein z.T. deutlicher Abfall des Ertragsniveaus von -7,4 dt GE/ha (je 10 Jahre) zu verzeichnen war (Abbildung 10).

Durch Zufuhr einer verhältnismäßig geringen organischen Düngung von 0,5 DE/ha und Jahr kommt es im Versuchsverlauf an beiden Versuchsorten zu einer deutlichen Verbesserung des Ertragsniveaus. In Methau wird eine durchschnittliche Anhebung der GE-Erträge um 10,5 dt GE/ha erreicht, am Ort Spröda verringert sich der Ertragsabfall um immerhin 2,5 dt GE/ha. Mit dem gleichen Düngungslevel und auch mit höheren Gaben waren jedoch am Versuchsanfang nur z.T. sehr geringe Ertragseffekte durch die organische Düngung eingetreten. Mit der Zeit sind durch die wiederholten Düngungsmaßnahmen die erzielten Ertragseffekte an beiden Orten immer größer geworden. Im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung hat hierbei eine verhältnismäßig niedrige Zufuhr von organischen Düngemitteln bereits zu einem deutlichen Ertragsunterschied geführt.

Weitere Verdopplungen des Düngungslevels über 1,0 – 2,0 DE/ha und Jahr haben dagegen an beiden Orten im Verlauf des Versuches nur noch zu verhältnismäßig geringen Ertragssteigerungen bei den angebauten Fruchtarten geführt, worin der abnehmende Ertragsanstieg wiederum gut erkannt werden kann. Mit einer Zufuhr von 2,0 DE/ha konnte so das Ertragsniveau in Methau in den FB-Varianten um 12,1 dt GE/ha bis zum Versuchsende angehoben werden, während in Spröda der Abfall nur um 4,5 dt GE/ha verringert wurde. Selbst mit einer sehr hohen organischen Düngung war es an diesem Ort bis zum Versuchsende nicht möglich diese negative Ertragsentwicklung in einen positiven Trend umzuwandeln (Abbildung 10).

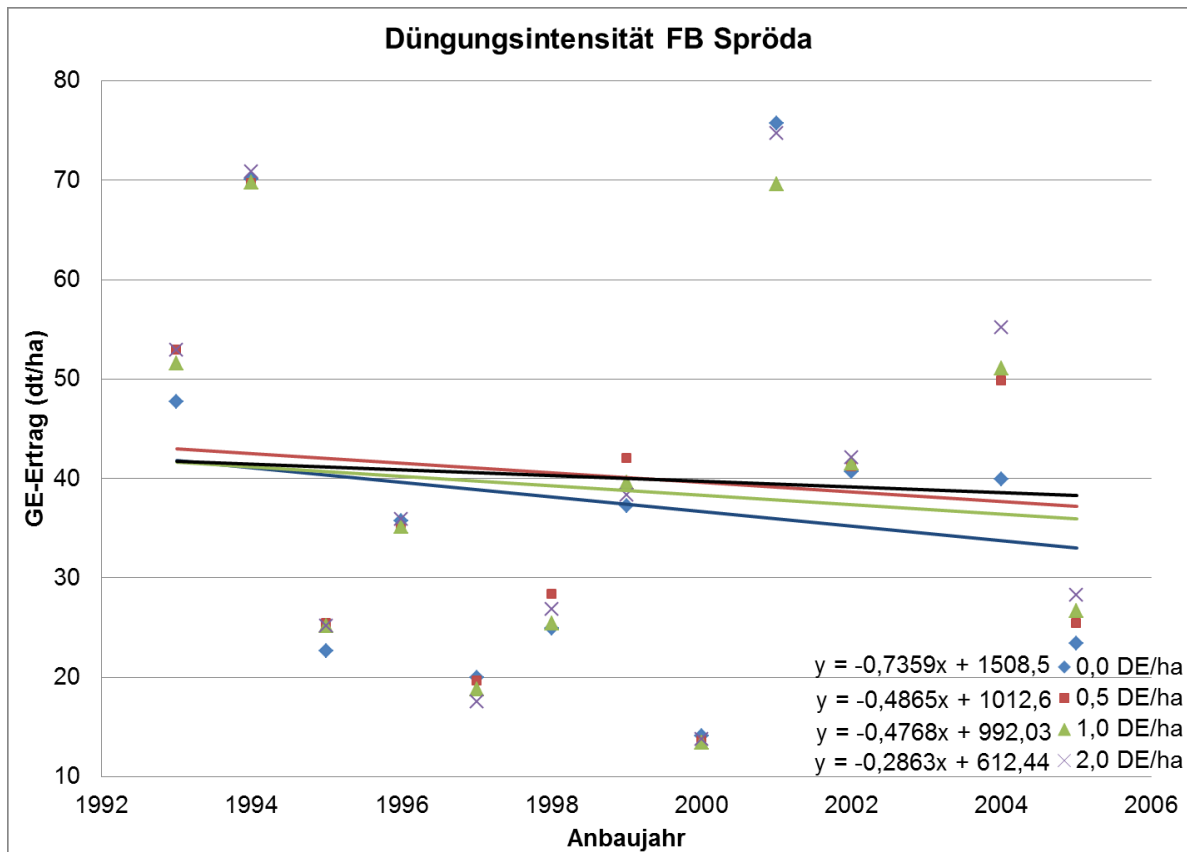
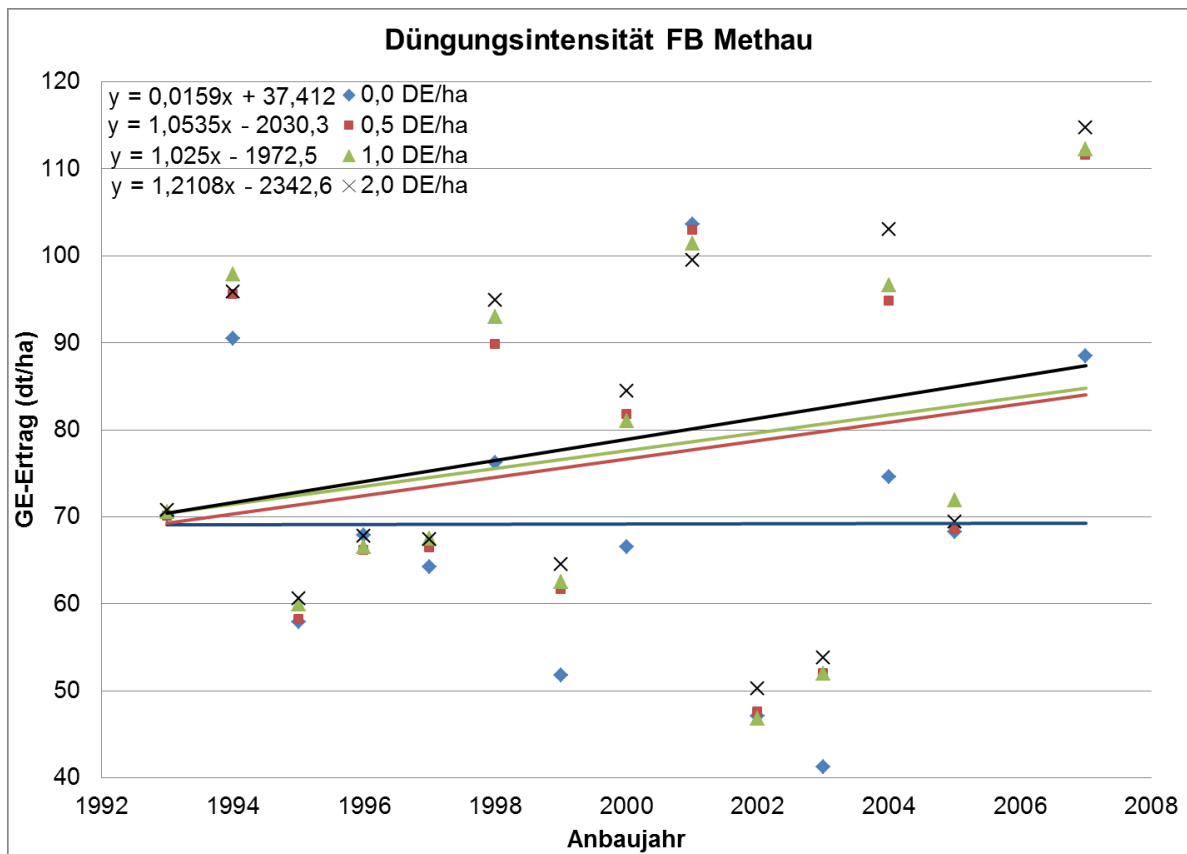


Abbildung 10: Mittlere zeitliche Entwicklung der Fruchtarten-Gesamterträge in Folge steigender Düngungsintensität im Futterbausystem der Anbauorte Methau (oben) und Spröda (unten)

Der ständige Verbleib der Koppelprodukte der Fruchtarten und des Kleegrases auf den MF-Flächen hat demgegenüber einen deutlichen Einfluss auf die Ertragsentwicklung auch in den Varianten, in denen keine weitere Düngung erfolgt ist (Abbildung 11). Auf den Sprödaer Versuchsflächen war dieser kummulierte Effekt sogar größer als der, der durch hohe Düngung im Futterbau zu erreichen war. Diese absolut viehlose Wirtschaftsweise in diesen MF-Varianten hat nicht nur ein zwar vergleichbar niedriges Ertragsniveau stabilisiert sondern führte sogar im Trend zu einem leichten Ertragsanstieg von ungefähr 0,2 dt GE/ha im Zeitverlauf von 10 Jahren. Während am Ort Methau bereits eine Sicherung des Ertragsniveaus auf den stetig ungedüngten FB-Flächen gelungen ist, müssen am Anbauort Spröda alle Koppelprodukte auf den Flächen verbleiben, um den gleichen stabilisierenden Ertragseffekt zu erzielen (vgl. Abbildung 10 u. Abbildung 11).

Auf dem leichten Boden in Spröda ist es zudem möglich, durch eine niedrige stetige Düngung mit 0,5 DE/ha einen verhältnismäßig hohen Ertragsanstieg im Laufe der Versuchszeit von 7,3 dt GE/ha in 10 Jahren zu erreichen. Durch weitere Erhöhung des Düngungsniveaus sind dann die Erträge nur noch geringfügig um 0,8 dt GE/ha mit der Zeit angehoben worden. Eine sehr hohe organische Düngung hat an diesem Ort, auch über die kumulative Wirkung der verbesserten Bodenfruchtbarkeit (z. B. im Humusgehalt), nur zu geringen Ertragseffekten geführt.

Am Standort Methau hat demgegenüber bereits die Belassung der Koppelprodukte auf den Flächen im MF-System mit der Zeit zu einem Ertragsanstieg von 11,7 dt GE/ha in 10 Jahren geführt, wie es auf den FB-Flächen, auf insgesamt etwas höherem Ausgangsniveau, nur durch die Zufuhr von 1,0 – 2,0 DE/ha an organischen Düngern ermöglicht worden ist (vgl. Abbildung 10 u. Abbildung 11). In den ersten Jahren nach Versuchsbeginn wurden ebenfalls nur geringe zusätzliche Ertragseffekte durch Düngungsmaßnahmen erzielt.

Durch Anhebung des Düngungsniveaus auf 0,5 – 1,0 DE/ha konnte jedoch mit der Zeit das durchschnittliche Ertragsniveau der angebauten Fruchtarten um weitere 3,1 dt GE/ha in 10 Versuchsjahren angehoben werden. Eine nochmalige Ertragsanhebung von 4,0 dt GE/ha kann an diesem Standort erreicht werden, wenn das Düngungsniveau bis auf 2,0 DE/ha angehoben wird. Insgesamt ist am Ort Methau durch die kumulative Wirkung einer hohen organischen Düngung von 2 DE/ha und Jahr mit bis zu 18,8 dt GE/ha eine deutlich höhere Ertragssteigerung erreicht worden als am Ort Spröda mit lediglich 8,2 dt GE/ha in 10 Jahren.

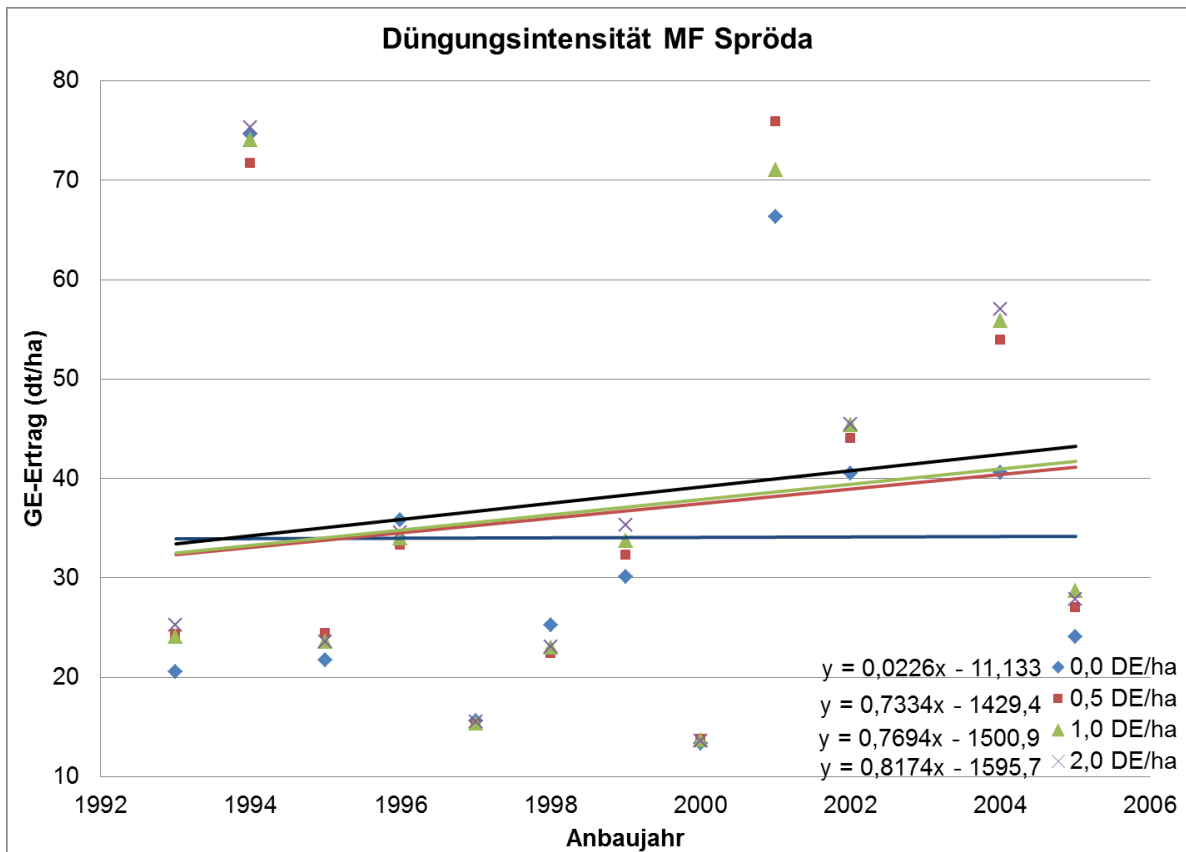
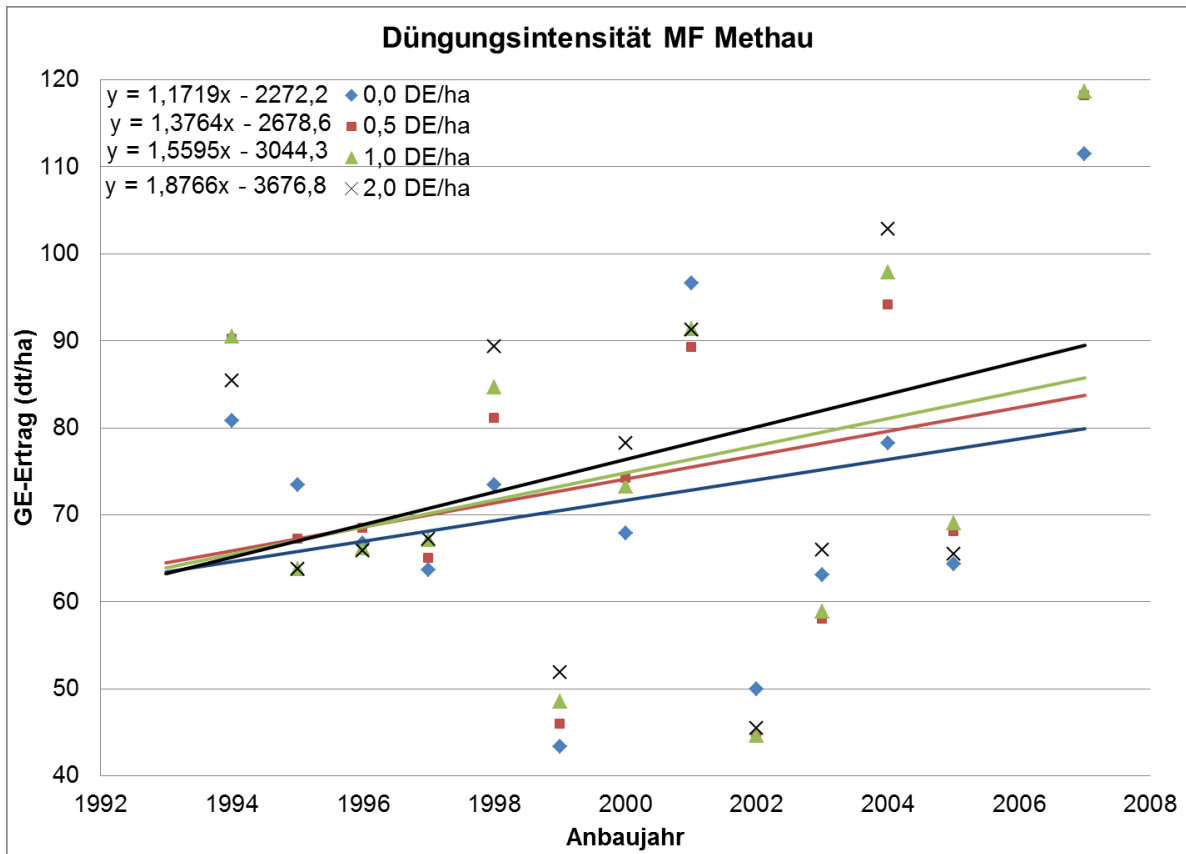


Abbildung 11: Mittlere zeitliche Entwicklung der Gesamterträge der Fruchtarten in Folge steigender Düngungsintensität im System Marktfrucht der Versuchsorte Methau (oben) und Spröda (unten)

Zur Untersuchung der geprüften Düngemittelarten wurden jeweils die Varianten mit hoher organischer Düngung (2,0 DE/ha u. Jahr) mit denen der Varianten mit N-Mineraldüngung miteinander verglichen. Im FB-System führten auf dem fruchtbaren Boden in Methau alle Düngemittel mit fortschreitender Versuchsdauer zu einem Anstieg der mittleren GE-Erträge der angebauten Fruchtarten (Abbildung 12). Der Ertragsanstieg lag zwischen 11,5 dt GE/ha nach Gülle und 13,3 dt GE/ha nach 10 Jahren N-Mineraldüngung. Die Ertragsabstände zwischen den Düngemitteln nahmen mit der Zeit in der Tendenz etwas ab, was besonders zwischen fortschreitender Gülle- und Stalldüngungen zutraf. Obwohl alle untersuchten Düngervarianten im FB-System des Ortes Spröda in ihrer Ertragsleistung abgenommen haben, war doch die Nachwirkung stetiger Stalldüngungen deutlicher ausgeprägt als die nach Gülleanwendung. Der Ertragsrückgang war mit 1,3 dt GE/ha nach Stalldung am geringsten ausgefallen, während nach einseitig verabreichter N-Mineraldüngung auf diesem leichten Boden eine Abnahme der Erträge von sogar 13,9 dt GE/ha in einer Periode von 10 Jahren zu verzeichnen war.

Auf den Marktfruchtflächen war teilweise eine andere Wirkung der Düngemittel eingetreten (Abbildung 13). Während durch die N-Mineraldüngung auf den Parzellen des Ortes Spröda nur eine Stabilisierung des Ertragsniveaus auf dem Niveau des Versuchsbeginns erreicht wurde, konnten die GE-Erträge der Fruchtarten durch stetige Grüngutzufuhr um 4,6 dt GE/ha und nach Rindergülle sogar um 11,7 dt GE/ha in 10 Jahren erhöht werden.

Am Versuchsort Methau haben alle angewendeten Düngemittel im Verlaufe des Versuches mit einem deutlichen Ertragsanstieg zwischen 17,7 dt GE/ha bei N-Mineraldüngung und von 19,3 dt GE/ha in 10 Jahren bei fortgesetzter hoher Grüngutzufuhr reagiert. Die Ertragsleistung über die direkt in den angewendeten Düngemitteln zur Verfügung stehenden Stickstoffmengen kommen nach diesen Ergebnissen in der Tendenz offenbar auf dem Lehmboden in Methau im Durchschnitt besser zur Wirkung als die indirekte Ertragswirkung des Stallungs über die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

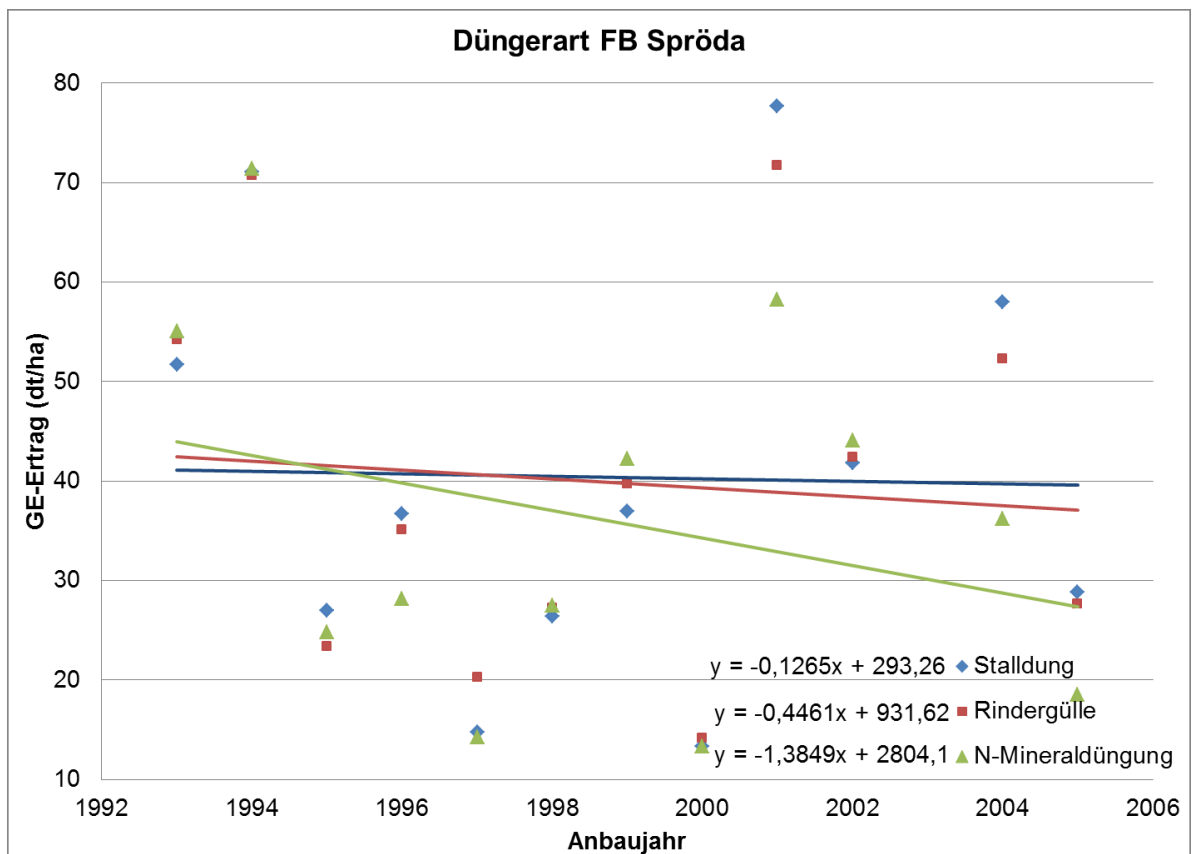
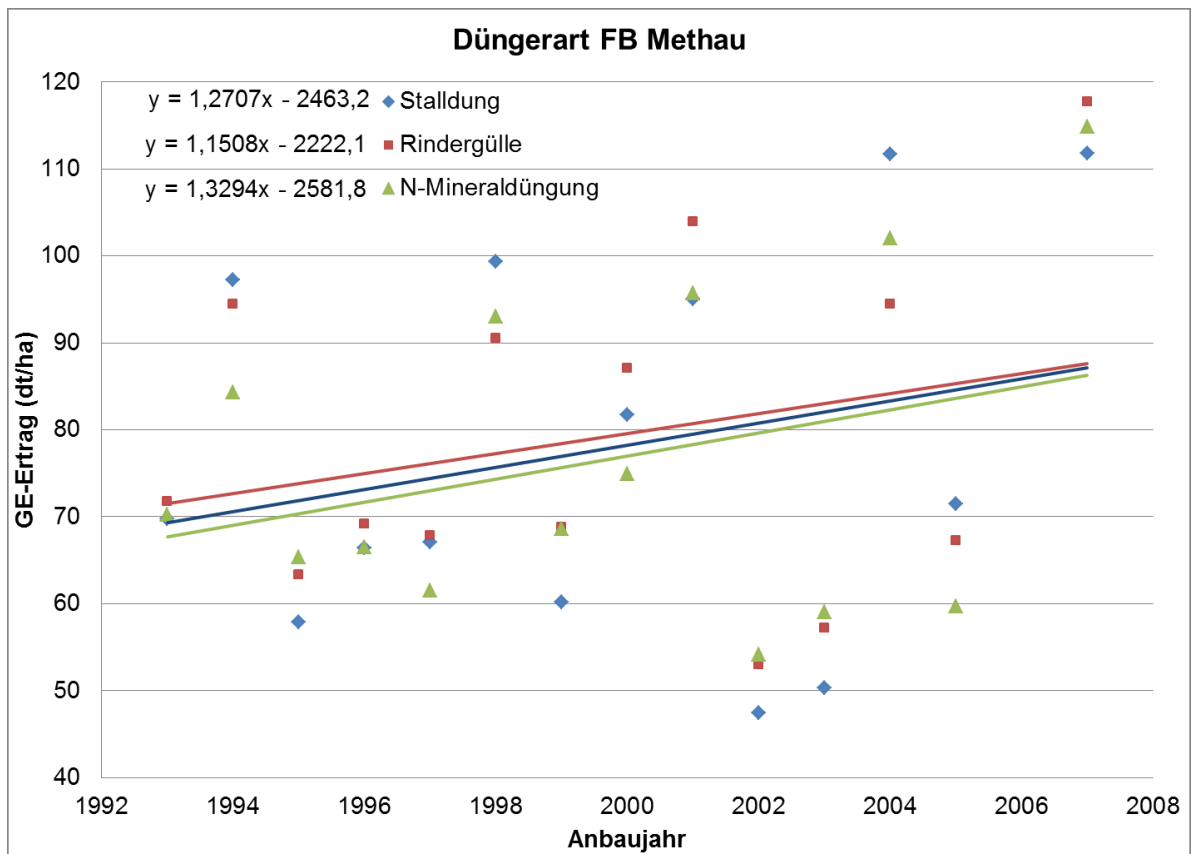


Abbildung 12: Mittlere zeitliche Entwicklung der Gesamterträge der Fruchtarten in Folge hoher Düngung mit organischen Düngemitteln und N-Mineraldüngung im System Futterbau der Versuchsorte Methau (oben) und Spröda (unten)

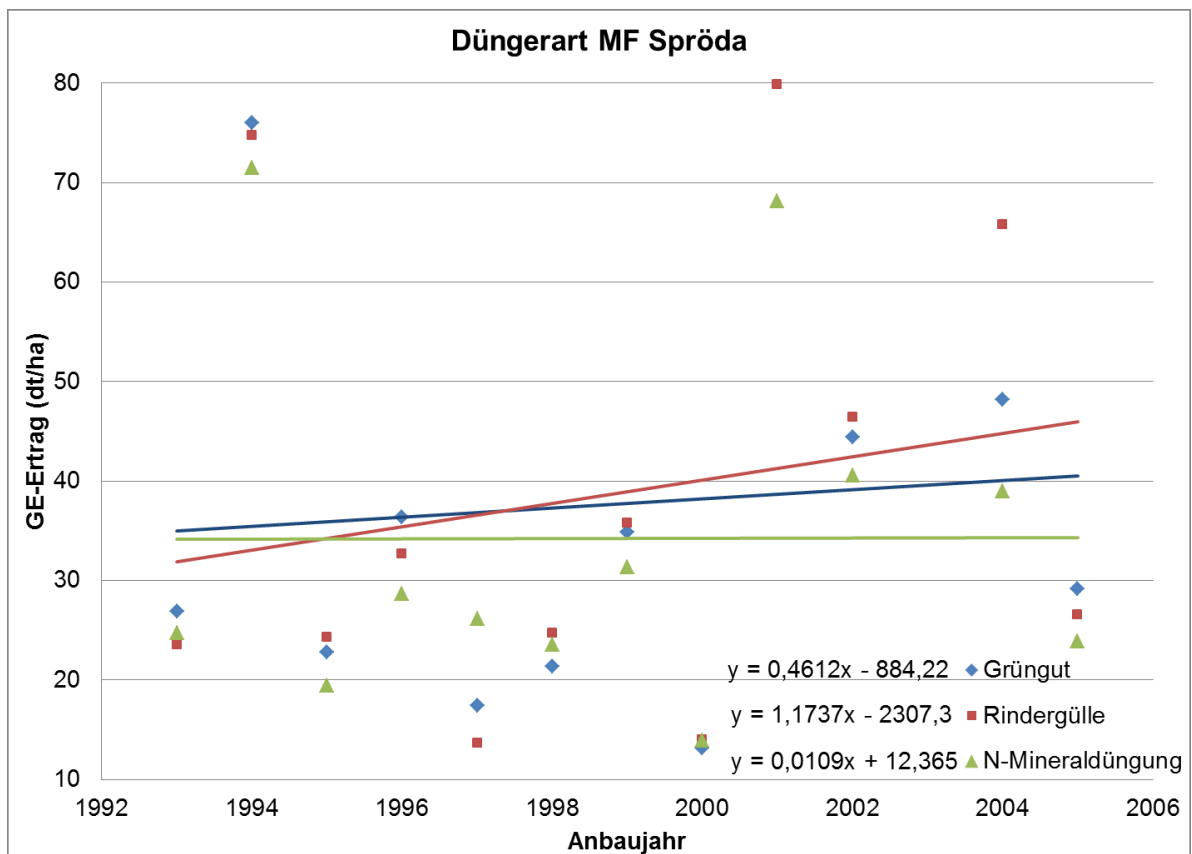
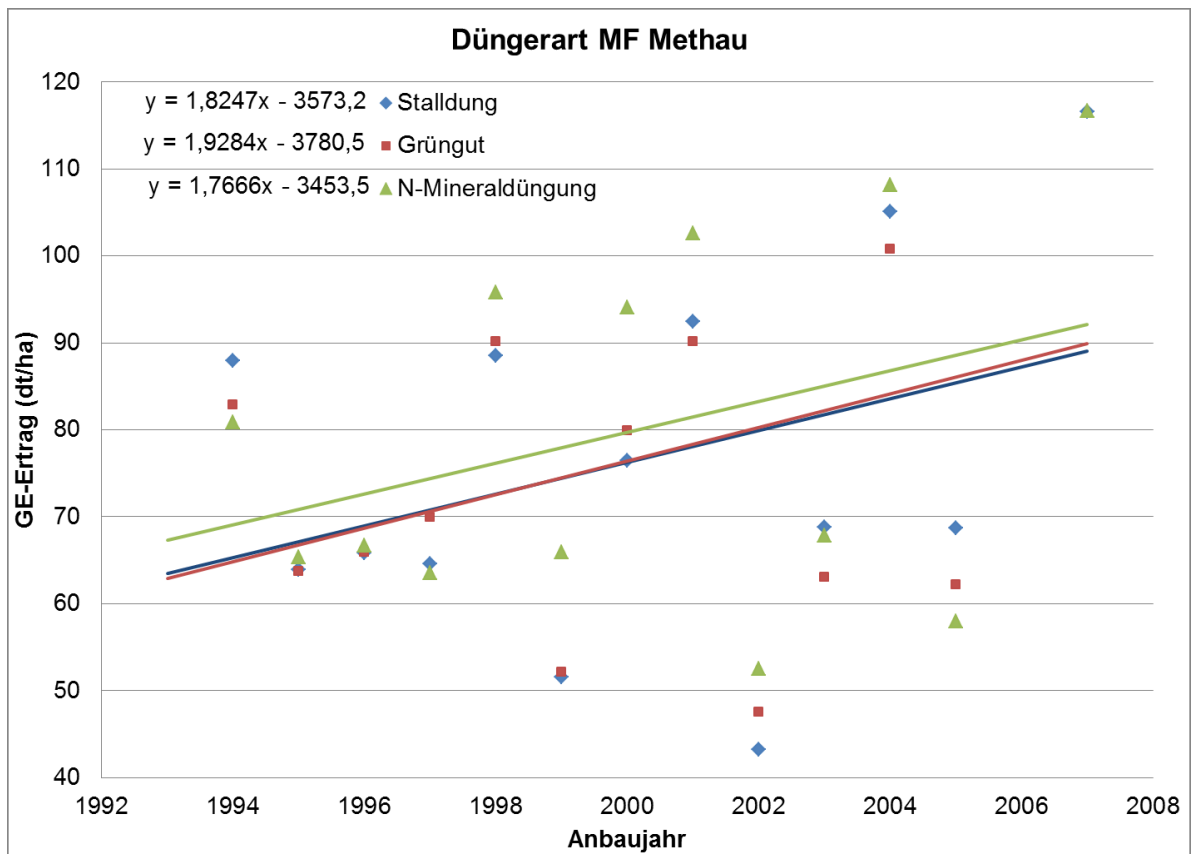


Abbildung 13: Mittlere zeitliche Entwicklung der Gesamterträge der Fruchtarten in Folge hoher Düngung mit organischen Düngemitteln und N-Mineraldüngung im Marktfrucht-System der Versuchs-orte Methau (oben) und Spröda (unten)

Die Ergebnisse über die Wirkung der untersuchten Einflussfaktoren auf die zeitliche Entwicklung des Ertragsniveaus der Fruchtarten auf Basis der Getreideeinheiten können zusammenfassend folgendermaßen charakterisiert werden:

- Mit zunehmender Dauer der Versuche nahmen die Ertragsdifferenzen zwischen den Einflussfaktoren in der Regel zu.
- Auf dem Lößlehm Boden in Methau wurden allgemein deutlich höhere Erträge erzielt, außerdem waren die Ertragssteigerungen im zeitlichen Verlauf deutlicher ausgeprägt als auf dem Sandboden in Spröda.
- Am Beginn der Versuche war auf den FB-Systemen bei Abfuhr aller Koppelprodukte der Fruchtarten das Ertragsniveau auf beiden Versuchsorten höher, am Ende lagen dagegen die Erträge der MF-Systeme (Koppelprodukte und Kleeerasaufwüchse verblieben auf den Parzellen) höher, da der Ertragsanstieg je Zeiteinheit in diesem System deutlich stärker ausgeprägt war.
- Mit steigender organischer Düngungsintensität von 0,0 – 2,0 DE/ha und Jahr waren am Versuchsbeginn nur verhältnismäßig geringe Unterschiede zwischen den Varianten eingetreten, bei langer zeitlicher Andauer der Düngungsregime wurden die Variantenunterschiede im Ertragsniveau an beiden Versuchsorten immer größer.
- Zwischen den untersuchten organischen Düngemittelarten und der N-Mineraldüngung traten diese unterschiedlichen Wirkungen bei separater Auswertung der Ergebnisse zwischen den Anbauorten nicht so eindeutig hervor. Bei gemeinsamer Auswertung wurden jedoch die gleichen Unterschiede zwischen den Varianten ermittelt (dt GE/ha):

Futterbau:	1993	2003	Differenz
- SM	56,0	60,7	+4,7
- G	57,9	60,0	+2,1
- MIN	56,7	55,8	-0,9
Marktfrucht:	1993	2003	Differenz
- M	50,5	60,4	+9,8
- MIN	51,0	60,0	+9,1

Ertragsstabilität der Fruchtarten

In Folge steigender Intensivierung kann die Rangfolge und Stabilität der Erträge der Fruchtarten ebenfalls mit Hilfe der Regressionsanalyse untersucht werden (siehe Kap. 3.11). Als Vergleichsmaßstab wurden die GE-Erträge der definierten Fruchtfolgen gewählt (siehe vorherige Kap.) und als 1:1-Achsen in graphischen Darstellungen abgebildet. In Abbildung 14 sind die Ergebnisse vom Standort Methau zusammengefasst worden. Im Vergleich zum Fruchtfolgedurchschnitt ($y = x$) ist eine deutlich unterschiedliche Reaktion der einzelnen angebauten Fruchtarten zu erkennen. Dagegen bestehen nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Anbausystemen.

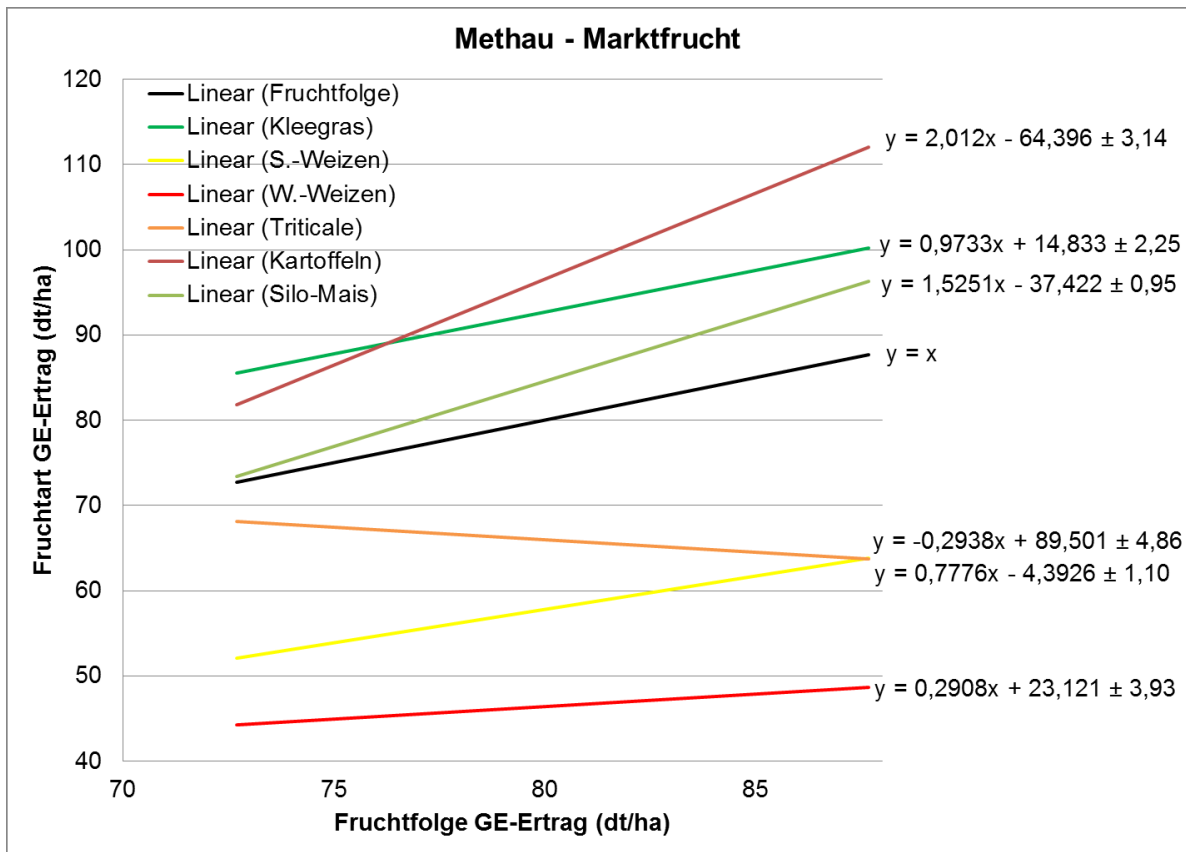
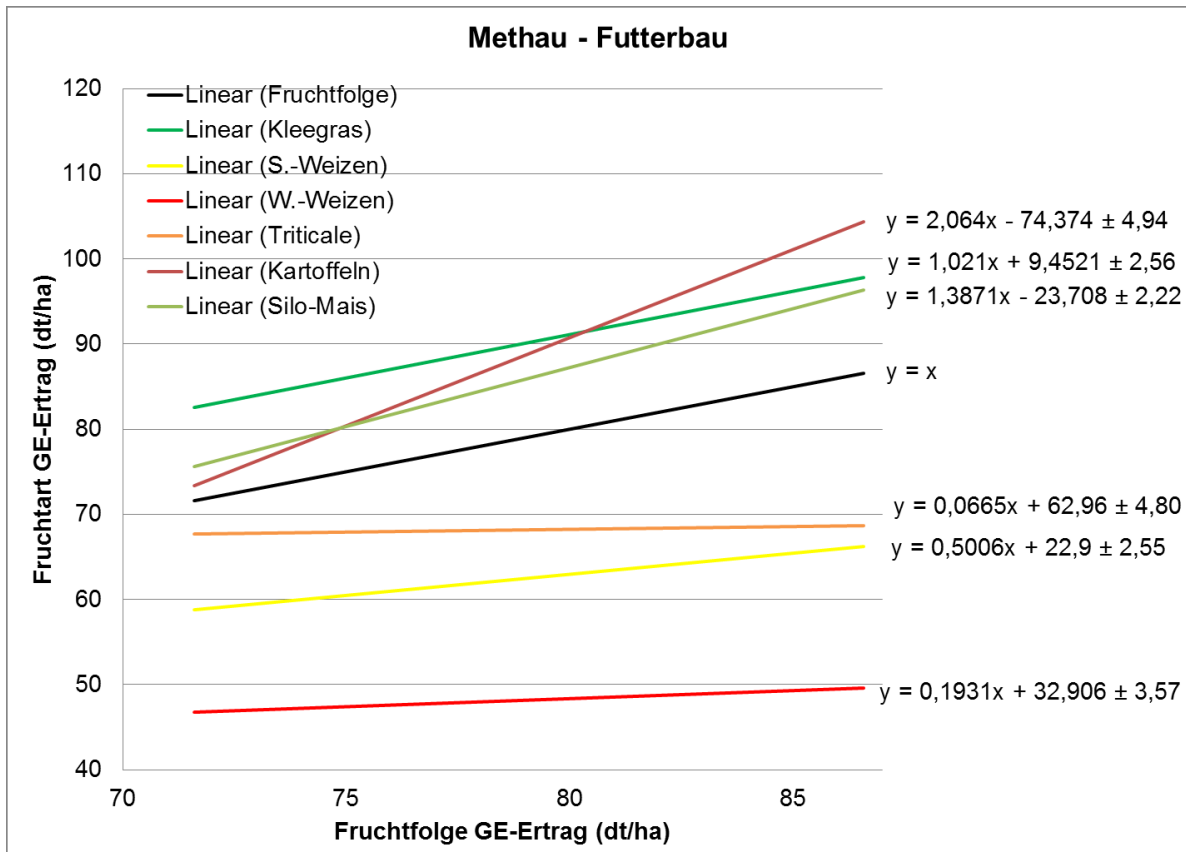


Abbildung 14: Ertragsreaktion der Fruchtarten im Vergleich zum Fruchtfolgedurchschnitt ($y = x$) in Folge steigender Düngintensität im System Futterbau und Marktfrucht am Standort Methau

Im Durchschnitt der Anbausysteme ist aus Abbildung 14 zu entnehmen, dass im Vergleich zur Fruchtfolge insbesondere die Kartoffel auf eine Intensivierung der Anbauverhältnisse durch eine überproportionale Erhöhung der Knollenerträge reagiert. Eine steigende Düngung hat zur Folge, dass die GE-Erträge in beiden Systemen deutlich stärker angestiegen sind als in der veranschlagten Fruchtfolge oder im Vergleich zu allen anderen geprüften einzelnen Fruchtarten.

Quantitativ wird diese vorzügliche Reaktion der Kartoffel auf Intensivierungsmaßnahmen durch die in den abgebildeten mathematischen Gleichungen ausgewiesenen Regressionskoeffizienten b , die in beiden Systemen mit Werten von knapp über 2 dt/ha berechnet worden sind (Abbildung 14). Ebenfalls überdurchschnittliche Ertragsreaktionen können mit b -Werten zwischen 1,4 – 1,5 dt/ha dem Anbau von Silomais am Versuchsort Methau zugeschrieben werden, während die Futterbaubestände an Klee gras nur noch durch durchschnittliche Ertragszuwächse ($b = 1$) in Folge einer steigenden Intensivierung gekennzeichnet sind. Lediglich das Ertragsniveau, ausgedrückt in GE-Einheiten, liegt in beiden Anbausystemen über dem der Fruchtfolge.

Dagegen sind die angebauten Getreidearten sowohl durch geringere GE-Erträge als auch durch einen geringeren Anstieg der Erträge in Folge der Intensivierung gekennzeichnet. Besonders unvorteilhaft erscheint der Anbau von Triticale, deren Erträge durch die verbesserte Nährstoffzufuhr nicht mehr angestiegen sind ($b = 0,1$; Futterbau) oder sogar abgenommen haben ($b = -0,3$; Marktfrucht). Ursache für diese Entwicklung ist eine Zunahme an Krankheiten und eine erhöhte Lagerneigung, wovon nicht nur die Triticale, sondern nach hoher Düngung alle angebauten Getreidearten in zunehmenden Maße betroffen waren (vgl. Kap. 4.2). Triticale und Winterweizen waren zudem durch eine besonders hohe Streuung der Versuchswerte von durchschnittlich $\pm 4,8$ dt bzw. $\pm 3,8$ dt/ha gekennzeichnet, die in den Gleichungen als Standardfehler der Regression ausgewiesen worden ist und als ein weiteres Kennzeichen der Ertragsstabilität angesehen werden kann.

Im Durchschnitt der Anbausysteme konnte am Ort Methau folgende Rangfolge der Fruchtarten ausgewiesen werden:

■ Ertragszuwachs durch Intensivierung:

■ Kartoffeln > Silomais > Klee gras > Sommerweizen > Winterweizen > Triticale

■ Ertragsstabilität:

■ Silomais > Sommerweizen > Klee gras > Winterweizen > Kartoffeln > Triticale.

Am Versuchsort Spröda konnten ähnliche Ergebnisse mit Hilfe der Regressionsanalyse ermittelt werden (Abbildung 15). Während die GE-Erträge im extensiven Bereich ohne Düngung in beiden Systemen noch durch etwas geringere Werte gekennzeichnet sind als im Fruchtfolgedurchschnitt, hat eine steigende Düngung zur Folge, dass die GE-Erträge insbesondere im Marktfruchtssystem deutlich stärker ansteigen als im Vergleich zur veranschlagten Fruchtfolge oder allen anderen geprüften Fruchtarten. Es folgt der Anbau von Klee gras, der auch im Extensivbereich durch ein hohes GE-Ertragsniveau und im Futterbau auch noch durch einen überproportionalen Ertragsanstieg gekennzeichnet ist, während die Ertragszunahme im Marktfruchtssystem mit $b = 0,9$ dt/ha bereits etwas geringer ausgefallen ist als im Fruchtfolgedurchschnitt.

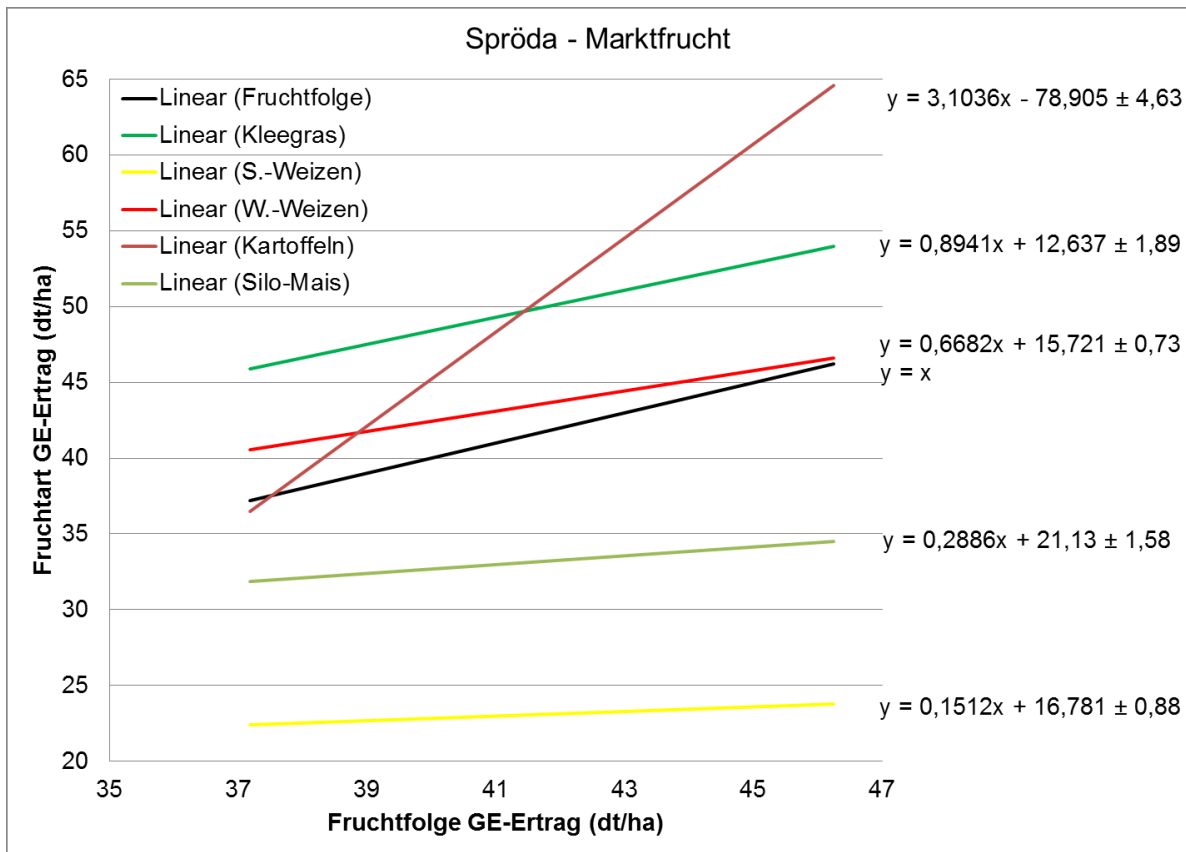
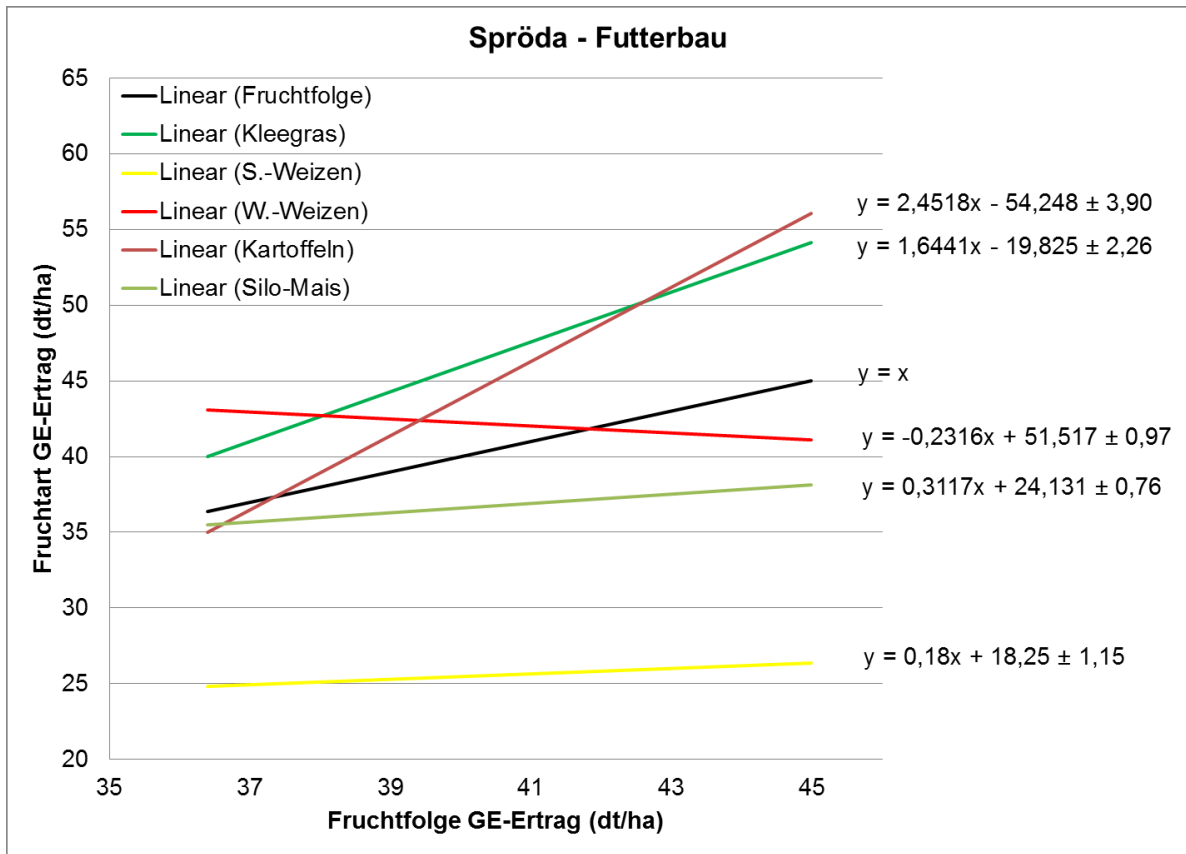


Abbildung 15: Ertragsreaktion der Fruchtarten im Vergleich zum Fruchtfolgedurchschnitt ($y = x$) in Folge steigender Düngintensität im System Futterbau und Marktfrucht am Standort Spröda

Auch für den Winterweizen ist an beiden Anbausystemen des Ortes Spröda noch ein relativ hohes Ertragsniveau im extensiven Versorgungsbereich ermittelt worden. In Folge der Intensivierungsmaßnahmen im Bereich Düngung ist aber im System Marktfrucht nur noch ein geringer Ertragsanstieg eingetreten, während im Futterbau sogar ein z.T. deutlich depressiver Einfluss auf die Erträge festzustellen war. Auch das Ertragsniveau und der Ertragsanstieg von Silomais und von Sommerweizen lagen deutlich unter dem des Fruchtfolgedurchschnitts (Abbildung 15).

Am Versuchsort Spröda wurden im Durchschnitt der Anbausysteme folgende Rangfolgen der Fruchtarten ausgewiesen:

■ Ertragszuwachs durch Intensivierung:

■ Kartoffeln > Klee gras > Silomais > Winterweizen > Sommerweizen

■ Ertragsstabilität:

■ Winterweizen > Sommerweizen > Silomais > Klee gras > Kartoffeln.

An beiden Orten waren die Kartoffel und das Klee gras durch überdurchschnittliche Werte und einige Getreidearten durch geringere Ertragszuwächse im Vergleich zum Fruchtfolgedurchschnitt gekennzeichnet. Silomais war am Ort Methau und Winterweizen am Ort Spröda durch vergleichsweise bessere Wachstumschancen gekennzeichnet. Zu bedenken ist jedoch das allgemein deutlich höhere Ertragsniveau am Lößstandort Methau. Das Durchschnittsniveau und der Ertragsanstieg der Fruchtfolgen war allgemein an beiden Versuchsorten im Anbausystem Marktfrucht etwas höher als im System Futterbau. Besonders die vorzüglichen Fruchtarten mit besserer Ertragsreaktion, wie Kartoffeln, Silomais oder Klee gras, waren für diese Unterschiede in erster Linie verantwortlich.

4.2 Inhaltsstoffe und Qualitätsparameter der Fruchtarten

Entsprechend dem Thema der Arbeit werden an dieser Stelle alle Ergebnisse der Hauptnährstoffe N, P, K, und Mg ausführlich behandelt und dokumentiert. Andere untersuchte Merkmale werden genannt, auf eine genaue Darstellung wird aber verzichtet, wenn kaum Unterschiede zwischen den Einflussfaktoren aufgetreten sind. Bei den Merkmalen handelt es sich in der Regel um Ergebnisse ohne Wiederholungen, daher sind keine monovarianten statistischen Verrechnungen der Varianzanalyse vorgenommen worden.

4.2.1 Klee gras aufwüchse

Für Klee gras liegen grundsätzlich 8 Ernten vom Standort Methau und 6 Ernten aus dem Anbau in Spröda vor. Im ersten Anbaujahr 1993 wurde Klee gras zum Teil als Untersaat zur Deckfrucht Hafer etabliert. Hierdurch sind im MF-System keine Daten für Klee gras und umgekehrt im FB-System keine Daten für Hafer vorhanden, obgleich jeweils beide Fruchtarten angebaut worden sind. Vergleiche zwischen den Systemen waren in diesem Jahr nicht möglich, da demzufolge unterschiedliche Fruchtarten beerntet wurden. In den übrigen Anbaujahren erfolgte der Anbau ohne Deckfrucht.

Klee gras wurde an beiden Standorten in unterschiedlicher Intensität angebaut und in Abhängigkeit von den jeweils vorherrschenden Witterungsverhältnissen geerntet worden. Der erste Schnitt erfolgte beispielsweise in Methau in der Regel in der Mitte des 2. Quartals und der zweite Schnitt in der Mehrzahl der Fälle in der Mitte des 3. Quartals des jeweiligen Anbaujahres. War ein dritter Schnitt möglich, erfolgte dieser meistens zu Beginn des 4. Quartals. Eine Übersicht zu den Schnittzeitpunkten ist nachstehender Tabelle 49 zu entnehmen.

Tabelle 49: Intensität von Anbau und Beerntung von Klee gras an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda					
Jahr	gesamt	Schnitt			Jahr	gesamt	Schnitt		
		1.	2.	3.			1.	2.	3.
1993	2 Schnitte	13.07.	22.09.		1993	2 Schnitte	02.08.	14.09.	
1994	3 Schnitte	26.05.	21.07.	19.10.	1994	3 Schnitte	02.06.	16.08.	25.10.
1995	3 Schnitte	23.05.	31.07.	17.10.	1997	1 Schnitt		25.08.	
1996	3 Schnitte	05.06.	07.08.	12.11.	2000	1 Schnitt			25.10.
2000	3 Schnitte	16.06.	22.08.	19.10.	2001	2 Schnitte	22.05.	11.07.	
2001	2 Schnitte	07.06.	03.08.		2005	2 Schnitte	22.08.	17.10.	
2006	3 Schnitte	26.06.	02.08.						
2007	3 Schnitte	23.05.	12.07.	30.08.					

4.2.1.1 Stickstoff

Der N-Gehalt der einzelnen Aufwüchse nimmt, wie Tabelle 50 darstellt, mit fortschreitender Jahreszeit bzw. Schnitthäufigkeit im Mittel der Versuchsjahre am Standort Methau, aber auch in Spröda in den Anbausystemen FB und MF deutlich zu. In den Aufwüchsen des MF-Systems wird zum zweiten und dritten Schnitt hin, ein tendenziell leicht höherer N-Gehalt als im FB-System erkennbar. Am Standort Methau sind, betrachtet man den mittleren N-Gehalt aller drei Schnitte, keine eindeutig gerichteten Unterschiede zwischen den Anbausystemen zu finden.

Am Standort Spröda war es aufgrund der vorherrschenden Witterungsbedingungen nur im Versuchsjahr 1994 möglich, den etablierten Klee grasbestand dreimal zu beernten. In den übrigen Versuchsjahren waren bestenfalls zwei Ernten möglich. Im Jahr 1997 wurde statt Klee gras ein Luzerne gras eingedrillt, das aufgrund extremer Trockenheit nur einmal beerntet werden konnte. In den auswertbaren Versuchsjahren 1994, 2001 und 2005 lagen die N-Gehalte am Standort Spröda in den Aufwüchsen des MF-Systems tendenziell geringfügig höher als im FB-System (Tabelle 50). Der mittlere N-Gehalt lässt hier an beiden Standorten, eine leichte systemabhängige Tendenz hin zu geringfügig höheren N-Gehalten im MF-System erkennen.

Betrachtet man jedoch die Anbaujahre 1994 und 2001 etwas genauer, in welchen sowohl zeitgleich in Spröda als auch in Methau Klee gras in der Fruchtfolge stand und in gleicher Schnitthäufigkeit beerntet wurde, kann eine eindeutig gerichtete Tendenz in Bezug auf N-Gehalte in Abhängigkeit vom Anbausystem nicht ausgemacht werden (Abbildung 16). In Spröda haben die N-Gehalte im Aufwuchs im Verlauf des Versuches deutlich zugenommen. Im Durchschnitt der vergleichbaren Aufwüchse liegen die N-Gehalte am Anbauort Spröda um 0,28 % N höher als am Vergleichsort Methau.

Tabelle 50: Mittlerer N-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem¹⁾

Standort / Anbausystem	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Anbausystem	MW Ort (n = 4)
Methau / Futterbau	2,30	2,64	3,29	2,74	2,46
Methau / Marktfrucht	2,22	2,69	3,37	2,76	
Spröda / Futterbau	2,69	2,75	(2,18) ²⁾	2,72 (2,54) ³⁾	2,74
Spröda / Marktfrucht	2,72	2,80	(2,23) ²⁾	2,76 (2,58) ³⁾	

1) 1993 nicht in Mittelwertberechnung einbezogen; 2) (Einzelwert aus 1994); 3) (inkl. Einzelwert 3. Schnitt)

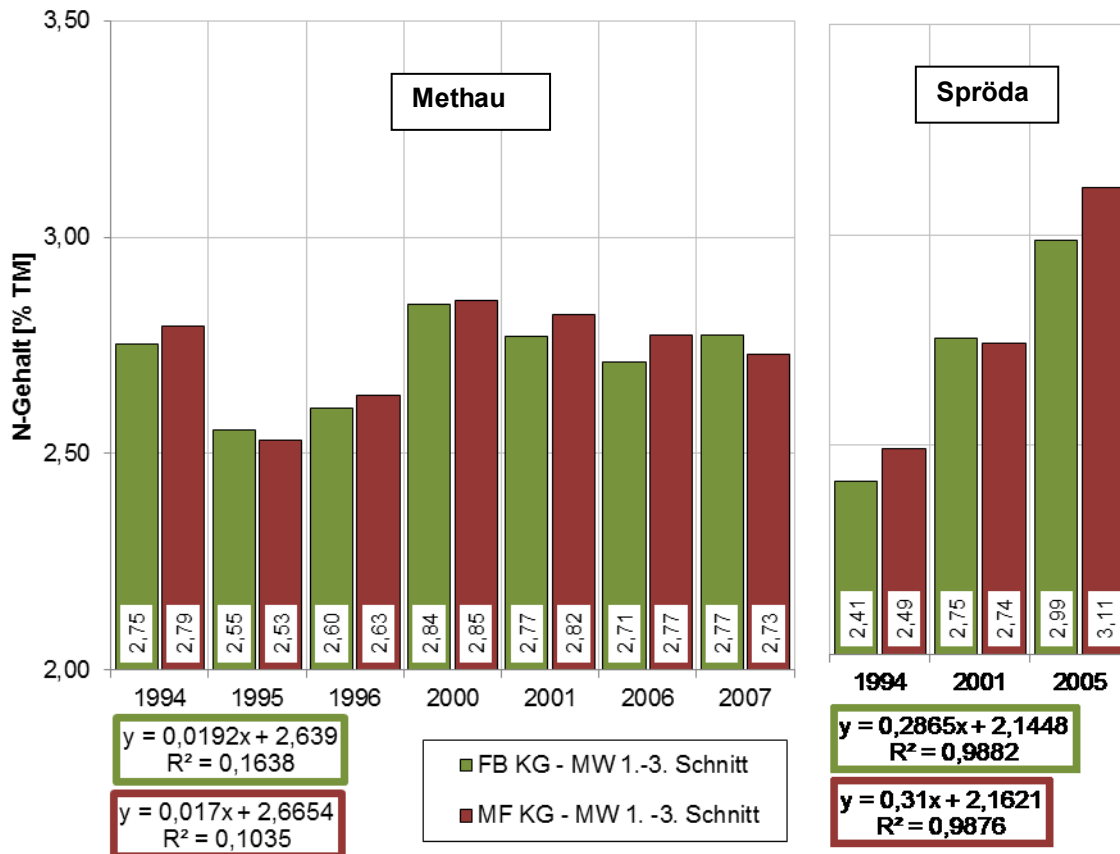


Abbildung 16: Der N-Gehalt [% TM] je Anbaujahr im Mittel aller Klee gras-Schnitte an den Standorten Methau und Spröda

Steigende Düngergaben führten, über alle Schnitte pro Jahr betrachtet, in Methau zu etwas abfallenden N-Gehalten in der Klee gras-TM (Tabelle 51). In Spröda ist demgegenüber eine Steigerung parallel zur Düngintensivierung in zwei von drei untersuchten Anbaujahren ersichtlich (wobei zu beachten ist, dass vom dritten Schnitt nur im Jahr 1994 Daten vorlagen).

Tabelle 51: N-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
2,77	2,73	2,73	2,72	2,74	2,65	2,72	2,71	2,73	2,70
Marktfrucht									
2,81	2,74	2,73	2,71	2,75	2,77	2,76	2,80	2,82	2,79
MW									
2,79	2,74	2,73	2,72	2,75	2,71	2,74	2,76	2,78	2,75

Fortwährende Düngung mit Stallmist, Grüngut oder Gülle führte an den Standorten Methau und Spröda in keinem der untersuchten Anbausysteme zu einer eindeutigen Unterscheidung der N-Gehalte im Erntegut (Tabelle 52, Tabelle 53 u. Tabelle 54). Einzelne gefundene Unterschiede zwischen den untersuchten Düngerarten heben sich innerhalb der jeweiligen Anbausysteme oftmals auf. Die Veränderungen der N-Gehalte müssen im Zusammenhang mit der Entwicklung der Leguminosenanteile im Klee gras gesehen werden (siehe weiter unten).

Tabelle 52: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
2,76	2,71	2,74	2,61	2,65	2,64	2,80	2,78
Marktfrucht							
ohne	SM	M ¹⁾	MIN	ohne	M ²⁾	G	MIN
2,81	2,73	2,80	2,68	2,77	2,84	2,75	2,73

1) M-Düngung im MF-System Methaus ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996; 2) M-Düngung im MF-System Sprödas ohne Wert für Jahr 1994

Tabelle 53: N-Gehalt [% TM] im Klee gras-Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
2,78	2,73	2,70	2,72	2,78	2,75	2,76	2,70	2,61
Marktfrucht								
	SM				M ¹⁾			
2,81	2,74	2,75	2,69	2,81	2,82	2,79	2,80	2,68

1) M-Düngung im MF-System Methaus ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996

Tabelle 54: N-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	
Futterbau									
	SM				G				
2,65	2,69	2,59	2,64	2,65	2,76	2,82	2,81	2,77	
Marktfrucht									
	M ¹⁾				G				
2,77	2,92	3,03	3,09	2,77	2,74	2,74	2,75	2,73	

1) M-Düngung im MF-System Sprödas ohne Wert für Jahr 1994

4.2.1.2 Phosphor

Am Standort Methau schwankt der P-Gehalt im Erntegut zwischen den einzelnen Aufwüchsen im Verlauf des Versuches in beiden Anbausystemen deutlich (Tabelle 55). Zwischen den Anbausystemen lassen sich in der Summe leichte Unterschiede im P-Gehalt des Erntegutes zugunsten des MF-Systems erkennen. Der P-Gehalt der jeweiligen Aufwüchse bleibt im Durchschnitt der Versuchsjahre zwischen dem ersten und dem zweiten Schnitt meistens nahezu unverändert, ist aber zum Zeitpunkt des dritten Schnittes deutlich höher als zum ersten Schnittzeitpunkt. Im Gegensatz hierzu fällt der P-Gehalt im Erntegut zwischen dem ersten und dem zweiten Aufwuchs am Ort Spröda tendenziell ab. Im System Marktfrucht lässt sich auch hier ein höherer P-Gehalt im Erntegut finden als im FB-System.

Die mittleren P-Gehalte werden am stärksten von den Schnitten im ersten Aufwuchs beeinflusst und zeigen am Standort Methau, ausgehend vom Jahr 1995 bis einschließlich dem Jahr 2006, eine abnehmende Tendenz (Abbildung 17). Bei Betrachtung der P-Gehalte im Mittel aller Schnitte sind leichte Gehaltsunterschiede zwischen den Anbausystemen zu Gunsten des MF-Systems erkennbar. Die mittleren P-Gehalte beider Anbausysteme zeigen in Spröda einen über die Versuchsdauer deutlich zunehmenden P-Gehalt im Erntegut auf.

Tabelle 55: Mittlerer P-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem¹⁾

Standort / Anbausystem	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Anbausystem	MW Ort (n = 4)
Methau / Futterbau	0,25	0,25	0,37	0,29	0,26
Methau / Marktfrucht	0,26	0,27	0,38	0,30	
Spröda / Futterbau	0,30	0,24	(0,28) ²⁾	0,27 (0,27) ³⁾	0,28
Spröda / Marktfrucht	0,32	0,26	(0,29) ²⁾	0,29 (0,29) ³⁾	

1) 1993 nicht in Mittelwertberechnung einbezogen; 2) (Einzelwert aus 1994); 3) (inkl. Einzelwert 3. Schnitt)

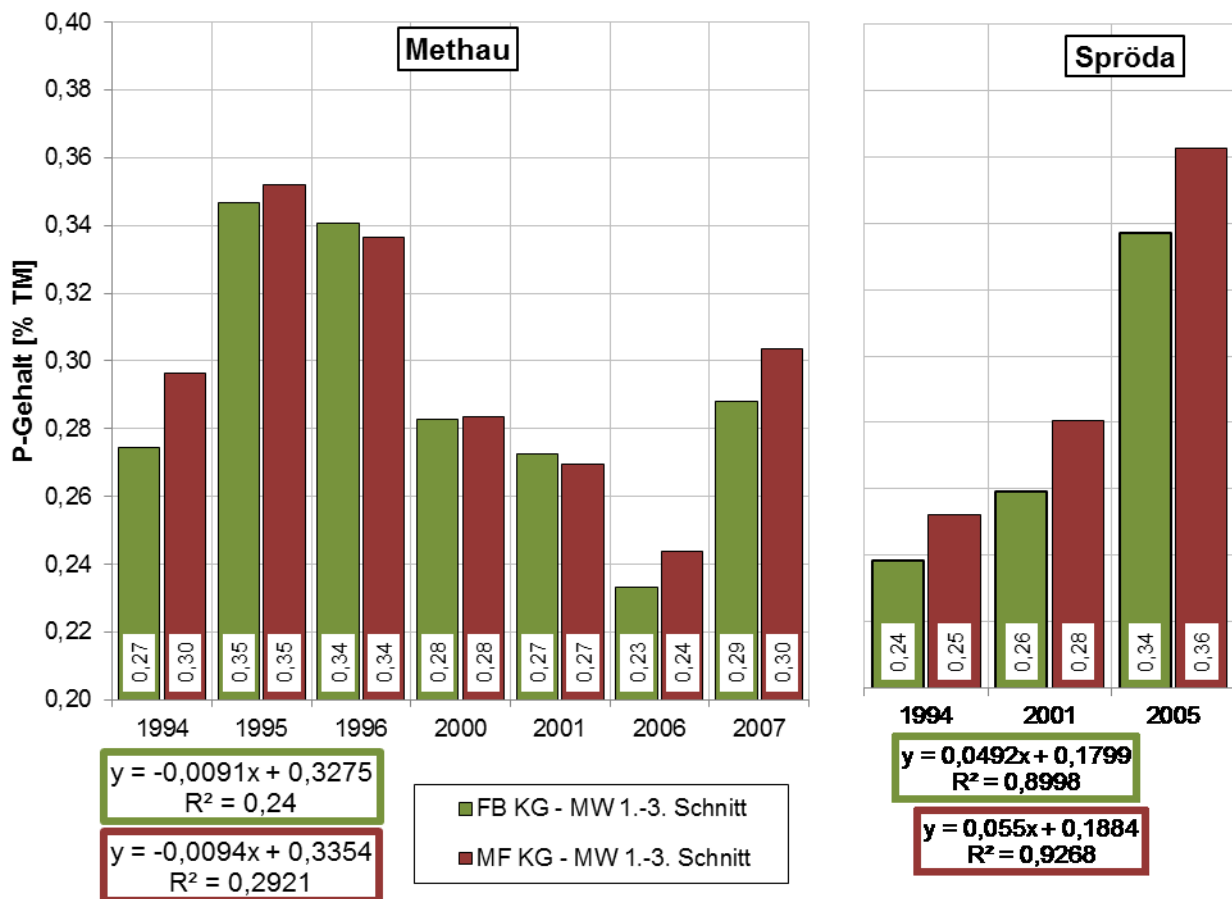


Abbildung 17: P-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte je Versuchsjahr an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 56: P-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,27	0,28	0,28	0,29	0,28
Marktfrucht									
0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,28	0,30	0,31	0,30	0,30
MW									
0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29

An beiden Standorten sind unabhängig vom applizierten Düngemittel, tendenziell im System Marktfrucht geringfügig höhere P-Gehalte im Erntegut gefunden worden (Tabelle 56, Tabelle 57, Tabelle 58 u. Tabelle 59). Auf Lehmböden (Methau) reagiert der P-Gehalt gar nicht, auf Sandböden (Spröda) sind Veränderungen sichtbar. Daher nehmen die P-Gehalte am Standort Spröda durch Düngung etwas zu.

Tabelle 57: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,29	0,29	0,29	0,29	0,26	0,29	0,28	0,27
Marktfrucht							
ohne	SM	M1)	MIN	ohne	M ²⁾	G	MIN
0,30	0,30	0,28	0,29	0,28	0,32	0,30	0,29

1) Mulch im MF-System Methau ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996; 2) Mulch im MF-System Spröda ohne Wert für Jahr 1994

Tabelle 58: P-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Marktfrucht								
	SM				M ¹⁾			
0,30	0,29	0,30	0,31	0,30	0,28	0,28	0,28	0,29

1) M-Düngung im MF-System Methaus ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996

Tabelle 59: P-Gehalt [% TM] im Klee gras-Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,26	0,28	0,28	0,30	0,26	0,27	0,28	0,28	0,27
Marktfrucht								
	M ¹⁾				G			
0,28	0,32	0,34	0,32	0,28	0,30	0,30	0,31	0,29

1) M-Düngung im MF-System Sprödas ohne Wert für Jahr 1994

4.2.1.3 Kalium

Am Standort Methau ist eine Abnahme der K-Gehalte im Kleeerasaufwuchs mit fortschreitender Versuchsdauer zu erkennen (Abbildung 18). Diese Tendenz ist im System Futterbau sehr viel deutlicher ausgeprägt als im MF-System. Der K-Gehalt im MF-System Methaus ist in allen Versuchsjahren mit Kleeerasanbau generell höher als im System Futterbau. Mit fortschreitender Versuchsdauer zeichnet sich dieser Unterschied zwischen den untersuchten Anbausystemen zunehmend stärker ab. Im Gegensatz zum Standort Methau sind in Spröda mit fortschreitender Versuchsdauer in beiden Anbausystemen jeweils deutlich zunehmende K-Gehalte aufgetreten.

Im Verlauf der Vegetation weist am Ort Methau der zweite Aufwuchs im System Futterbau mehrheitlich ein Minimum im K-Gehalt auf, während sich zum Ende der Vegetationsperiode (3. Aufwuchs) meistens der mit Abstand höchste K-Gehalt finden lässt (Tabelle 60). Im System Marktfrucht unterscheidet sich der K-Gehalt des 2. Aufwuchses oft wenig von dem des ersten Aufwuchses. Im dritten Aufwuchs wurden ebenfalls die höchsten K-Gehalte ermittelt. Am Standort Spröda kann ebenfalls mit dem zweiten Aufwuchs eine Abnahme der K-Gehalte im Erntegut beobachtet werden. In Spröda zeigt der erste Aufwuchs die höchsten K-Werte auf. Eine Ausdifferenzierung zwischen den Anbausystemen wird dagegen kaum erkennbar. Im Durchschnitt der Versuche weisen die MF-Varianten jedoch eindeutig höhere K-Gehalte auf, da die KG-Aufwüchse in diesen Varianten auf dem Feld verbleiben, während mit der Kleeeras-Abfuhr im FB-System eine erhebliche K-Menge abgerntet wird.

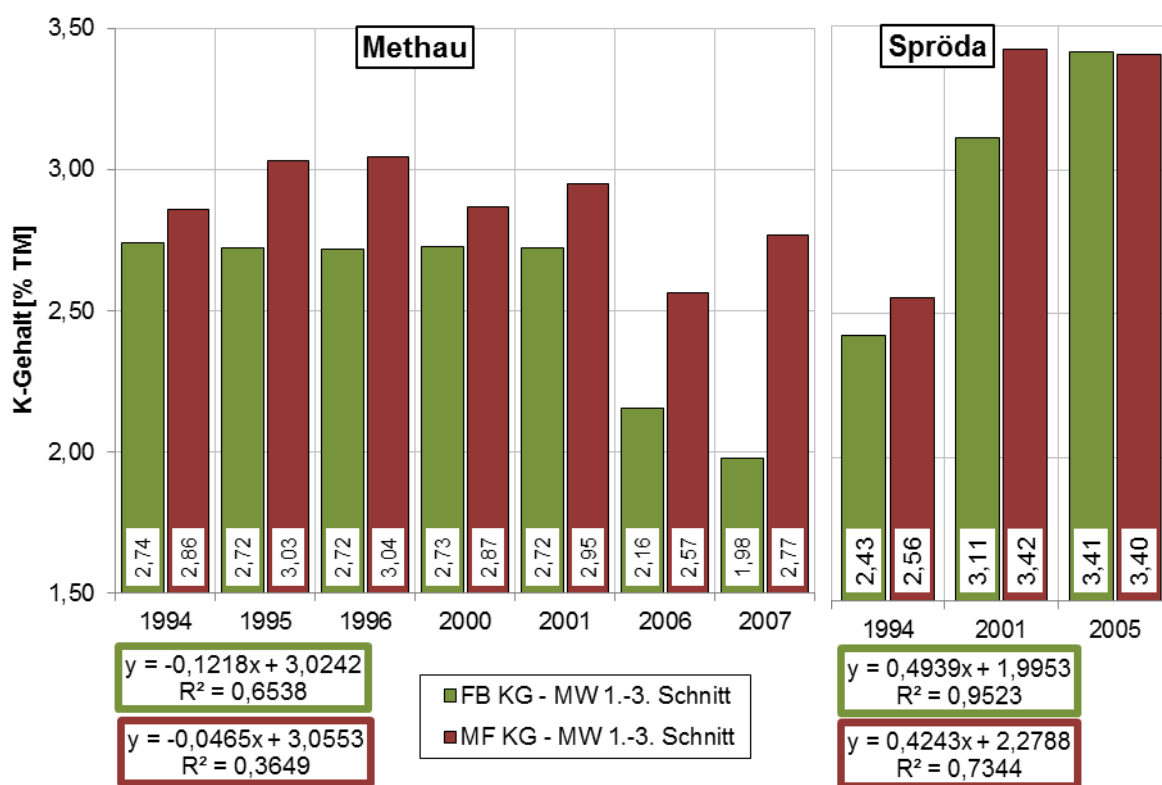


Abbildung 18: K-Gehalt [% TM] im Mittel aller Schnitte an Kleeeras je Versuchsjahr an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 60: Mittlerer K-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem¹⁾

Standort / Anbausystem	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	Mittelwert Anbausystem	MW Ort (n = 4)
Methau / Futterbau	2,48	2,30	2,77	2,54	2,54
Methau / Marktfrucht	2,70	2,69	3,26	2,87	
Spröda / Futterbau	3,12	2,69	(2,89) ²⁾	2,91 (2,90) ³⁾	2,98
Spröda / Marktfrucht	3,33	2,77	(3,03) ²⁾	3,05 (3,04) ³⁾	

1) 1993 nicht in Mittelwertberechnung einbezogen; 2) (Einzelwert); 3) (inkl. Einzelwert 3. Schnitt)

An beiden Standorten sind im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre die größten Unterschiede im K-Gehalt zwischen den ungedüngten Varianten und der Düngevariante mit 2,0 DE/ha zu erkennen (Tabelle 61). Meistens steigen die Werte mit zunehmender Düngung an. Die Varianten mit den Düngesteigerungsstufen 0,5 DE und 1,0 DE/ha zeigen vor allem in Methau nur geringe Unterschiede, im MF-System sogar geringere K-Gehalte in Beziehung zur ungedüngten Variante auf. Die untersuchten Kleegrassmaterialien am Ort Spröda wiesen insgesamt höhere K-Werte auf.

Tabelle 61: K-Gehalt [% TM] im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
2,50	2,51	2,52	2,57	2,53	2,83	2,98	2,98	3,12	2,98
Marktfrucht									
2,89	2,83	2,86	2,94	2,88	3,10	3,09	3,21	3,24	3,16
MW									
2,70	2,67	2,69	2,76	2,71	2,97	3,04	3,10	3,18	3,07

Unterschiede zwischen den Düngemittelarten sind verhältnismäßig gering ausgeprägt (Tabelle 62, Tabelle 63 u. Tabelle 64). Es ist aber zu erkennen, dass die K-Gehalte im Vergleich zu keiner Düngung durch KAS- und Gülle-Zufuhr am geringsten zunehmen, während die Mulch- und Stallung-Varianten höhere K-Werte aufweisen.

Tabelle 62: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
2,50	2,56	2,51	2,58	2,83	3,08	2,98	2,87
Marktfrucht							
ohne	SM	M ¹⁾	MIN	ohne	M ²⁾	G	MIN
2,89	2,92	2,74	2,76	3,10	3,56	3,15	2,83

1) Mulch im MF-System Methau ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996; 2) Mulch im MF-System Spröda ohne Wert für Jahr 1994

Tabelle 63: K-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
2,50	2,53	2,55	2,61	2,50	2,51	2,49	2,53	2,58
Marktfrucht								
	SM				M ¹⁾			
2,89	2,86	2,90	2,99	2,89	2,68	2,75	2,80	2,76

1) M-Düngung im MF-System Methaus ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996

Tabelle 64: K-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
2,83	3,00	3,05	3,18	2,83	2,97	2,92	3,06	2,87
Marktfrucht								
	M ¹⁾				G			
3,10	3,37	3,69	3,61	3,10	3,10	3,11	3,23	2,83

1) M-Düngung im MF-System Sprödas ohne Wert für Jahr 1994

4.2.1.4 Magnesium

Magnesium als Pflanzeninhaltsstoff wurde an beiden Standorten erst vergleichsweise spät in die Analytik aufgenommen und auch weniger regelmäßig untersucht, so dass hierfür aufgrund der entsprechend fehlenden Werte über die gesamte Versuchsdauer teilweise keine so aussagekräftigen Zeitreihen erstellt werden konnten wie für die anderen Nährstoffe.

Am Standort Methau sind in der überwiegenden Anzahl an Versuchsjahren sehr deutliche Unterschiede im Mg-Gehalt des Kleegrases zwischen den Anbausystemen zu beobachten. Mehrheitlich liegt er im System Futterbau höher als im System Marktfrucht (Abbildung 19). Mit fortschreitender Versuchsdauer lässt sich über die Versuchsjahre betrachtet ein eher zunehmender Mg-Gehalt im Klee gras erkennen. Innerhalb der einzelnen Vegetationsperioden werden in Methau unabhängig vom Anbausystem im zweiten Aufwuchs die höchsten und im ersten Aufwuchs ebenso regelmäßig die niedrigsten Mg-Gehalte im Klee gras gefunden. In Spröda liegen die Mg-Werte des dritten Aufwuchses auf sehr niedrigem Niveau (Tabelle 65).

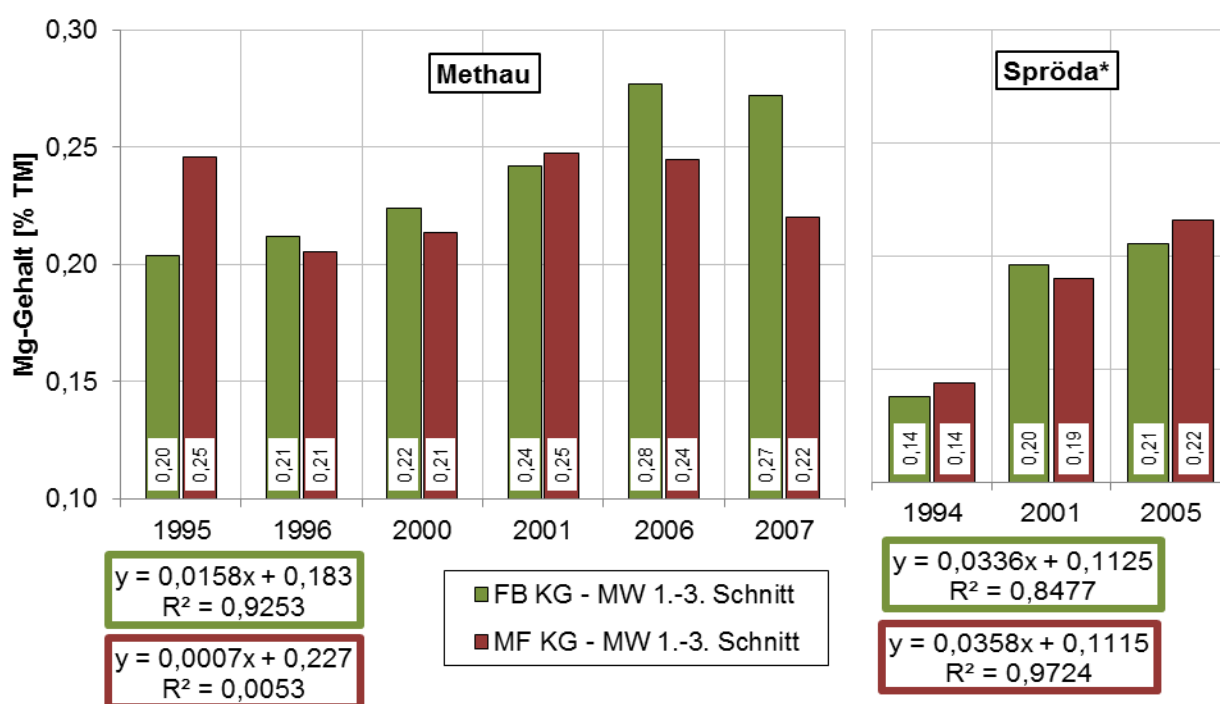


Abbildung 19: Mg-Gehalt [% TM] im Mittel aller Schnitte an Klee gras je Versuchsjahr an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 65: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] in Abhängigkeit von Schnitzeitpunkt und Anbausystem¹⁾

Standort / Anbausystem	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Anbausystem	MW Ort (n = 4)
Methau / Futterbau	0,19	0,30	0,25	0,24	0,23
Methau / Marktfrucht	0,18	0,25	0,24	0,23	
Spröda / Futterbau	0,22	0,18	(0,14) ²⁾	0,20 (0,18) ³⁾	0,20
Spröda / Marktfrucht	0,21	0,19	(0,14) ²⁾	0,20 (0,18) ³⁾	

1) 1993 nicht in Mittelwertberechnung einbezogen; 2) (Einzelwert aus 1994); 3) (Ergebnis inkl. Einzelwert 3. Schnitt)

Zusammenfassend zeigt der mittlere Mg-Gehalt am Ort Methau im System Futterbau mit steigender Düngungsintensität eine abnehmende Tendenz auf, wohingegen der Mg-Gehalt im Klee gras des Systems Marktfrucht sich kaum verändert (Tabelle 66). Die ungedüngten Varianten weisen beim Mg-Gehalt im Klee gras den mit Abstand größten Unterschied zwischen den Anbausystemen auf. Über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet ist der Einfluss steigender Düngungsintensität und verschiedener Düngungsarten auf den Mg-Gehalt im Klee gras eher als gering zu beurteilen und zudem nicht einheitlich zwischen den Anbausystemen ausgeprägt (Tabelle 67, Tabelle 68 u. Tabelle 69).

Tabelle 66: Mg-Gehalt [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
0,28	0,24	0,24	0,23	0,25	0,17	0,18	0,18	0,19	0,18
Marktfrucht									
0,23	0,23	0,24	0,23	0,23	0,17	0,19	0,19	0,18	0,18
MW									
0,26	0,24	0,24	0,23	0,24	0,17	0,19	0,19	0,19	0,18

Tabelle 67: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,28	0,24	0,23	0,21	0,17	0,19	0,18	0,18
Marktfrucht							
ohne	SM	M ¹⁾	MIN	ohne	M ²⁾	G	MIN
0,23	0,23	0,24	0,22	0,16	0,20	0,19	0,18

1) Mulch im MF-System Methau ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996; 2) Mulch im MF-System Spröda ohne Wert für Jahr 1994

Tabelle 68: Mg-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,28	0,25	0,25	0,24	0,28	0,24	0,23	0,23	0,21
Marktfrucht								
	SM				M ¹⁾			
0,23	0,22	0,23	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,22

1) M-Düngung im MF-System Methaus ohne Werte für die Jahre 1994, 1995, 1996

Tabelle 69: Mg-Gehalt [% TM] im Erntegut im Mittel aller Schnitte und Anbaujahre an Klee gras unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge stufen in den Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,17	0,18	0,18	0,20	0,17	0,18	0,17	0,18	0,18
Marktfrucht								
	M ¹⁾				G			
0,16	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,18

1) M-Düngung im MF-System Sprödas ohne Wert für Jahr 1994

4.2.1.5 Sonstige

Rohfaser

In Methau erlauben die 3 jeweils zweijährigen Klee gras-Anbaujahre Aussagen zur Entwicklung des Rohfasergehaltes. Der mittlere Rohfasergehalt am Standort Methau nimmt in den Anbaujahren in beiden Anbausystemen im Verlauf der Vegetationsperiode ab (Tabelle 70). Der Rohfasergehalt steigt am Standort Spröda in beiden Anbaujahren im Verlauf der Vegetationsperiode zunächst etwas an und geht dann im dritten Schnitt wieder zurück. Es sind keine Unterschiede zwischen den Anbausystemen erkennbar.

Tabelle 70: Mittlerer Gehalt an Rohfaser [% TM] in Abhängigkeit von Schnitzeitpunkt und Anbausystem¹⁾

Standort / Anbausystem	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Anbausystem	MW Ort (n = 4)
Methau / Futterbau	26,6	25,2	22,7	25,0	25,0
Methau / Marktfrucht	27,3	25,5	22,5	25,0	
Spröda / Futterbau	27,1	28,4	(23,8) ²⁾	(26,4) ³⁾	26,5
Spröda / Marktfrucht	26,5	29,3	(23,5) ²⁾	(26,6) ³⁾	

1) 1993 nicht in Mittelwertberechnung einbezogen; 2) (Einzelwert aus 1994); 3) (Ergebnis inkl. Einzelwert 3. Schnitt)

Durch die Düngung wird der Gehalt an Rohfaser geringfügig erhöht, zwischen den Düngemitteln gibt es keine Unterschiede (Tabelle 71 u. Tabelle 72). In Methau sanken die Gehalte an Rohfaser nach N-Mineraldüngung unter die Werte der ungedüngten Varianten ab (ohne Darstellung). Eine Stallmist-Düngung bedingt in Spröda tendenziell den höchsten Gehalt in den Kleeerasaufwüchsen. Zwischen den Systemen können am Standort Spröda keine Aussagen getroffen werden. Der Rohfasergehalt zeigt im Standortvergleich leichte Unterschiede. In den Kleeerasaufwüchsen sind am Standort Spröda durchgängig höhere Rohfasergehalte als in Methau vorzufinden.

Tabelle 71: Der Gehalt an Rohfaser [% TM] im Mittel aller Kleeeras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
24,7	24,9	25,0	25,0	24,9	26,1	26,2	27,0	26,5	26,5
Marktfrucht									
24,6	25,1	24,6	25,3	24,9	26,6	26,2	26,9	26,6	26,6
MW									
24,7	25,0	24,8	25,2	24,9	26,4	26,2	27,0	26,6	26,6

Tabelle 72: Mittlerer Gehalt an Rohfaser [% TM] im Kleeeras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
24,7	25,1	24,9	-	26,1	26,8	26,3	-
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
24,6	25,1	24,9	-	26,6	26,6	26,6	-

Rohasche

Der Gehalt an Rohasche ist durch fast alle untersuchten Einflussgrößen verändert worden. Im Verlauf der Vegetation haben die Gehalte an Rohasche vom ersten zum zweiten Schnitt an beiden Orten im Klee gras zunächst abgenommen. Am Ende der Vegetation wurden dann aber im dritten Schnitt die höchsten Gehalte analysiert (ohne Darstellung). Auch durch das Anbausystem wurden die Werte in der Form verändert, dass die MF-Varianten, in denen kein Abfuhr sondern ein stetiges Mulchen der Klee gras aufwüchse erfolgte, regelmäßig die höheren Gehalte an Rohasche aufwiesen (Tabelle 73 u. Tabelle 74). Durch eine steigende organische Düngung wurden ebenfalls die Gehalte an Rohasche um 5 – 6 %-Anteile angehoben. Von den Düngemitteln erwies sich der Stalldung am wirkungsvollsten, gefolgt von den Grüngut- und den Güllevarianten. Auch im Vergleich zu keiner Düngung wurden durch KAS-Zufuhr die Gehalte an Rohasche herabgesetzt und es wurden regelmäßig die niedrigsten Werte der Versuche ermittelt.

Tabelle 73: Der Gehalt an Rohasche [% TM] im Mittel aller Klee gras-Schnitte und Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
8,44	8,57	8,62	8,79	8,61	8,95	9,24	9,20	9,45	9,21
Marktfrucht									
8,87	9,32	9,29	9,52	9,25	9,07	9,57	9,80	9,50	9,49
MW									
8,66	8,95	8,96	9,16	8,93	9,01	9,41	9,50	9,48	9,35

Tabelle 74: Mittlerer Gehalt an Rohasche [% TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
8,44	8,80	8,52	8,40	8,95	9,43	9,17	8,75
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
8,87	9,50	9,25	8,62	9,07	9,73	9,52	8,78

Nettoenergielaktation (NEL) und weitere Merkmale

Die Werte an Netto-Energie-Laktation (NEL) im Klee gras wurden nur am Standort Spröda ermittelt. Zwischen den Anbausystemen wurden zunächst keine Unterschiede gefunden. Auch durch steigende organische Düngung erfolgten nur geringe Veränderungen in der Form, dass die Werte im Durchschnitt der Düngungsvarianten etwas angehoben worden sind (Tabelle 75). Die Zunahme war hier in den Stalldung- und Grüngut-Varianten am geringsten. Durch Güllezufuhr wurden die Werte etwas und durch KAS-Düngung im Vergleich zu den ungedüngten Varianten deutlicher angehoben.

Tabelle 75: Mittlerer NEL-Werte [MJ/kg TM] im Klee gras-Erntegut unter Berücksichtigung der appli- zierten Düngerarten am Standorte Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
-	-	-	-	6,11	6,11	6,14	6,27
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
-	-	-	-	6,01	6,08	6,17	6,28

Die Bestimmung der Enzymlöslichkeit der organischen Substanz (ELOS, EULOS) wurde an beiden Versuchsorten in der zweiten Versuchshälfte durchgeführt. Die mittleren ELOS-Werte lagen in Spröda um 65,5 % TM, die EULOS-Werte um 20,9 g/kg TM und in Methau um 60,0 % TM bzw. 32,0 g/kg TM. Es gab jedoch keine Variantenunterschiede im Klee gras-Aufwuchs (ohne Darstellung).

Leguminosenanteil im Klee gras

Der Anteil an Leguminosen am Gesamtaufwuchs (= 100 %) wurde mittels visueller Schätzung oder durch Ermittlung der Gewichtsanteile nicht in jedem Jahr mit Klee grasanbau aber mit Schwerpunkt in der zweiten Versuchsphase ermittelt. Der Anteil an Leguminosen im Vergleich zu den Nicht-Leguminosen (Grasanteil) ist in der Mehrzahl der Fälle am Ort Methau etwas höher, nimmt aber im Vergleich zwischen den ersten und dritten Schnitten in beiden Anbausystemen in der Tendenz zu (Tabelle 76). Unabhängig von Anbaujahr und Schnittzeitpunkt liegt der Leguminosenanteil im System Marktfrucht z.T. deutlich niedriger als im System Futterbau. Im Verlauf der Vegetationsperiode ist eine unterschiedliche vegetative Entwicklung der Bestandspartner erkennbar. Die spezifischen Witterungsbedingungen zeigen ihren Einfluss auf die insgesamt spätere Entwicklung der Leguminosen gegenüber den (robusteren) Nichtleguminosen.

Tabelle 76: Anteil an Leguminosen [%] im Klee gras-Gemenge in Abhängigkeit von Schnittzeitpunkt und Anbausystem¹⁾

Standort / Anbausystem	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	MW Anbausystem	MW Ort (n = 4)
Methau / Futterbau	56,1	50,0	59,2	56,3	52,9
Methau / Marktfrucht	46,2	50,0	51,9	49,4	
Spröda / Futterbau	-	-	-	-	-
Spröda / Marktfrucht	-	-	-	-	

1) 1993 nicht in Mittelwertberechnung einbezogen

Zwischen den Anbauorten sind insgesamt keine großen Unterschiede im Leguminosenanteil aufgetreten (Tabelle 77, Tabelle 78, Tabelle 79 u. Tabelle 80). Er liegt oft in Methau etwas höher. In den Futterbau-Varianten wurden meistens höhere Werte ermittelt. Für den Anbauort Spröda trifft dies aber nicht für die Durchschnittswerte zu. Mit steigender Düngung ist eine Optimumkurve zu erkennen, wonach bei niedriger Düngung zunächst ein Anstieg und nach hoher Düngung wieder ein Abfall erfolgt. In den Varianten ohne Düngung und mit sehr hoher Düngung werden jeweils verhältnismäßig niedrige Werte ermittelt. Die geringsten Anteile an Leguminosen waren fast regelmäßig nach N-Mineraldüngung zu verzeichnen. Zwischen den organischen Düngemitteln gab es nur geringe Differenzen im Leguminosenanteil der Klee grasaufwüchse.

Tabelle 77: Leguminosenanteil [%] im Klee-grasgemenge im Mittel der erhobenen Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
57,1	58,8	56,1	55,5	56,9	40,2	40,4	40,7	39,3	40,2
Marktfrucht									
50,1	52,5	51,6	47,1	50,3	49,9	52,5	57,7	55,3	53,9
MW									
53,6	55,7	53,9	51,3	53,6	45,1	46,5	49,2	47,3	47,0

Tabelle 78: Leguminosenanteil [%] im Klee-grasgemenge im Mittel der erhobenen Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
57,1	59,0	55,8	52,0	57,1	58,5	56,3	59,0	29,8
Marktfrucht								
	SM				M			
50,1	51,4	50,1	45,2	50,1	53,5	53,0	49,0	22,9

Tabelle 79: Leguminosenanteil [%] im Klee-grasgemenge im Mittel der erhobenen Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
40,2	42,3	40,2	34,7	40,2	38,5	41,1	40,8	24,4
Marktfrucht								
	M				G			
49,9	55,6	66,8	64,6	49,9	49,4	48,6	45,9	45,6

Tabelle 80: Leguminosenanteil [%] im Klee-grasgemenge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
57,1	55,6	57,9	29,8	40,2	39,1	40,1	24,4
Marktfrucht							
ohne	SM	M*	MIN	ohne	M	G	MIN
50,1	48,9	51,8	22,9	49,9	62,3	48,0	45,6

Legume N₂-Bindung

Unter Nutzung der ermittelten Leguminosenanteile und der Klee-graserträge wurden die Mengen an N₂-Bindung der Klee-gras- und legumen Zwischenfruchtbestände mit Hilfe von Schätzverfahren für jeden Aufwuchs berechnet. Je nach dem Gelingen der Bestände wurde eine deutlich unterschiedlich hohe legume N₂-Bindung ermittelt. Die zusammengefassten Durchschnittsbeträge lagen am Ort Methau bei über 220 kg und am Ort Spröda mit etwas mehr als 125 kg N/ha je Anbaujahr an Leguminosen deutlich niedriger (Tabelle 81). Mit steigender Düngung wurde zunächst eine Zunahme der N₂-Bindung und bei hoher Düngung wieder eine Abnahme registriert. Im Futterbau-System wurden in der Regel deutlich höhere Werte (Methau) oder geringfügig höhere Beträge berechnet (Spröda).

Tabelle 81: Durchschnittliche legume N₂-Bindung von Klee-gras [kg N/ha Klee-grasjahr] unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
238,1	264,1	259,2	259,6	255,3	133,2	136,7	128,8	132,2	132,7
Marktfrucht									
184,5	208,9	204,3	193,0	197,7	120,1	121,2	119,6	122,4	120,8
MW									
211,3	236,5	231,8	226,3	226,5	126,7	129,0	124,2	127,3	126,8

In der Tabelle 82, der Tabelle 83 sowie der Tabelle 84 können die genauen Werte für die untersuchten Düngemittel und Anbauverfahren entnommen werden. Die organischen Düngemittel haben nur zu geringfügigem Anstieg der legumen N₂-Bindung beigetragen. In manchen Jahren wurden auch gar keine differenzierten Werte gefunden, insbesondere am Ort Spröda. Die Zufuhr leichtlöslicher N-Mineraldünger, obwohl nicht direkt zu Leguminosen verabreicht, führte dagegen im Vergleich zu allen anderen Varianten zu einer deutlichen Abnahme der N₂-Bindungswerte durch die Leguminosenbestände.

Tabelle 82: Durchschnittliche legume N₂-Bindung von Klee gras [kg N/ha Klee grasjahr] im Mittel aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
238,1	259,2	258,9	249,3	238,1	269,0	259,4	269,8	117,0
Marktfrucht								
	SM				M			
184,5	207,8	197,1	178,6	184,5	209,9	211,4	207,4	88,0

Tabelle 83: Durchschnittliche legume N₂-Bindung von Klee gras [kg N/ha Klee grasjahr] im Mittel aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
133,2	137,2	127,2	130,1	133,2	136,1	130,3	134,2	88,0
Marktfrucht								
	M				G			
120,1	123,9	123,9	128,9	120,1	118,4	115,2	115,9	83,9

Tabelle 84: Durchschnittliche legume N₂-Bindung von Klee gras [kg N/ha Klee grasjahr] unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
FB							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
238,1	255,8	266,1	117,0	133,2	131,5	133,5	88,0
MF							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
184,5	194,5	209,6	88,0	120,1	125,6	116,5	83,9

4.2.2 Getreide (Korn und Stroh)

Von den Getreidearten liegen auswertbare Ergebnisse aus der Fruchtfolge Methaus zu 3 Ernten (1999: S.-Weizen, 2002: W.-Weizen, 2005: Triticale) und in Spröda zu 2 Ernten vor (1995: S.-Weizen, 2002: W.-Weizen). Die Ergebnisse der Inhaltsstoffe werden für Körner und Stroh dargestellt.

4.2.2.1 Stickstoff

An beiden Standorten wird, unabhängig von der dargestellten Getreideart, im Versuchsverlauf im N-Gehalt des Getreidekorns keine eindeutig gerichtete Ausdifferenzierung zwischen den Anbausystemen ersichtlich (Abbildung 20). Bezüglich des Getreidestrohs ist ebenfalls an den Standorten keine Differenzierung zwischen den Anbausystemen im Versuchsverlauf eingetreten (Abbildung 21).

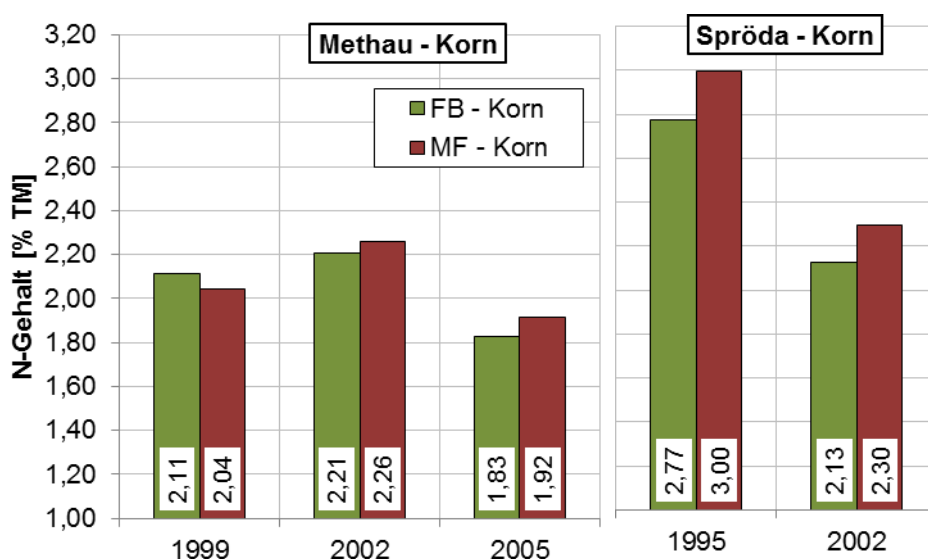


Abbildung 20: N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda (Methau: 1999 S.-Weizen, 2002 W.-Weizen, 2005 Triticale; Spröda: 1995 S.-Weizen, 2002 W.-Weizen)

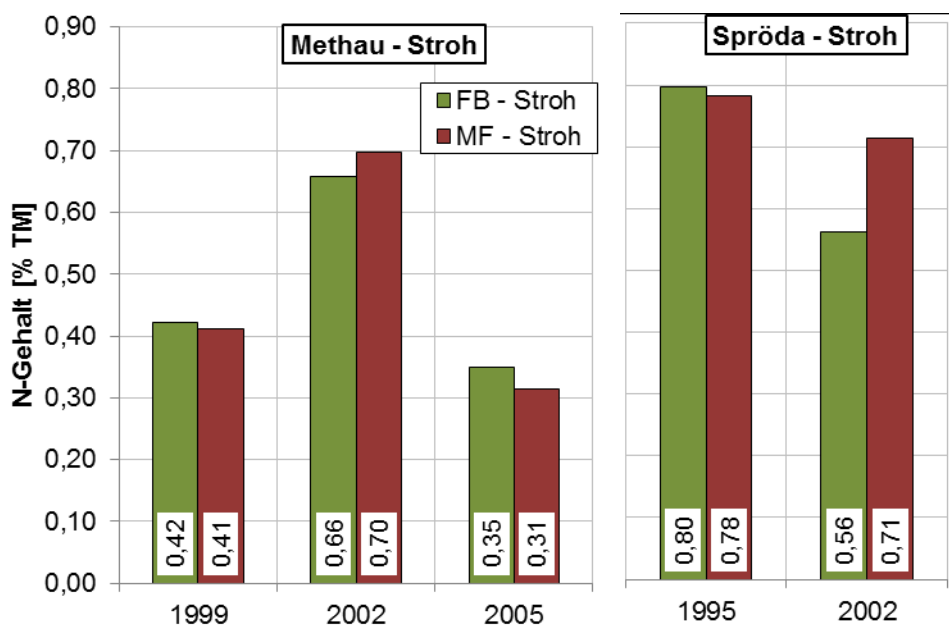


Abbildung 21: N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda

Während in beiden Anbausystemen Methaus der N-Gehalt im Getreidekorn durch steigende Düngung kontinuierlich ansteigt, ist der Einfluss in Spröda nicht so eindeutig erkennbar. An beiden Standorten ist in Bezug auf den N-Gehalt im Getreidestroh in beiden Anbausystemen kein eindeutig gerichteter Einfluss der Düngungsintensität auf den N-Gehalt zu sehen. Die MF-Varianten weisen jeweils in Korn und Stroh etwas höhere N-Gehalte auf (Abbildung 22 u. Abbildung 23, Tabelle 85 u. Tabelle 86).

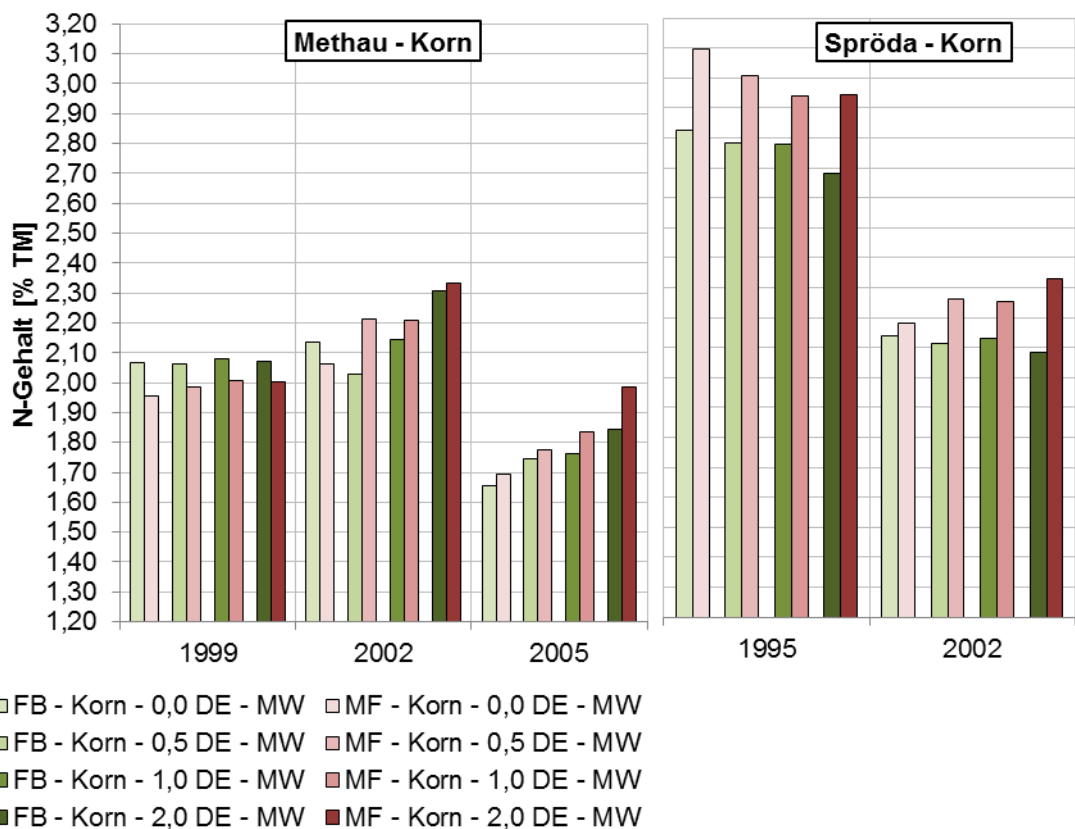


Abbildung 22: N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

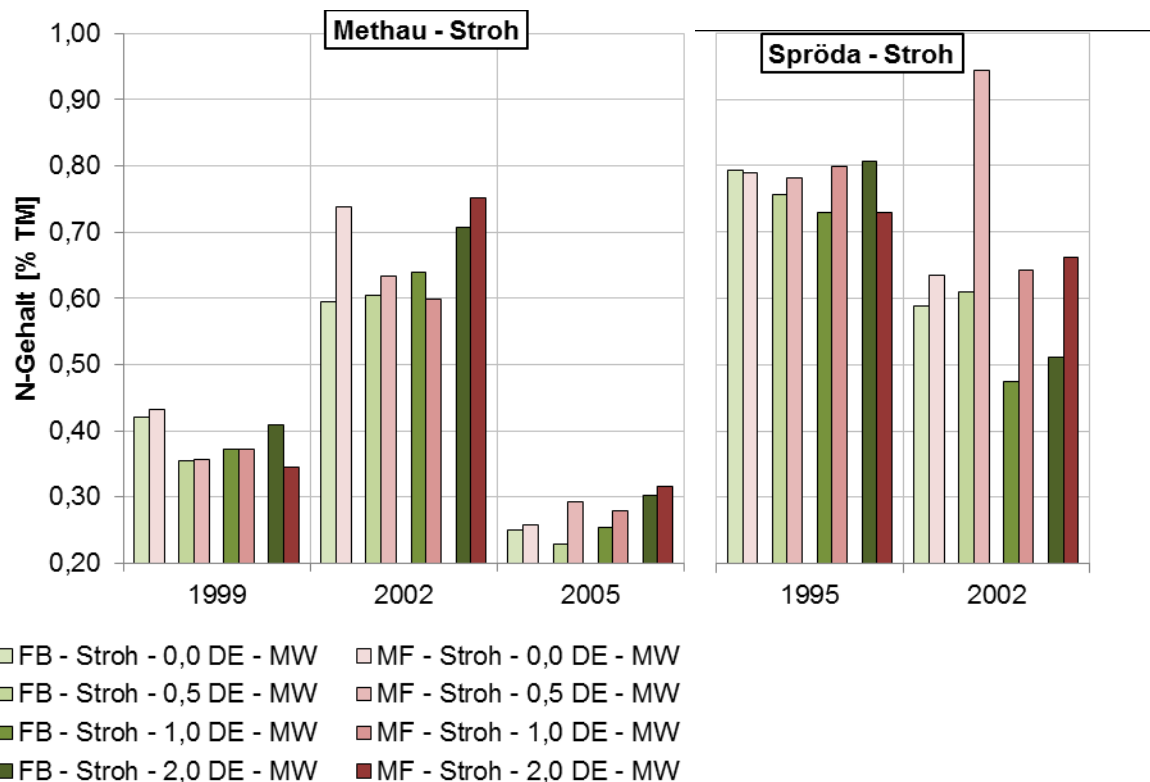


Abbildung 23: N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 85: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Korn									
1,95	1,95	2,0	2,08	2,00	2,48	2,45	2,45	2,38	2,44
Marktfrucht - Korn									
1,90	1,99	2,02	2,11	2,01	2,64	2,63	2,60	2,64	2,63
MW									
1,93	1,97	2,01	2,10	2,01	2,56	2,54	2,53	2,51	2,54

Tabelle 86: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Stroh									
0,42	0,40	0,42	0,47	0,43	0,69	0,68	0,60	0,66	0,66
Marktfrucht – Stroh									
0,48	0,43	0,42	0,47	0,45	0,71	0,86	0,72	0,70	0,75
MW									
0,45	0,42	0,42	0,47	0,44	0,70	0,77	0,66	0,68	0,71

Eine Bewertung der Düngemittelarten kann der Tabelle 87, der Tabelle 88, der Tabelle 89 sowie der Tabelle 90 entnommen werden. Die nicht gedüngten Varianten weisen niedrige, aber nicht immer die niedrigsten N-Gehalte auf. Durch Stallung- und Grüngutzufuhr kommt es zu keiner Veränderung oder nur zu einem geringen Anstieg der Werte. Durch Düngemittelarten, wie der Gülle, die einen höheren Anteil leicht verfügbarer N-Gehalte aufweisen, ist eher mit zunehmenden N-Gehalten zu rechnen. Den höchsten Anstieg der N-Gehalte kann daher durch die wiederholte KAS-Anwendung ermittelt werden. Hierdurch werden fast regelmäßig die höchsten N-Gehalte in Korn und Stroh analysiert.

Tabelle 87: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
1,96	1,99	2,02	2,41	2,49	2,37	2,50	2,55
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
1,91	2,00	2,08	2,45	2,64	2,59	2,67	2,80

Tabelle 88: Mittlerer N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,42	0,43	0,43	0,80	0,69	0,63	0,67	0,86
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,48	0,43	0,44	0,68	0,71	0,71	0,81	0,71

Tabelle 89: N-Gehalt [% TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
1,96	1,93	2,01	2,05	1,96	1,96	1,98	2,10	2,41
Marktfrucht								
	SM				M			
1,70	1,75	1,78	1,87	1,70	1,80	1,89	2,10	2,43

Tabelle 89: (Fortsetzung)

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
2,49	2,42	2,39	2,29	2,49	2,48	2,52	2,49	2,55
Marktfrucht								
	M				G			
2,64	2,59	2,59	2,58	2,64	2,68	2,61	2,70	2,80

Tabelle 90: N-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,42	0,40	0,42	0,46	0,42	0,39	0,42	0,49	0,80
Marktfrucht								
	SM				M			
0,48	0,42	0,43	0,45	0,48	0,30	0,28	0,56	0,68
Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,69	0,62	0,59	0,67	0,69	0,75	0,62	0,65	0,86
Marktfrucht								
	M				G			
0,71	1,01	0,67	0,73	0,71	0,72	0,77	0,67	0,71

Das Ausmaß an Erhöhung ist auch abhängig vom Ausgangsniveau der N-Gehalte ohne Düngungszufuhr. In Spröda, bei hohem N-Gehaltsniveau, führt zusätzliche Düngung daher nur zu einer geringeren weiteren Anhebung der Werte in den untersuchten Pflanzenmaterialien der Getreidearten.

4.2.2.2 Phosphor

Mit fortschreitender Versuchsdauer ist in Methau ein tendenziell zunehmender P-Gehalt im Getreidekorn in beiden Anbausystemen vorzufinden (Abbildung 24). Das Gegenteil ist in Spröda der Fall. Hier nimmt der P-Gehalt ab. Ursache hierfür können auch die unterschiedlichen Fruchtarten der Fruchtfolgen sein. Im

Anbausystem Marktfrucht ist tendenziell an beiden Standorten ein höherer P-Gehalt feststellbar als im FB-System. Die Unterschiede scheinen in Spröda ausgeprägter auch wenn sie hier ebenfalls nur gering sind.

Mit fortschreitender Versuchsdauer geht der P-Gehalt im Getreidestroh an beiden Standorten in den Anbausystemen deutlich zurück (Abbildung 25). Mehrheitlich ist der P-Gehalt im MF-System höher als im FB-System. Einzig im Jahr 1995 am Standort Spröda ist das Verhältnis zwischen den Systemen umgekehrt. Es fällt zusammenfassend auf, dass in Abhängigkeit von den Fruchtarten sowohl im Korn als auch im Stroh nur geringe Unterschiede im P-Gehalt zwischen den Standorten bestehen.

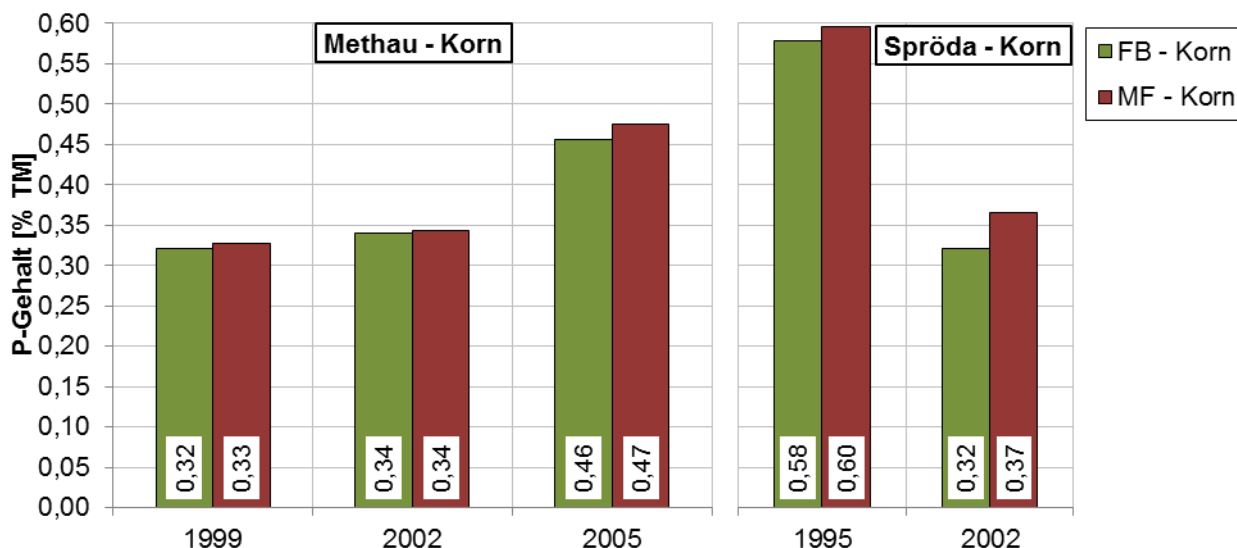


Abbildung 24: P-Gehalt [%TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda

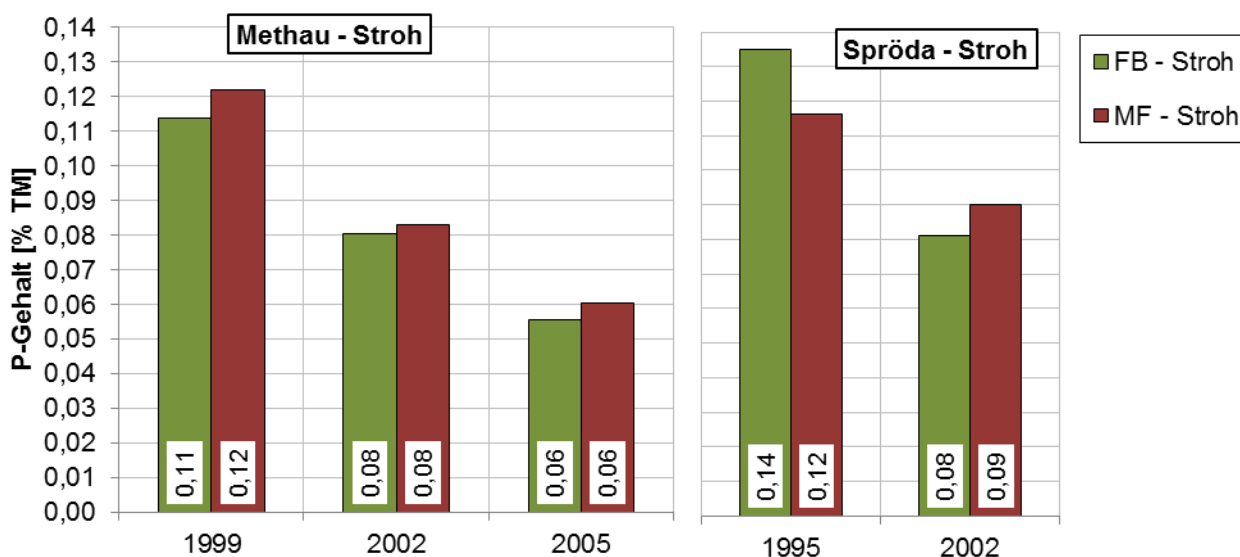


Abbildung 25: P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda

An beiden Standorten ist kaum ein Einfluss der Düngungsintensität auf den P-Gehalt im Getreidekorn und im Stroh feststellbar (Abbildung 26 u. Abbildung 27, Tabelle 91 u. Tabelle 92). Lediglich ungedüngte Varianten weisen etwas niedrigere P-Werte insbesondere in Getreidekörnern auf. In Marktfrucht-Systemen werden in Korn und Stroh in der Tendenz etwas höhere Gehalte analysiert. Von den geprüften Düngemittelarten geht auch bei lange anhaltendem Einsatz kein gezielter Einfluss auf die P-Gehalte in Korn und Stroh der untersuchten Getreidearten aus (Tabelle 93, Tabelle 94, Tabelle 95 u. Tabelle 96).

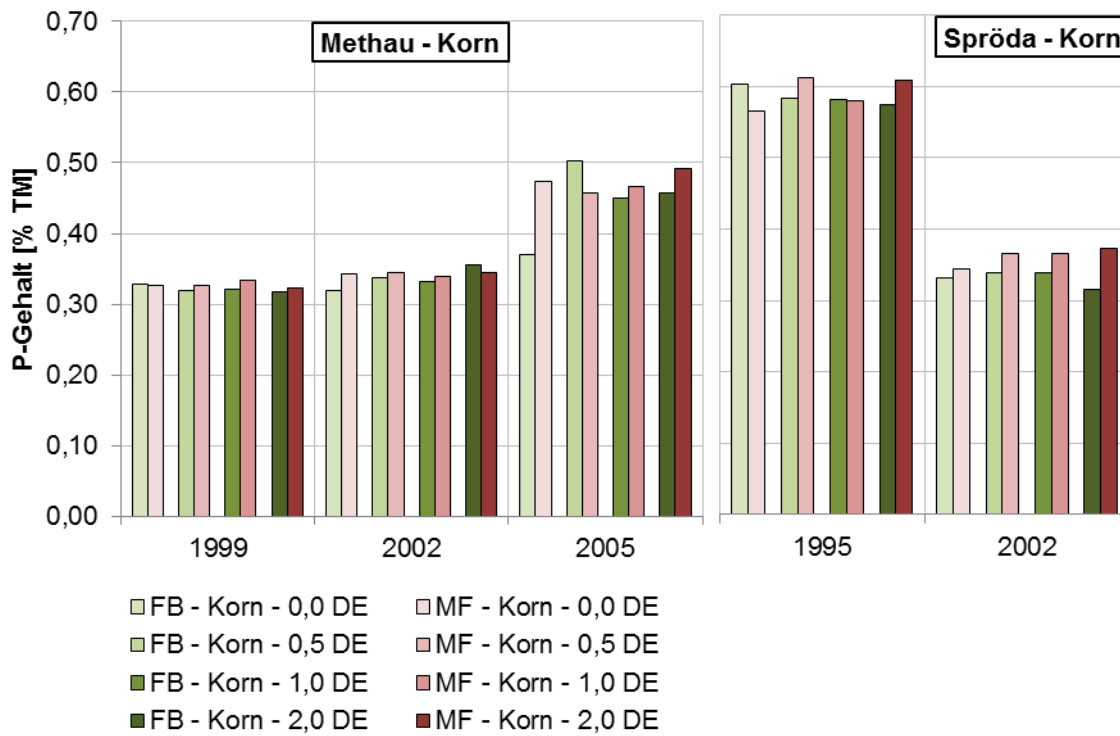


Abbildung 26: P-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

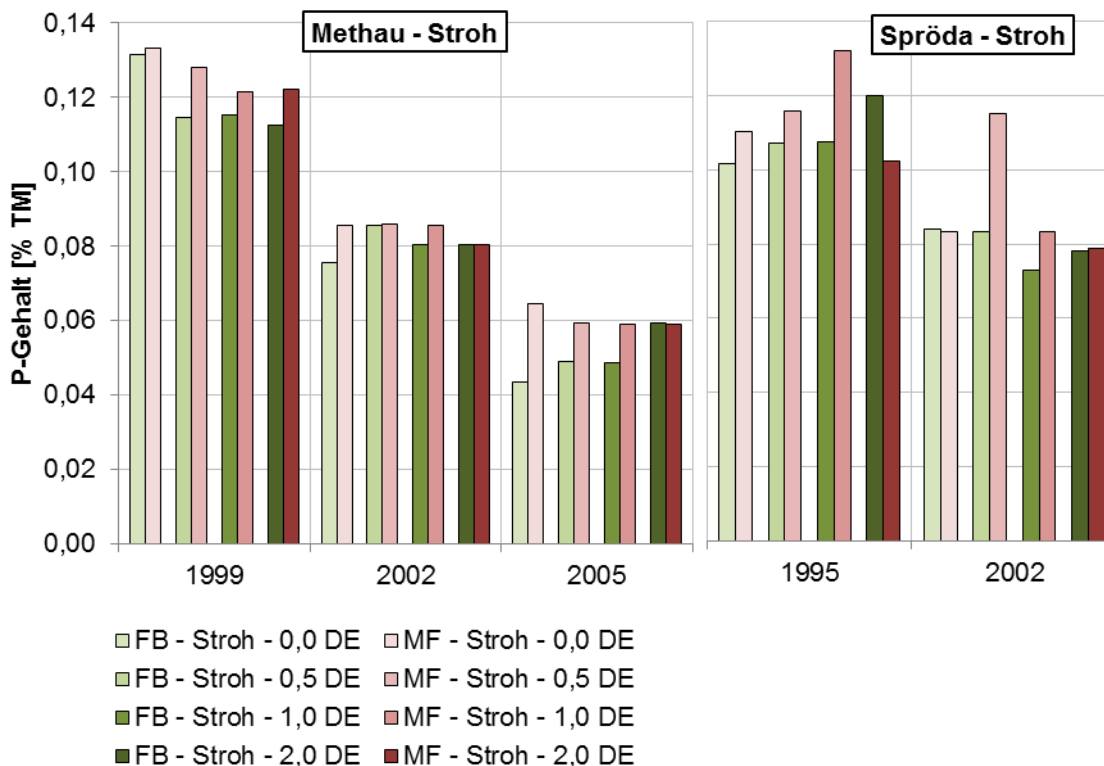


Abbildung 27: P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 91: Mittlerer P-Gehalt [% TM] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Korn									
0,34	0,39	0,37	0,38	0,37	0,47	0,46	0,46	0,44	0,46
Marktfrucht – Korn									
0,38	0,38	0,38	0,39	0,38	0,45	0,49	0,47	0,49	0,48
MW									
0,36	0,39	0,38	0,39	0,38	0,46	0,48	0,47	0,47	0,47

Tabelle 92: Mittlerer P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Stroh									
0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10
Marktfrucht – Stroh									
0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,12	0,11	0,09	0,11
MW									
0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11	0,10	0,10	0,11

Tabelle 93: Mittlerer P-Gehalt [% TM] im Erntegut im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,34	0,38	0,37	0,38	0,47	0,46	0,46	0,40
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,38	0,38	0,38	0,39	0,46	0,48	0,49	0,50

Tabelle 94: Mittlerer P-Gehalt [% TM] im Erntegut im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,09	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10	0,11	0,10

Tabelle 95: P-Gehalt [% TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,34	0,40	0,37	0,37	0,34	0,37	0,36	0,38	0,38
Marktfrucht								
	SM				M			
0,38	0,38	0,37	0,38	0,38	0,44	0,41	0,42	0,39
Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,47	0,47	0,45	0,44	0,47	0,46	0,47	0,45	0,40
Marktfrucht								
	M				G			
0,46	0,47	0,48	0,49	0,46	0,51	0,47	0,50	0,50

Tabelle 96: P-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen an den Standorten Methau und Spröda

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
Marktfrucht								
	SM				M			
0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,05	0,05	0,07	0,08
Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11
Marktfrucht								
	M				G			
0,10	0,13	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,09	0,10

4.2.2.3 Kalium

Durch die hohe Schwankung der Werte in Abhängigkeit von den angebauten Getreidearten ist keine eindeutige Tendenz erkennbar und generell kein Unterschied in Bezug zum K-Gehalt im Getreidekorn und im Stroh feststellbar (Abbildung 28 u. Abbildung 29). Am Standort Methau bestehen auch zwischen den Anbausystemen keine Unterschiede in den K-Gehaltswerten des Pflanzenmaterials. Am Standort Spröda liegen die K-Gehalte in Korn und Stroh im Anbausystem Marktfrucht im Vergleich zum FB-System etwas höher.

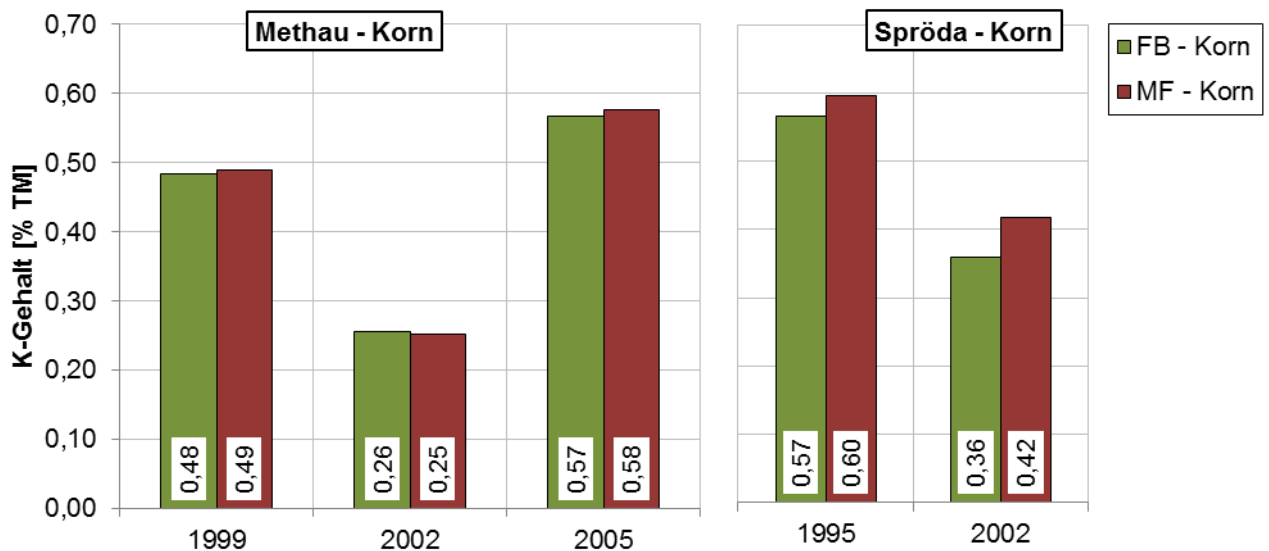


Abbildung 28: K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda

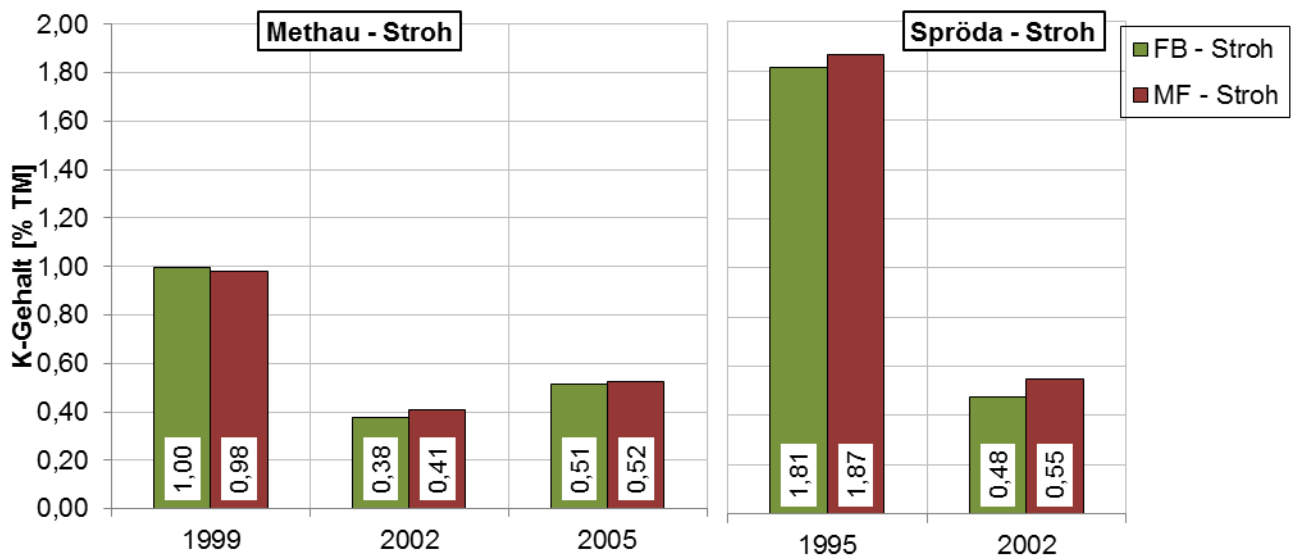


Abbildung 29: K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda

In Methau wird in keinem Anbausystem ein Einfluss der steigenden Düngung auf den K-Gehalt des Getreidekorns erkennbar (Abbildung 30 u. Abbildung 31, Tabelle 97 u. Tabelle 98). Eine leichte Ausdifferenzierung zwischen den Anbausystemen kann vor allem in Spröda festgestellt werden. Das MF-System weist in Korn und Stroh höhere Gehalte als im FB-System auf. Das trifft besonders auf die Standardvarianten ohne Düngung zu. In den gedüngten Varianten sind im Getreidekorn im Durchschnitt etwas höhere K-Gehalte analysiert worden, für das Stroh gilt eher das Gegenteil.

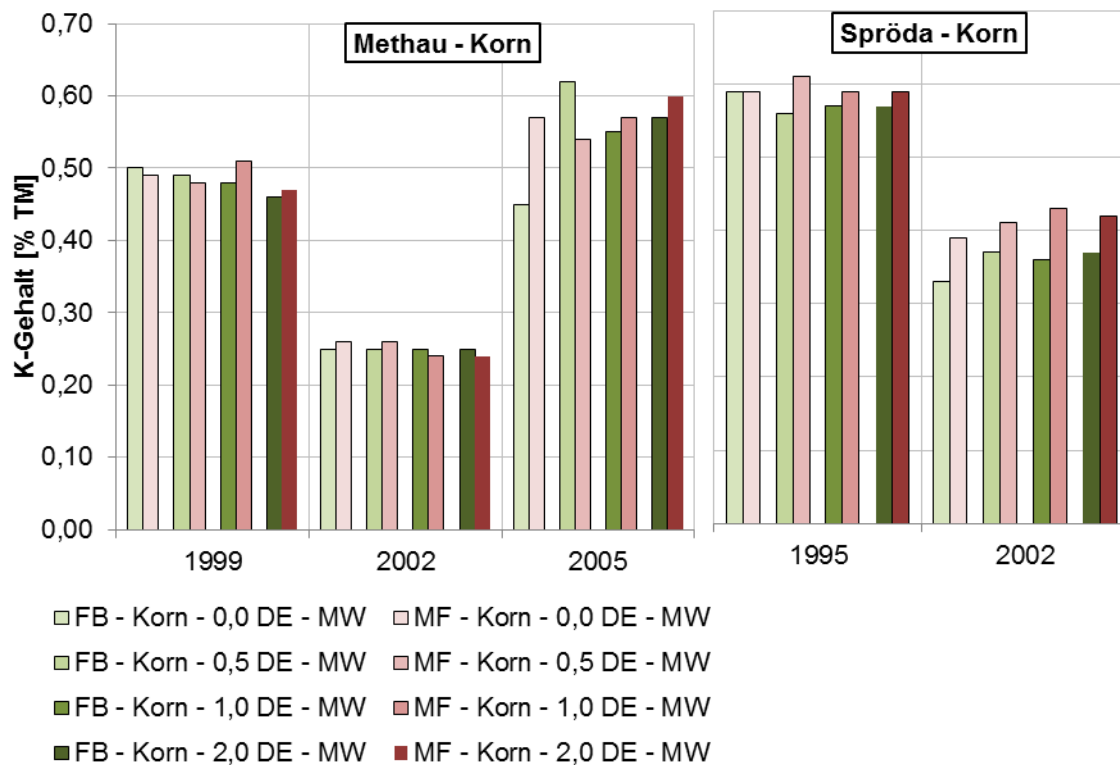


Abbildung 30: K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

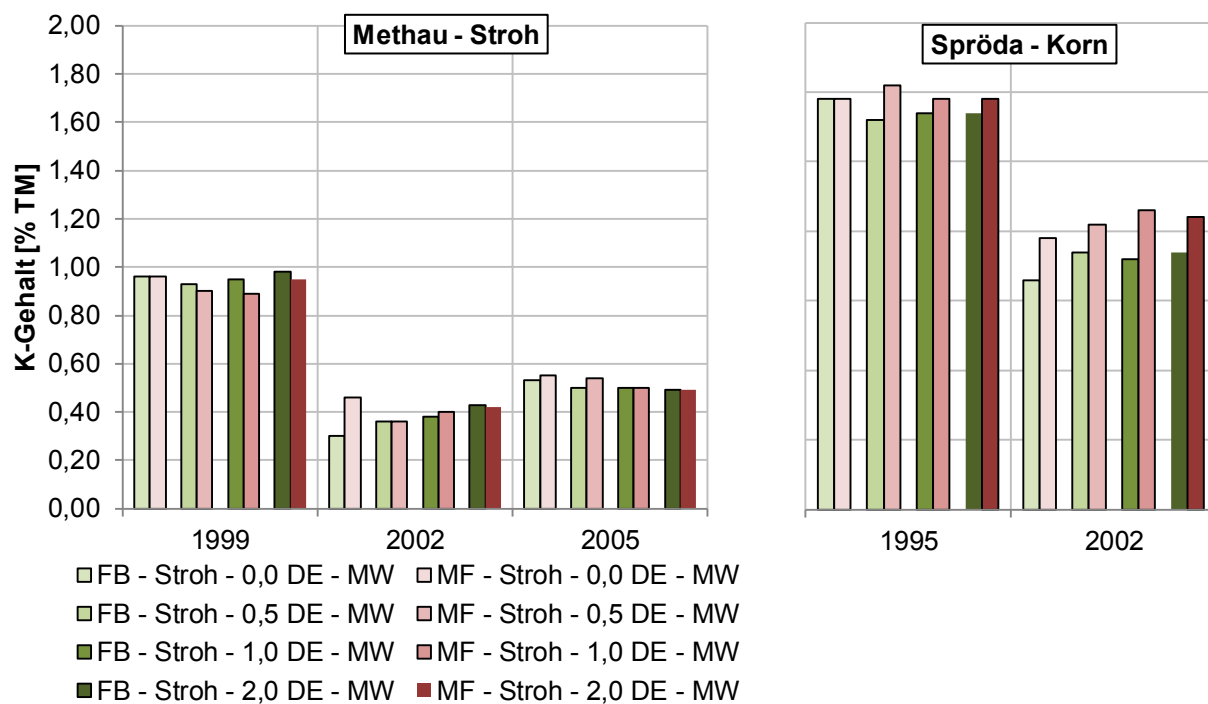


Abbildung 31: K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 97: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Korn									
0,40	0,45	0,43	0,43	0,43	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
Marktfrucht – Korn									
0,44	0,43	0,44	0,44	0,44	0,49	0,51	0,51	0,51	0,51
MW									
0,42	0,44	0,44	0,44	0,44	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49

Tabelle 98: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Stroh									
0,60	0,60	0,61	0,63	0,61	1,19	1,08	1,10	1,18	1,14
Marktfrucht – Stroh									
0,66	0,60	0,60	0,62	0,62	1,24	1,33	1,16	1,15	1,22
MW									
0,63	0,60	0,61	0,63	0,62	1,22	1,21	1,13	1,17	1,18

An beiden Standorten geht offenbar kein gerichteter Einfluss durch die Düngemittel auf die K-Gehalte im Getreidekorn und Stroh aus (Tabelle 99, Tabelle 100, Tabelle 101 u. Tabelle 102). Lediglich die KAS-Varianten weisen mehrheitlich etwas erhöhte K-Gehalte auf. Auch durch lang anhaltende unterschiedliche Düngung wurden die K-Gehalte im Getreide kaum beeinflusst.

Tabelle 99: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngertypen an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,40	0,45	0,42	0,47	0,46	0,47	0,46	0,44
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,44	0,42	0,44	0,47	0,49	0,51	0,51	0,53

Tabelle 100: Mittlerer K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,60	0,60	0,63	0,75	1,19	1,15	1,09	1,28
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,66	0,60	0,61	0,82	1,24	1,18	1,24	1,17

Tabelle 101: K-Gehalt [%TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,40	0,48	0,44	0,43	0,40	0,43	0,42	0,42	0,47
Marktfrucht								
	SM				M			
0,44	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,44	0,47
Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,46	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,46	0,48	0,44
Marktfrucht								
	M				G			
0,49	0,48	0,53	0,51	0,49	0,54	0,49	0,51	0,53

Tabelle 102: K-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen an den Standorten Methau und Spröda

Methau									
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	
Futterbau									
	SM				G				
0,60	0,55	0,62	0,63	0,60	0,64	0,60	0,63	0,75	
Marktfrucht									
	SM				M				
0,66	0,60	0,59	0,60	0,66	0,59	0,60	0,64	0,82	
Spröda									
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	
Futterbau									
	SM				G				
1,19	1,12	1,12	1,22	1,19	1,04	1,08	1,14	1,28	
Marktfrucht									
	M				G				
1,24	1,12	1,27	1,16	1,24	(1,54)	1,06	1,13	1,17	

4.2.2.4 Magnesium

Unter Beachtung der angebauten Fruchtarten ist an beiden Standorten in den Anbausystemen über die Versuchsjahre hinweg keine gerichtete Entwicklung des Mg-Gehalts im Getreidekorn und im Stroh zu erkennen (Abbildung 32 u. Abbildung 33).

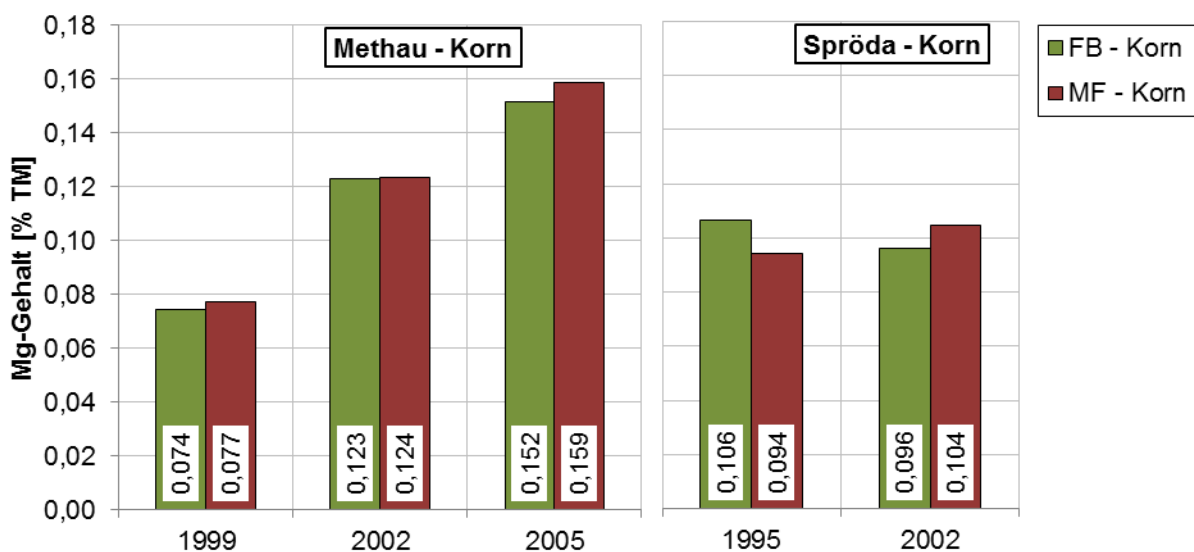


Abbildung 32: Mg-Gehalt [% TM] im Getreidekorn an den Standorten Methau und Spröda

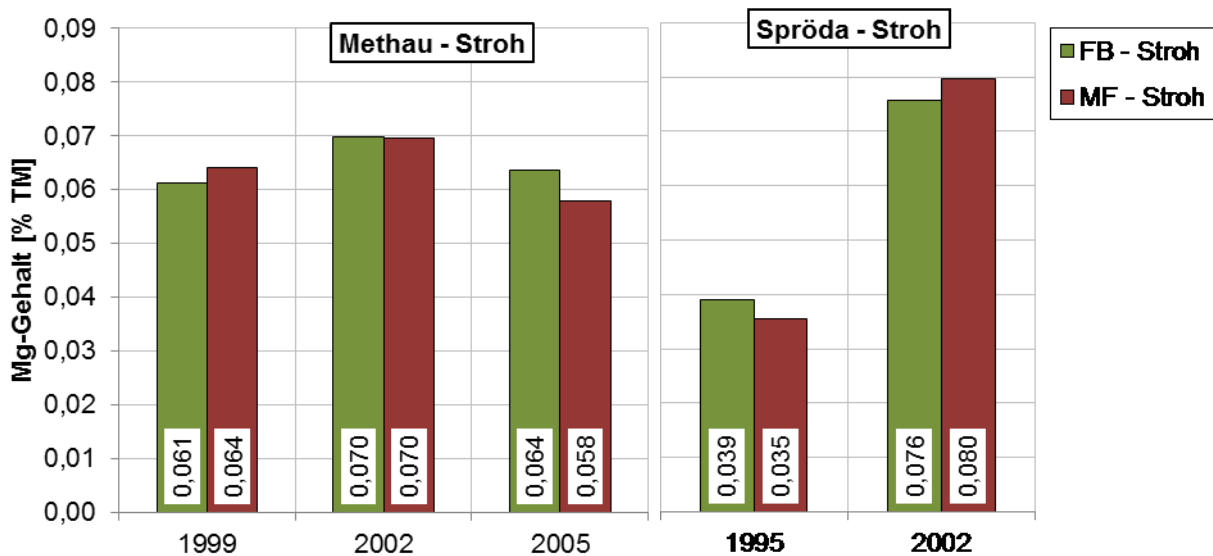


Abbildung 33: Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh an den Standorten Methau und Spröda

An beiden Standorten ist in den Anbausystemen kein genereller Einfluss der Düngungsintensität auf den Mg-Gehalt im Getreidekorn ersichtlich (Tabelle 103 u. Tabelle 104). Eine geringe Düngung führt offenbar zu einem Anstieg der Gehalte. Von 0,5 DE bis 2,0 DE/ha kam es dann in der Tendenz zu einem beständigen Rückgang der Mg-Werte im Korn. Am Ort Methau liegen die Mg-Gehalte im MF-System über denen des FB-Systems. In Spröda ist eher ein gegenläufiger Trend zu erkennen. Der Mg-Gehalt im Getreidestroh fällt in Methau in Folge der Düngung etwas ab, in Spröda nehmen die Werte etwas zu. Insgesamt ist an beiden Standorten und Anbausystemen kaum ein Einfluss der Düngungsintensität erkennbar. Ebenso ist keine eindeutig gerichtete dauerhafte Ausdifferenzierung zwischen den Anbausystemen auszumachen.

Tabelle 103: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Korn									
0,103	0,124	0,115	0,117	0,115	0,104	0,108	0,101	0,099	0,103
Marktfrucht – Korn									
0,122	0,118	0,118	0,121	0,120	0,097	0,103	0,102	0,099	0,100
MW									
0,113	0,121	0,117	0,119	0,118	0,101	0,106	0,102	0,099	0,102

Tabelle 104: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Stroh									
0,071	0,066	0,064	0,062	0,066	0,054	0,054	0,053	0,062	0,056
Marktfrucht – Stroh									
0,066	0,068	0,064	0,064	0,065	0,049	0,068	0,061	0,054	0,058
MW									
0,070	0,067	0,064	0,063	0,066	0,052	0,061	0,057	0,058	0,057

An beiden Standorten ist in Bezug auf den Mg-Gehalt im Getreidekorn und im Stroh keine Ausdifferenzierung zwischen den applizierten Düngerarten zu erkennen (Tabelle 105, Tabelle 106, Tabelle 107 u. Tabelle 108).

Tabelle 105: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,103	0,121	0,116	0,117	0,104	0,105	0,101	0,092
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,122	0,120	0,118	0,122	0,097	0,098	0,104	0,094

Tabelle 106: Mittlerer Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,071	0,068	0,059	0,067	0,054	0,057	0,055	0,070
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,066	0,066	0,064	0,055	0,049	0,056	0,065	0,051

Tabelle 107: Mg-Gehalt [%TM] im Getreidekorn im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen an den Standorten Methau und Spröda

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,103	0,128	0,117	0,117	0,103	0,119	0,113	0,117	0,117
Marktfrucht								
	SM				M			
0,122	0,122	0,117	0,120	0,122	0,114	0,119	0,122	0,122
Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,104	0,110	0,108	0,095	0,104	0,106	0,094	0,104	0,092
Marktfrucht								
	M				G			
0,097	0,093	0,098	0,104	0,097	0,112	0,105	0,094	0,094

Tabelle 108: Mg-Gehalt [% TM] im Getreidestroh im Mittel der Anbaujahre unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den Anbausystemen der Standorte Methau und Spröda

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,071	0,069	0,070	0,066	0,071	0,062	0,058	0,058	0,066
Marktfrucht								
	SM				M			
0,066	0,070	0,065	0,063	0,066	0,066	0,062	0,064	0,055
Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
0,054	0,052	0,053	0,067	0,054	0,056	0,053	0,056	0,070
Marktfrucht								
	M				G			
0,049	0,062	0,060	0,047	0,049	0,073	0,062	0,060	0,051

4.2.2.5 Sonstige

Fallzahl in Weizen

Die Fallzahl als Anzeiger der Backqualität und wichtiges Vermarktungskriterium, wird mittels eines speziellen Messgerätes (Rührviskosimeter) ermittelt. Die Fallzahl kann zwischen 62 und 500 Sekunden schwanken und hat eine hohe Preisrelevanz. Die ermittelten Werte im Getreidekorn lagen, wie die Tabelle 109 und die Tabelle 110 zeigen, am Standort Methau im FB-System etwas höher als im MF-System. In Spröda wurden etwas höhere Werte ermittelt als am Ort Methau. In der Tendenz sind die Fallzahlen mit steigender Düngung etwas abgefallen.

Tabelle 109: Mittlere Fallzahlen [s] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Korn									
299,1	305,6	297,9	292,8	298,9	351,8	347,7	337,1	315,7	338,1
Marktfrucht – Korn									
289,1	287,7	292,3	289,4	289,6	351,3	336,3	346,8	332,9	341,8
MW									
294,1	296,7	295,1	291,1	294,3	351,6	342,0	342,0	324,3	340,0

Tabelle 110: Mittlere Fallzahlen [s] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngertypen an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
299,1	304,3	291,8	-	351,8	335,8	334,5	-
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
289,1	290,9	289,5	-	351,3	344,3	334,0	-

Teige aus Mehlen mit Fallzahlen zwischen 150 und 230 Sekunden sind nach ZENTGRAF et al. (2006) und WELLIE-STEPHAN (2011) meistens feucht, triebstark und neigen zu einem mangelhaften Ausbund. Eine geringe Fallzahl zeigt eine hohe Amylaseaktivität und starke Auswuchsschädigung auf. In den Versuchen liegen die Fallzahlen der Anbaujahre 1997 und 1999 zwischen 290 - 350 Sekunden und können damit nach ZENTGRAF et al. (2006) bereits eine etwas zu schwache enzymatische Tätigkeit anzeigen. Optimal ist der Bereich zwischen 250 und 330 Sekunden, womit eine normale Enzymtätigkeit und gute Gebäckigenschaften erwartet werden können.

Sedimentationswert in Weizen

Mit dem Sedimentationswert kann die Eiweißqualität ermittelt und die Backfähigkeit beurteilt werden. ZENTGRAF et al. (2006) geben an, dass mit Sedimentations-Werten ab 30 ml gute Gebäckqualitäten erzielt werden können, wohingegen ein Mehl mit einem Wert unter 20 aufgrund sehr geringer Teigausbeuten nicht zum Backen verwendet werden sollte. Diesen Optimalbereich erreichte das Getreide im Anbaujahr 2002 in beiden Systemen des Standorts Methau sowie in allen Anbaujahren in Spröda (Tabelle 111). Der Anbauort Spröda war zudem durch deutlich höhere Werte gekennzeichnet.

In Methau schwanken die Sedimentations-Werte nur gering zwischen den Systemen und liegen im Mittel im FB-System zwischen 23 und 27 ml sowie zwischen 23 und 37 ml im MF-System. Zwischen den Anbausystemen gibt es kaum Unterschiede. Mit steigender Düngung nehmen die Sedimentations-Werte an beiden Orten zu. Insgesamt erfolgt nach stetiger Düngung mit Stalldung nur eine geringe Anhebung, es folgen die Grüngutvarianten und die Düngung mit Gülle. Nach KAS-Zufuhr können jeweils an beiden Orten die Sedimentationswerte deutlich angehoben werden (Tabelle 112).

Tabelle 111: Mittlere Sedimentationswerte [ml] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Korn									
23,0	24,5	24,7	26,9	24,8	37,3	38,5	47,2	49,5	43,1
Marktfrucht – Korn									
22,7	23,4	24,0	24,5	23,7	39,0	40,0	49,9	50,3	44,8
MW									
22,9	24,0	24,4	25,7	24,3	38,2	39,3	48,6	49,9	44,0

Tabelle 112: Mittlere Sedimentationswerte [ml] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
23,0	23,8	26,9	39,8	37,3	43,4	46,8	(65,0)
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
22,7	22,7	25,2	41,7	39,0	45,3	48,2	(67,0)

Rohprotein in Weizen

Als wichtiges Merkmal zur Beurteilung gilt auch der Gehalt an Rohprotein. Die erhaltenen Werte aus zwei Anbaujahren in Methau (1999: S.-Weizen, 2002: W.-Weizen) und Spröda (1995: S.-Weizen, 2002: W.-Weizen) können dokumentiert werden (Abbildung 34). In Methau weisen die MF-Varianten niedrigere, in Spröda ebenso höhere Gehalte an Rohprotein als jeweils in den FB-Varianten auf. Mit steigender organischer Düngung ist nur bei sehr hoher Zufuhr mit einer leichten Zunahme der Werte zu rechnen. Eine niedrige

Düngung hat oft sogar einen geringen Abfall im Vergleich zu keiner Düngung an beiden Orten zur Folge. KAS-Düngung führt dagegen zu einer deutlichen Zunahme der Gehalte an Rohprotein in Weizenkörnern. Von den organischen Düngemitteln folgt mit deutlichem Abstand eine Gülledüngung, während stetige Stallung- und Grüngutzufuhr die geringsten Auswirkungen auf die Gehalte an Rohprotein aufweisen (Tabelle 113).

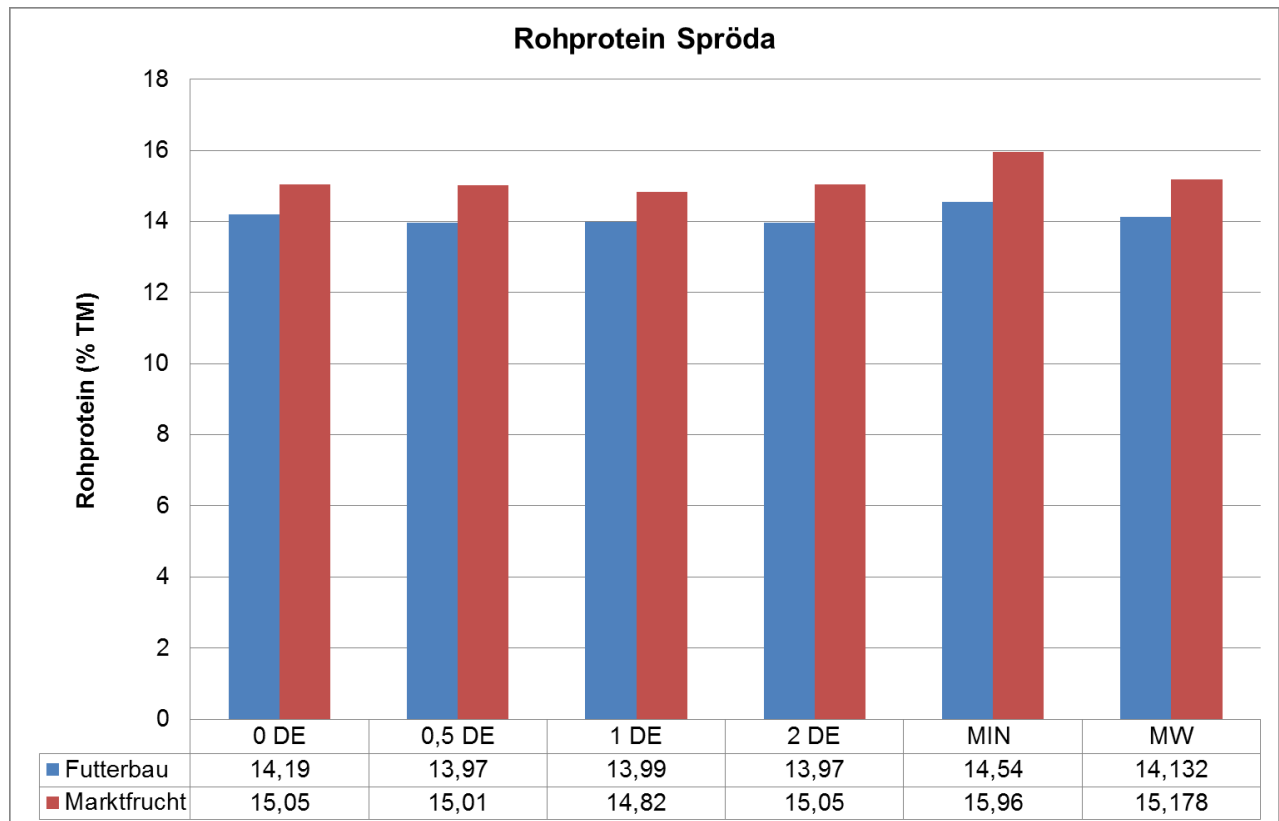
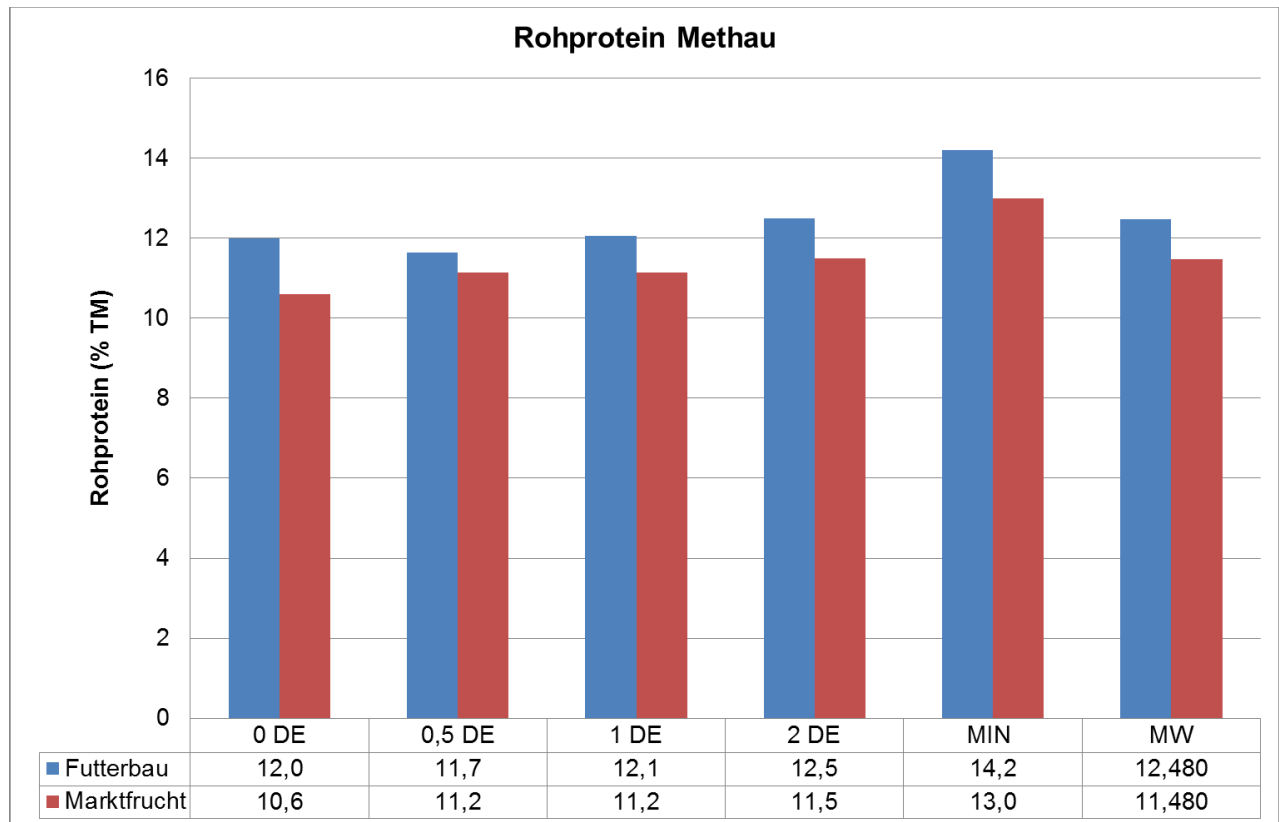


Abbildung 34: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] im S.- und W.-Weizenkorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten)

Tabelle 113: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] im S.- und W.-Weizenkorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
12,0	11,9	12,2	14,2	14,2	13,7	14,3	14,5
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
10,6	11,1	11,4	13,0	15,1	14,7	15,2	16,0

Tausendkornmasse (TKM) in Weizen und Triticale

Am Versuchsort Methau (W.-Weizen, Triticale) und Spröda (W.-Weizen) wurden die TKM-Werte in der zweiten Hälfte der Versuchszeit ermittelt. In der Tendenz waren auf den MF-Varianten geringfügig niedrigere Werte festzustellen (Tabelle 114 u. Tabelle 115). An den Versuchsorten waren unterschiedliche Entwicklungen der TKM in Folge der Düngeranwendung eingetreten. Am Ort Methau fielen die TKM-Werte nach steigender Düngung ab, in Spröda nahmen sie zu. KAS-Zufuhr hatte in Methau die niedrigsten Werte zur Folge, in Spröda lagen die TKM-Werte im Vergleich zu keiner Düngung dagegen relativ hoch.

Tabelle 114: Mittlere TKM-Werte [g] im Getreidekorn aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Korn									
42,59	42,21	41,83	42,34	42,24	33,73	35,68	36,55	35,94	35,48
Marktfrucht – Korn									
43,64	42,56	41,66	40,74	42,15	33,25	35,40	34,89	35,55	34,77
MW									
43,12	42,39	41,75	41,54	42,20	33,49	35,54	35,72	35,75	35,12

Tabelle 115: Mittlere TKM-Werte [g] im Getreidekorn unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
42,59	42,00	42,26	35,69	33,73	36,33	35,78	35,45
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
43,64	42,66	40,65	35,80	33,25	34,11	36,45	37,30

Wuchshöhe

Am Ort Methau sind Messungen der Wuchshöhe von S.-Weizen, W.-Weizen und Triticale erstellt worden, von Spröda liegen nur Werte aus einem Jahr vor. Die Wuchshöhe des Getreides ist am Ort Methau in Folge steigender organischer Düngung etwas angestiegen. Die KAS-Düngung führte jeweils zu den längsten Halmlängen. Zwischen den Anbausystemen gibt es kein unterschiedliches Wachstumsverhalten (Abbildung 35, Tabelle 116). Das Längenwachstum des Getreides könnte Einfluss auf die Lagerungsanfälligkeit ausgeübt haben (siehe weiter unten).

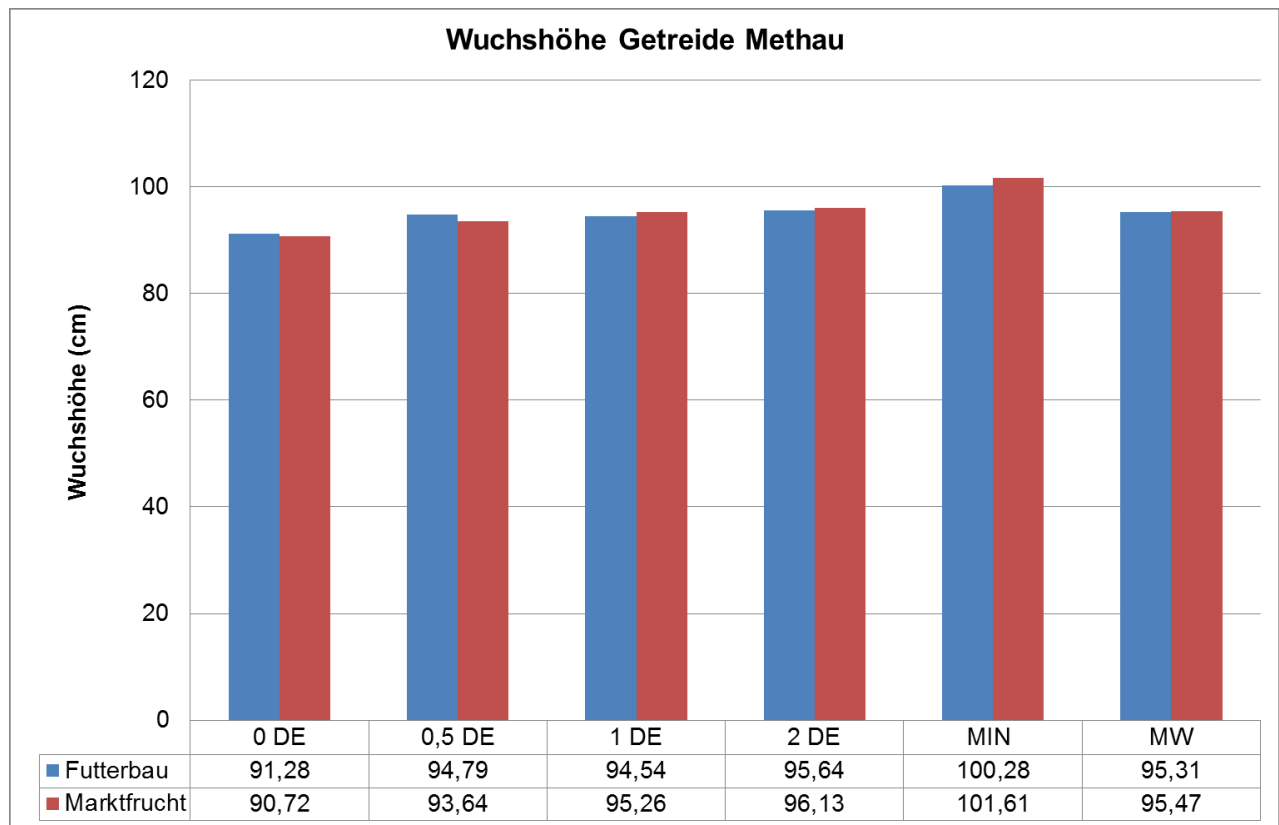


Abbildung 35: Wuchshöhe [cm] von Weizen und Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen in Methau

Tabelle 116: Mittlere Wuchshöhe [cm] von Getreide unter Berücksichtigung der applizierten Düngertypen an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
91,3	94,8	95,2	100,3	106,0	103,3	108,7	110,0
Marktfucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
90,7	94,6	95,5	101,6	110,0	105,7	107,7	106,0

Mehltau- und Lagerbonitur

Die Vitalität und Krankheitsanfälligkeit der Getreidebestände ist nicht jedes Anbaujahr bewertet worden. Von den vorliegenden Ergebnissen lassen sich aber Anzeichen für eine deutliche Veränderung bestimmter Merkmale durch die Anbausysteme und vor allen Dingen durch die Düngung ableiten. Am Beispiel des Mehлтаubefalls von Triticale am Ende der Versuche in Methau kann aufgezeigt werden, dass der Befall mit zunehmender organischer Düngung deutlich ansteigt (Abbildung 36, Tabelle 117). Das trifft in stärkerem Maße in Folge einer Gülle- oder Grüngutdüngung zu, während nach dauerhafter Zufuhr von Stallung eine geringere Zunahme ermittelt worden ist. Der stärkste Anstieg erfolgte aber jeweils nach Anwendung von mineralischer N-Düngung.

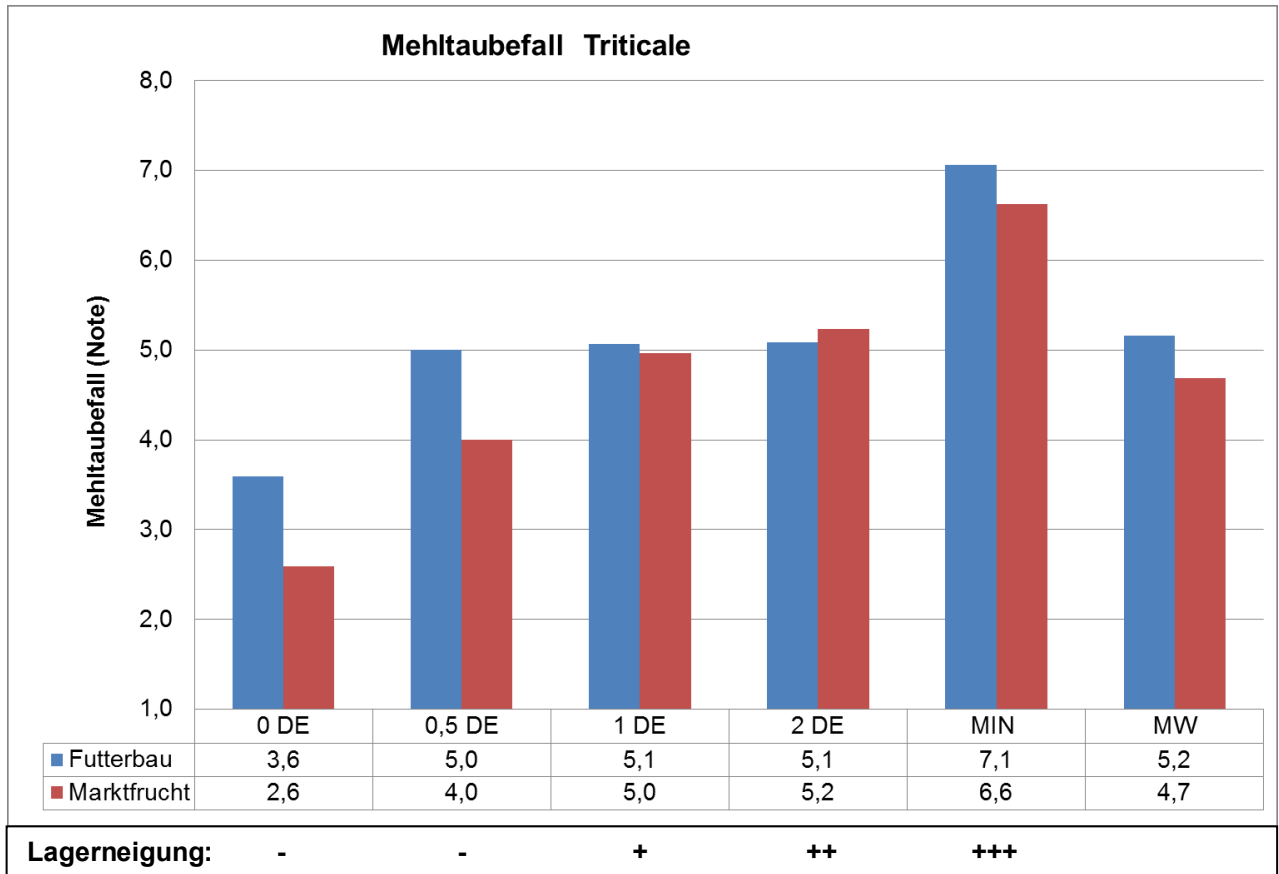


Abbildung 36: Mehлтаubefall [Note, 1 = kein Befall] von Triticale sowie Lagerneigung von Getreide allgemein (Note: - kein, + schwach, +++ starkes, wiederholtes Lager) unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen in Methau

Tabelle 117: Mehлтаubefall [Note, 1 = kein Befall] von Triticale unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in Methau

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
3,6	5,0	5,1	7,1	-	-	-	-
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
2,6	4,0	5,4	6,6	-	-	-	-

4.2.3 Qualitätsparameter zur Beschreibung von Körner- und Silomais

Am Versuchsort Methau konnten die Ernten der Futterbau-Varianten von Silomais (1998, 2003) und der Marktfrucht-Varianten von Körnermais (2003) für die Darstellung der Inhaltsstoffe verwendet werden. Am Ort Spröda fiel das Pflanzenmaterial des Versuchsjahres wegen extremer Trockenheit aus, daher wurden die Mittelwerte für die Inhaltsstoffe zum Futterbau zu Silomais aus dem Jahr 1999 und für die Marktfrucht-Varianten zu Körnermais aus 1996 und 1999 herangezogen.

4.2.3.1 Stickstoff

Am Standort Methau ist in beiden Anbausystemen mit zunehmender Düngungsintensität ein steigender N-Gehalt zu verzeichnen. Im Körner- und Silomais geht auch am Ort Spröda mit steigender Düngung ein ansteigender N-Gehalt einher (Tabelle 118). Im Vergleich zu keiner Düngung sind die N-Gehalte in dem Pflanzenmaterial durch die gewählten Düngemittel unterschiedlich stark angestiegen (Tabelle 119). In der Regel führt Stallung und Grüngut zu einem geringeren Anstieg der N-Gehalte als durch stetige Gülle- und KAS-Zufuhr. Die höchsten N-Werte können durch die mineralische N-Düngung erzielt werden.

Tabelle 118: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Silomais									
1,03	1,03	1,09	1,12	1,07	0,99	1,02	1,08	1,11	1,05
Marktfrucht – Körnermais									
1,44	1,46	1,44	1,49	1,46	1,47	1,55	1,58	1,62	1,56

Tabelle 119: Mittlere N-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau - Silomais							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
1,03	1,08	1,09	1,18	0,99	1,06	1,09	1,32
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
1,44	1,46	1,47	1,53	1,47	1,60	1,57	1,79

4.2.3.2 Phosphor

Auch die P-Gehalte im Körner- und Silomais können etwas durch die organischen Düngemittel angehoben werden (Tabelle 120 u. Tabelle 121). Das Ausmaß des Anstiegs ist nach stetiger Zufuhr von Stallung und Grüngut etwas deutlicher als durch Güllezufuhr. Durch KAS-Düngung kann darüber hinaus teilweise auch ein Abfall der P-Gehalte bewirkt werden.

Tabelle 120: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Silomais									
0,23	0,24	0,24	0,25	0,24	0,20	0,22	0,22	0,22	0,22
Marktfrucht – Körnermais									
0,40	0,43	0,43	0,41	0,42	0,41	0,44	0,46	0,46	0,44

Tabelle 121: Mittlere P-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau - Silomais							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,23	0,25	0,23	0,22	0,20	0,23	0,22	0,20
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,40	0,42	0,42	0,34	0,41	0,45	0,45	0,45

4.2.3.3 Kalium

Der K-Gehalt der Ganzpflanzen ist generell im MF-System höher als im FB-System (ohne Darstellung). Mit steigender Düngung erfolgt ein z.T. ausgeprägter Anstieg der K-Gehalte im Silomais. Im Körnermais können hingegen die K-Werte nur am Ort Spröda etwas angehoben werden. Die positive Wirkung auf die K-Gehalte gelingt am besten durch Stalldung- und Grüngutzufuhr, etwas auch durch Gülle, während der Einfluss der KAS-Zufuhr verhältnismäßig gering ist. Es kann sogar zu einem Abfall der K-Gehalte im Körner- und Silomais kommen (Tabelle 122 u. Tabelle 123).

Tabelle 122: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Silomais									
0,98	1,00	1,05	1,13	1,04	1,64	1,80	1,90	1,98	1,83
Marktfrucht – Körnermais									
0,46	0,44	0,46	0,44	0,45	0,42	0,43	0,45	0,45	0,44

Tabelle 123: Mittlere K-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau - Silomais							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,98	1,08	1,03	1,02	1,64	1,94	1,85	1,51
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,46	0,45	0,44	0,40	0,42	0,45	0,44	0,44

4.2.3.4 Magnesium

Die Mg-Gehalte der Anbausysteme weichen nur geringfügig voneinander ab, so dass keine gesicherten Aussagen möglich sind. In abgeschwächter Form kann durch Düngung ein leichter Anstieg der Mg-Werte erfolgen, offenbar eher am Ort Spröda als in Methau. Hier führt KAS-Anwendung ebenfalls zu einem geringen Anstieg im Körner- und Silomais. Am Ort Methau sind dagegen kaum Wirkungen durch die Düngemittel zu erkennen (Tabelle 124 u. Tabelle 125).

Tabelle 124: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _m	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _s
Futterbau – Silomais									
0,17	0,17	0,15	0,16	0,16	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12
Marktfrucht – Körnermais									
0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,21	0,22	0,22	0,21

Tabelle 125: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau - Silomais							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,17	0,16	0,16	0,16	0,11	0,12	0,12	0,14
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,22	0,21	0,23

4.2.3.5 Sonstige

Rohfaser

Neben den größeren Unterschieden zwischen den Versuchsorten und dem Verwendungszweck als Körner- oder Silomais liegen die ermittelten Werte der Gehalte an Rohfaser in Abhängigkeit von den anderen Einflussfaktoren relativ dicht beieinander (Tabelle 126 u. Tabelle 127). Durch die ausgewiesene Düngung nehmen die Werte in Methau eher etwas zu, während sie in Spröda eher etwas abnehmen. Am geringsten verändern sich die Gehalte durch Stallung, am meisten durch die KAS-Düngung. In Methau erfolgt durch die mineralische N-Zufuhr in der Tendenz eine Anhebung, in Spröda werden die niedrigsten Gehalte an Rohfaser ermittelt.

Tabelle 126: Mittlere Gehalte an Rohfaser [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Silomais									
18,14	18,05	18,31	18,02	18,13	24,94	24,17	23,67	24,08	24,22
Marktfrucht – Körnermais									
3,69	3,99	3,90	3,98	3,89	4,47	4,42	4,37	4,31	4,39

Tabelle 127: Mittlere Gehalte an Rohfaser [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau - Silomais							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
18,14	17,96	18,29	19,29	24,94	23,93	24,02	22,46
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
3,69	3,87	4,05	3,98	4,47	4,33	4,40	4,35

Stärke

Die Gehalte an Stärke verändern sich im Körner- und Silomais nur geringfügig durch die ausgewiesene Düngung (Tabelle 128 u. Tabelle 129). In Methau besteht eine Tendenz zu einer uneinheitlichen Entwicklung, in Spröda nehmen die Gehalte in Folge ansteigendem Düngungsniveau im Silomais etwas zu und im Körnermais etwas ab. Durch Stallung werden etwas höhere und durch KAS-Düngung in der Tendenz verhältnismäßig niedrige Gehalte an Stärke im Körner- und Silomais ermittelt.

Tabelle 128: Mittlere Gehalte an Stärke [% TM] im Körner- und Silomais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau – Silomais									
36,94	36,73	37,30	36,77	36,94	23,23	24,15	24,56	25,24	24,30
Marktfrucht – Körnermais									
73,38	73,36	73,08	73,14	73,24	71,90	71,36	70,66	70,26	71,05

Tabelle 129: Mittlere Gehalte an Stärke [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau - Silomais							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
36,94	37,86	36,01	35,25	23,23	24,71	24,59	23,31
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
73,38	73,26	73,12	73,42	71,90	70,32	71,21	70,98

Rohfett

Die Gehalte an Rohfett wurden nur in Maiskörnern ermittelt. Ähnlich den Ortsunterschieden sind die Werte z.T. deutlich von der Düngung abhängig (Tabelle 130 u. Tabelle 131). Am Ort Methau, bei relativ niedrigem Ausgangsniveau, nahmen die Gehalte an Rohfett nach geringer Düngung deutlich zu, bei hohem Niveau dann aber wieder etwas ab. In Spröda bei höherem Ausgangswerten nahmen die Gehalte im Körnermais in Folge steigender Düngung zu. Im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung konnten die Werte durch organische und mineralische Düngung angehoben werden.

Tabelle 130: Mittlere Gehalte an Rohfett [% TM] im Körnermais aller Anbaujahre unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Marktfrucht – Körnermais									
2,42	3,75	3,59	3,04	3,20	4,51	4,73	5,12	5,26	4,91

Tabelle 131: Mittlere Gehalte an Rohfett [% TM] im Körnermais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
2,42	3,09	3,84	3,59	4,51	5,19	4,87	4,81

Rohprotein und weitere Merkmale

Die Gehalte an Rohprotein konnten durch die Anbau- und Düngungsregime z.T. deutlich verändert werden. Die Abbildung 37 zeigt diese Zusammenhänge am Beispiel der Maiskörner an den Orten Methau und Spröda. Auf dem trockenen Sandboden in Spröda wurden insgesamt die höchsten Gehalte analysiert. Durch die steigende organische Düngung erfolgte zwar eine systematische Anhebung der Gehalte, deren Ausmaß aber nicht besonders groß ist. Nur durch Anwendung von KAS können die Gehalte an Rohprotein im Körnermais deutlich angehoben werden. Auch durch langfristige Anwendung konnte durch die Stalldungzufuhr nur eine geringe Anhebung der Gehalte erzielt werden. Durch stetige Grüngut- und Gülleapplikation erfolgte eine mittlere und durch KAS-Düngung eine deutliche Anhebung der Gehalte an Rohprotein (Tabelle 132).

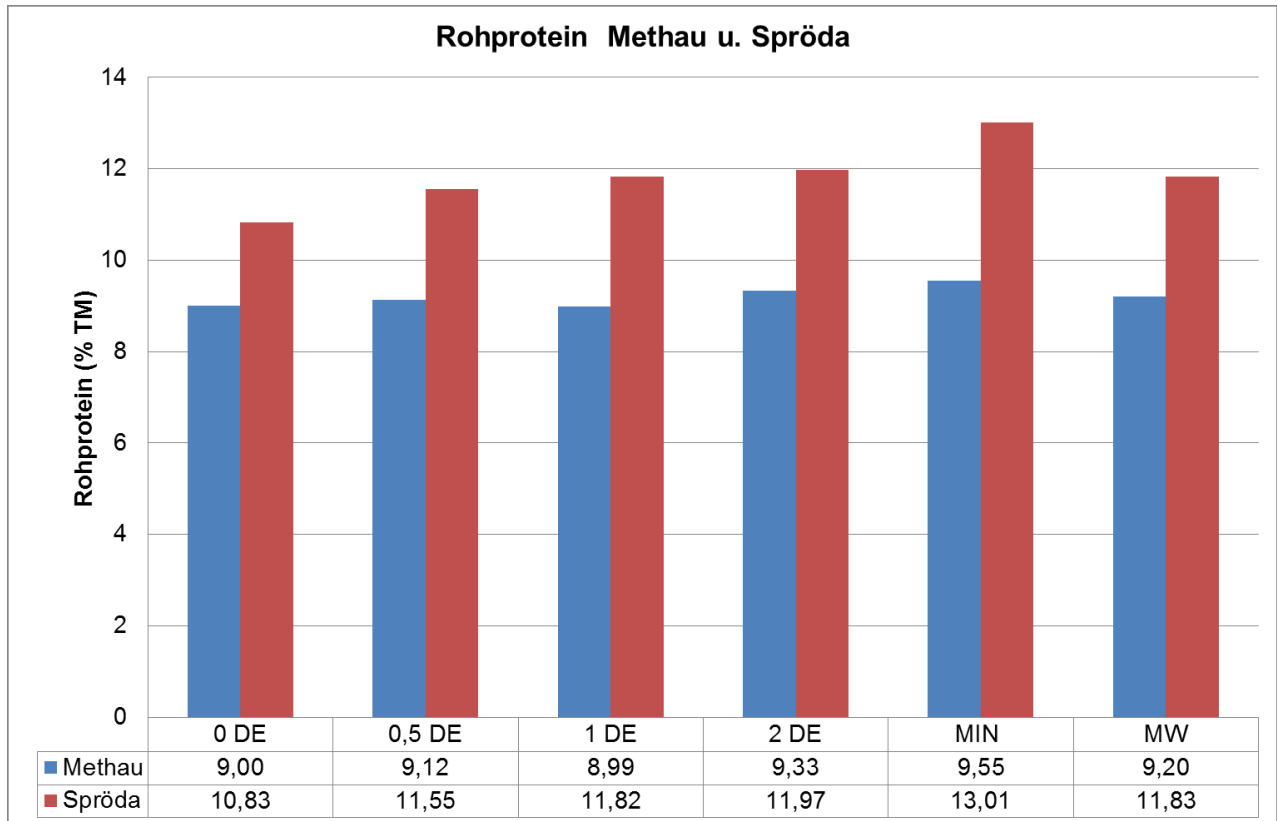


Abbildung 37: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] in Körnermais unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 132: Mittlere Gehalte an Rohprotein [% TM] in Körner- und Silomais unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau - Silomais							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
6,69	7,03	7,05	7,73	6,21	6,60	6,79	8,26
Marktfrucht - Körnermais							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
9,00	9,12	9,17	9,55	10,83	11,56	12,00	13,01

Eine Untersuchung weiterer Merkmale brachte kaum Unterschiede zwischen den untersuchten Einflussfaktoren zutage. Lediglich die Gehalte an Rohasche (Methau Körnermais 1,45 – 1,50 % TM, Silomais um 3,0 % TM; Spröda Körnermais 1,6 – 2,0 % TM) konnten in einigen Versuchen durch organische Düngung geringfügig angehoben werden. Die Enzymlöslichkeit in Form der ELOS-Untersuchung zeigte in Methau im Silomais Werte um 67 – 70 % und in Spröda um 75 % TM auf. Es waren keine Variantenunterschiede festzustellen (ohne Darstellung).

4.2.4 Qualitätsparameter zur Beschreibung von Kartoffeln

Kartoffeln sind an beiden Versuchsstandorten erst in den letzten Versuchsjahren jeweils einmal zum Anbau gelangt. Die Anbausysteme und Düngungsvarianten der Dauerversuche wurden jeweils deutlich über 10 Jahre angewendet, so dass Kurzzeit- und Langzeitwirkungen sich gut etablieren konnten.

4.2.4.1 Knollen

Stickstoff

Die N-Gehalte der Kartoffelknollen liegen insgesamt auf einem durchschnittlichen Niveau. Zwischen den Anbauorten sind geringe Unterschiede mit der Tendenz zu leicht geringeren Werten am Sandstandort Spröda zu erkennen (Tabelle 133 u. Tabelle 134). Zwischen den Anbausystemen und den Düngungsstufen gibt es unterschiedliche Entwicklungen. In Methau liegen die N-Gehalte im Marktfrucht-System etwas niedriger, in der Variante ohne Düngung jedoch höher, am Ort Spröda dagegen insgesamt in den MF-Systemen etwas höher als in den Futterbau-Varianten.

Nach langanhaltender organischer Düngung werden die N-Gehalte in Methau etwas angehoben, besonders nach hoher Düngung. In Spröda besteht die Tendenz zu einer Verringerung der N-Werte der Knollen in Folge der Düngung. Nach Gülledüngung kommt es oft zu etwas höheren N-Gehalten, nach Stalldung- und Grüngutzufuhr besteht keine einheitliche Tendenz. Eine jeweils deutliche Anhebung der N-Gehalte von Kartoffelknollen gelingt nur durch Anwendung leicht löslicher N-Dünger in Form des Kalkammonsalpeters (Tabelle 134).

Tabelle 133: Mittlere N-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
1,31	1,45	1,44	1,50	1,43	1,37	1,40	1,28	1,31	1,34
Marktfrucht									
1,40	1,36	1,38	1,43	1,39	1,41	1,39	1,38	1,39	1,39
MW									
1,36	1,41	1,41	1,47	1,41	1,39	1,40	1,33	1,35	1,37

Tabelle 134: Mittlere N-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
1,31	1,45	1,48	1,82	1,37	1,29	1,37	1,95
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
1,40	1,34	1,44	1,86	1,41	1,32	1,46	1,68

Phosphor

Die P-Gehalte der Kartoffelknollen konnten weder durch den Anbauort, das Anbausystem und die Düngungsformen verändert werden (Tabelle 135 u. Tabelle 136).

Tabelle 135: Mittlere P-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21
Marktfrucht									
0,22	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22	0,20	0,20	0,21	0,21
MW									
0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21

Tabelle 136: Mittlere P-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,23	0,21	0,23	0,22	0,22	0,22	0,20	0,17
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,22	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,19	0,21

Kalium

MÖLLER et al. (2003) geben einen K-Gehalt in der Trockenmasse von 2 – 2,2 % als ausreichend an, da ein entsprechend hoher K-Gehalt in der Kartoffelknolle ein sehr bedeutender Qualitätsfaktor ist. In Methau wurden diese ausreichenden Werte meistens gerade erreicht, in Spröda waren z.T. deutlich höhere Gehalte ermittelt worden (Tabelle 137 u. Tabelle 138). Besonders in den Varianten ohne Düngungszufuhr werden in der Regel höhere Werte im Marktfrucht-System erhalten, nach steigender Düngung nur noch am Ort Methau.

Durch Düngung können die Werte an Kalium angehoben werden, das gelingt besser auf dem Sandboden in Spröda als auf dem Lössboden in Methau. Hierzu ist besonders eine Düngung mit Stalldung, weniger mit Grüngut- oder Güllezufuhr geeignet. Durch KAS-Düngung können die K-Werte in den Knollen am Ort Spröda auf gleichem Niveau gehalten werden, in Methau sinken sie im Vergleich zu den ungedüngten Varianten etwas ab und erreichen die niedrigsten Werte des Versuches.

Tabelle 137: Mittlere K-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
1,81	1,96	1,93	2,03	1,93	2,14	2,46	2,42	2,42	2,36
Marktfrucht									
2,26	2,18	2,22	2,31	2,24	2,34	2,34	2,34	2,38	2,35
MW									
2,04	2,07	2,08	2,17	2,09	2,24	2,40	2,38	2,40	2,36

Tabelle 138: Mittlere K-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
1,81	2,06	1,89	1,74	2,14	2,48	2,39	2,17
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
2,26	2,29	2,17	2,08	2,34	2,35	2,36	2,36

Magnesium

Auch die Mg-Gehalte der Knollen konnten weder durch den Anbauort, das Anbausystem und die Düngemittel beeinflusst werden (Tabelle 139 u. Tabelle 140).

Tabelle 139: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
0,11	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
Marktfrucht									
0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12
MW									
0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

Tabelle 140: Mittlere Mg-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,10
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13

Trockenmasse und Stärke

Die Gehalte an Trockenmasse und Stärke der Kartoffelknollen konnten etwas durch die gewählten Standorte beeinflusst werden (Tabelle 141, Tabelle 142, Tabelle 143 u. Tabelle 144). Die Werte liegen jeweils auf dem bindigeren Boden in Methau etwas höher. In dem Marktfrucht-System in Methau sind höhere Werte gefunden worden als im Futterbau-System. Am Ort Spröda gab es keine Unterschiede zwischen den Anbauformen. Mit steigender organischer Düngung wurden die Gehalte an Trockenmasse und Stärke in der Regel etwas verringert. Zu dieser Tendenz können alle geprüften Düngemittelarten beitragen.

Tabelle 141: Mittlere Trockenmasse-Gehalte [% FM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
21,96	21,57	21,71	21,89	21,78	20,93	20,49	20,37	20,28	20,52
Marktfrucht									
21,32	21,49	21,41	20,95	21,29	20,84	20,48	20,43	20,48	20,56
MW									
21,64	21,53	21,56	21,42	21,54	20,89	20,49	20,40	20,38	20,54

Tabelle 142: Mittlere Trockenmasse-Gehalte [% FM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
21,96	21,71	21,73	21,56	20,93	20,45	20,31	21,28
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
21,32	21,15	21,42	20,68	20,84	20,09	20,84	20,52

Tabelle 143: Mittlere Stärke-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
87,0	84,4	80,2	80,6	83,1	76,9	74,2	72,4	73,5	74,3
Marktfrucht									
82,6	81,2	80,3	77,8	80,5	76,3	75,2	72,7	74,0	74,6
MW									
84,8	82,8	80,3	79,2	81,8	76,6	74,7	72,6	73,8	74,4

Tabelle 144: Mittlere Stärke-Gehalte [% TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
87,0	80,9	82,6	85,8	76,9	73,0	73,7	70,5
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
82,6	79,1	80,5	84,1	76,3	75,0	72,9	74,6

Nitrat

Die Gehalte an Nitrat in der Trockenmasse der Knollen können, je nach den Anbaubedingungen, erheblich schwanken und sind somit ein sensibler Gradmesser der Nährstoffversorgung und der Wachstumsbedingungen insbesondere für den Nährstoff Stickstoff. An beiden Orten wurden in etwa gleich hohe Durchschnittswerte ermittelt (Abbildung 38). In den Kartoffelknollen wurden in den Marktfruchtvarianten, durch Belassung aller Kleeerasaufwüchse auf den Versuchspartellen, z.T. deutlich höhere Nitratwerte gefunden.

Eine stark steigende organische Düngung führt nur zu einer sehr verhaltenden Zunahme der Werte, erst nach stetiger Zufuhr von 2 DE/ha Düngung werden etwas höhere Werte registriert. Bemerkenswert ist der deutliche

Anstieg der Nitratgehalte nach Zufuhr leichtlöslicher N-Düngemittel, was in einigen Varianten zur Verdopplung der Gehalte geführt hat. Eine eindeutige differenzierte Wirkung auf die Nitratgehalte durch die geprüften organischen Düngemittel ist dagegen nicht möglich (Tabelle 145).

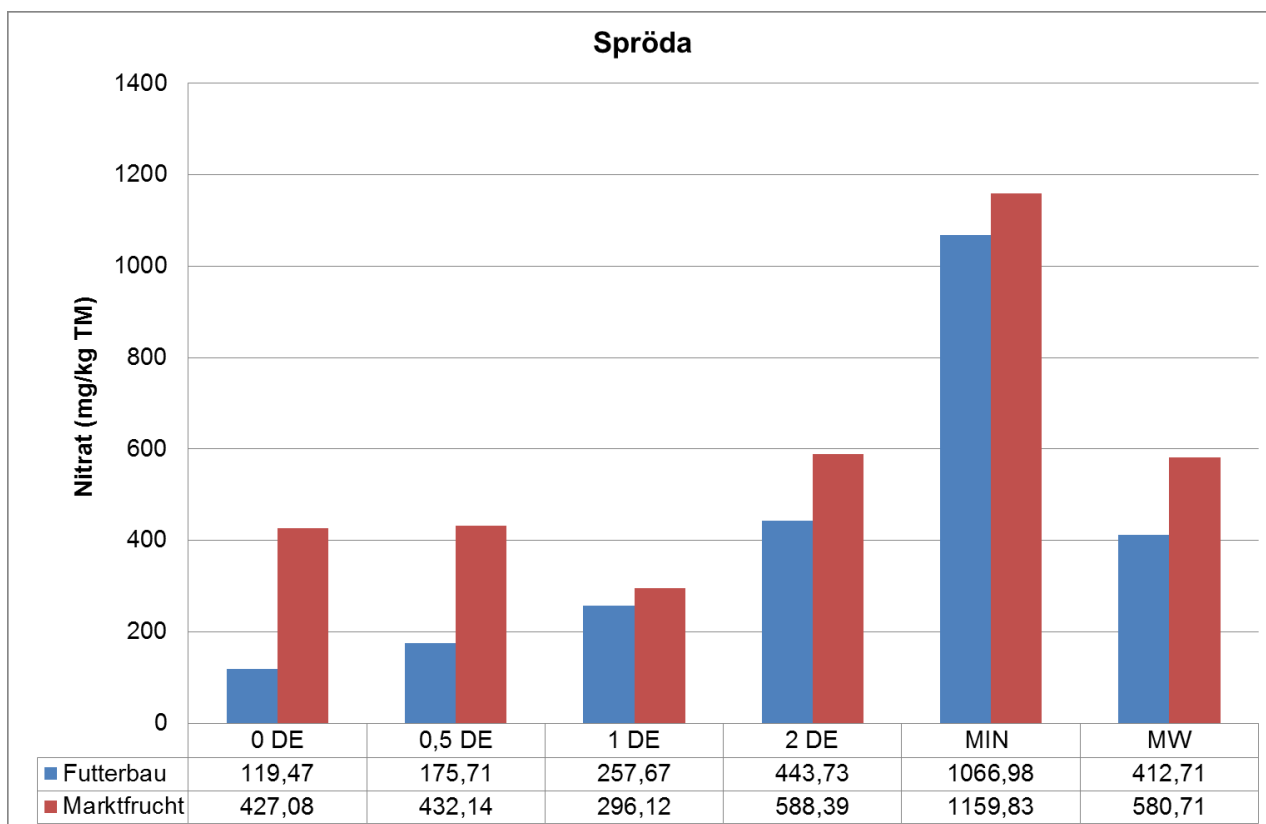
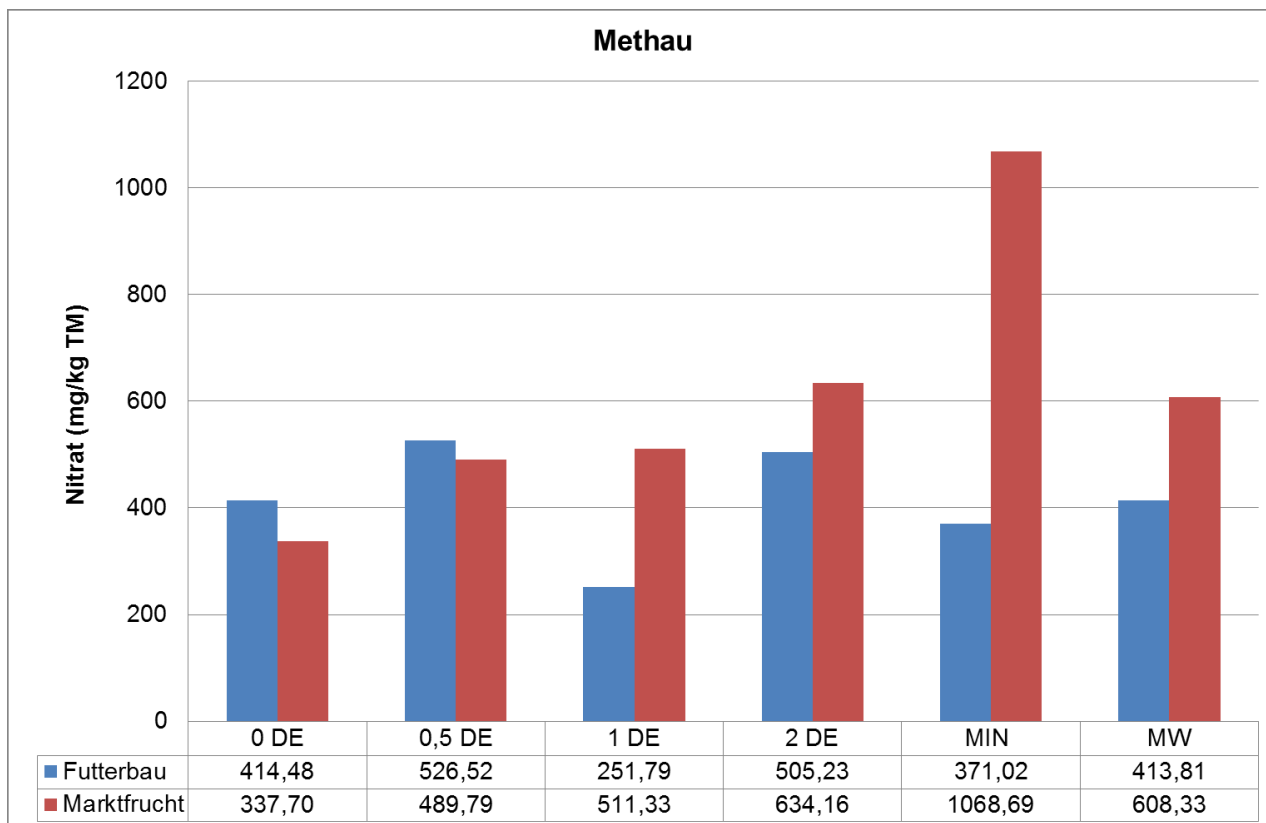


Abbildung 38: Mittlere Nitrat-Gehalte [mg/kg TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen an den Standorten Methau und Spröda

Tabelle 145: Mittlere Nitrat-Gehalte [mg/kg TM] in Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
414,5	493,6	362,1	371,0	119,5	185,8	398,8	1067,0
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
337,7	498,5	591,7	1068,7	427,1	459,7	419,0	1159,8

Rohbreiverfärbung

Die Rohverfärbung des geraspelten Knollenfleisches wurde nur am Beispiel des Erntematerials vom Ort Methau durchgeführt. Auch dieses Merkmal ist ein Gradmesser für die Nährstoffversorgung und anderen Umgebungsbedingungen, hier insbesondere mit dem Nährstoff Kalium. Es können ebenfalls sehr deutliche Unterschiede zwischen den Einflussfaktoren ermittelt werden (Abbildung 39, Tabelle 146). Die Verfärbungsneigung in den Varianten ohne Düngungszufuhr, also auch in den reinen Marktfruchtsystemen, liegen zunächst auf etwas höherem Niveau. Allgemein sind darüber hinaus auf allen Futterbauvarianten erhöhte Werte bonitiert worden. Das sind die Varianten, bei denen alle Aufwüchse von den Flächen entfernt worden sind.

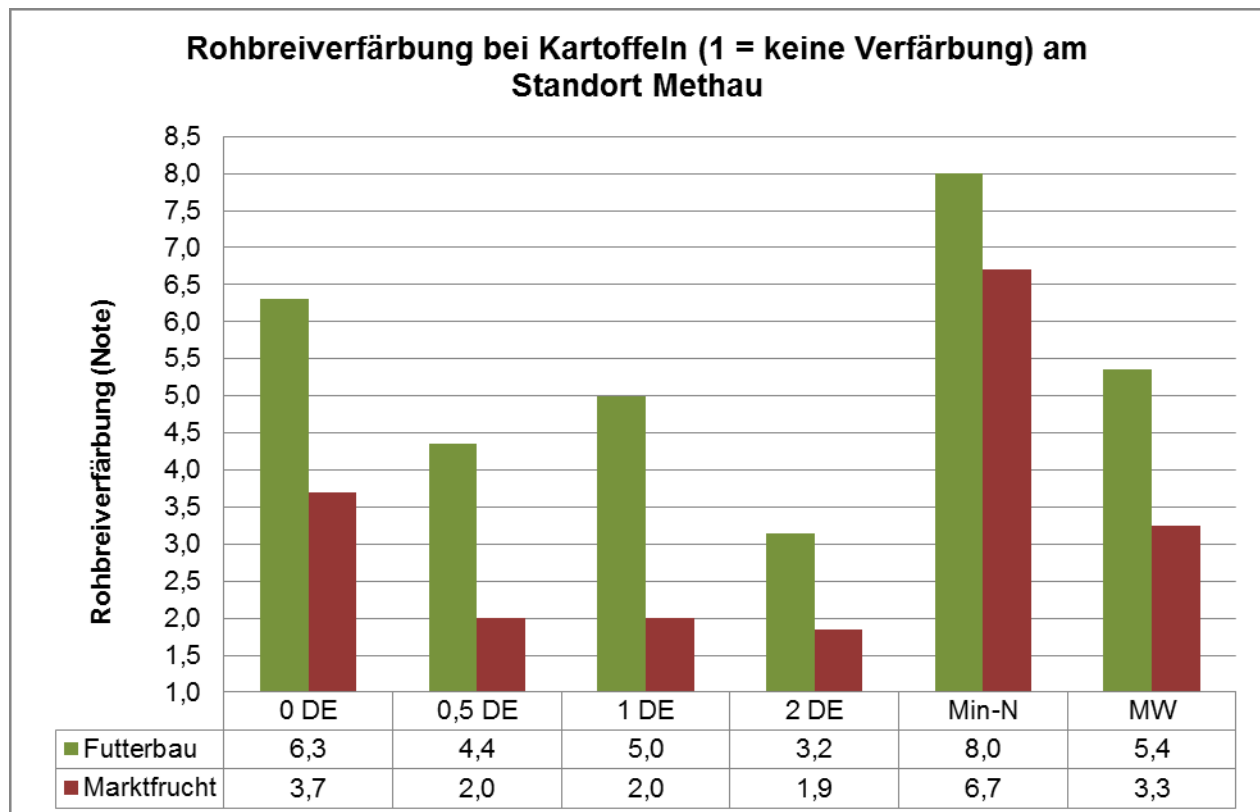


Abbildung 39: Rohbreiverfärbung bei Kartoffeln [1 = keine Verfärbung] am Standort Methau in Bezug auf die simulierten Anbau- und Düngungsvarianten

Eine steigende organische Düngung führte zu einer Verringerung der Verbräunung, insbesondere im Marktfrucht-System. Hierzu hat besonders eine dauerhafte organische Düngung mit Stalldung und Grüngut beigetragen. Durch eine stetige Anwendung von Kalkammonsalpeter wurde dagegen immer eine deutliche Zunahme der Verfärbungsneigung der Kartoffelknollen erreicht. In diesen Varianten werden regelmäßig mit Abstand die deutlichsten Verfärbungswerte ermittelt (Tabelle 146).

Tabelle 146: Mittlere Rohbreiverfärbung [Note, 1 = keine Verfärbung] von Kartoffelknollen unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
6,30	3,23	5,10	8,00	-	-	-	-
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
3,70	2,00	1,90	6,70	-	-	-	-

Knollenertragsortierung

Die Sortierung des Knollenmaterials kann auch als Qualitätsmerkmal angesehen werden, denn meistens können nur die mittleren Knollengrößen mit Erfolg vermarktet werden. Wie aus Abbildung 40 hervorgeht, wird die Knollensortierung nicht sehr stark durch die untersuchten Einflussgrößen verändert. Die mittlere Sortierung erreicht am Ort Spröda etwas höhere Werte als in Methau. Die Varianten ohne Düngung weisen oft etwas höhere oder gleich hohe Werte auf als die anderen Varianten.

Im Futterbausystem erfolgt durch die organische Düngung an beiden Orten kaum eine weitere Differenzierung der Sortierungswerte im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung. Im Marktfrucht-System wird demgegenüber durch die organischen Düngemittel eine Verringerung des Sortierungsanteils der mittleren Knollengrößen zu Gunsten des Anteils großer Knollen ermittelt. Durch KAS-Düngung erfolgt in allen Anbausystemen und Versuchsorten die deutlichste Abnahme der mittleren Knollenfraktion. Auch hierbei wird insbesondere die Fraktion der großen Knollen angehoben. Der Anteil kleiner Knollen wird dagegen kaum von den untersuchten Faktoren beeinflusst, er liegt allerdings in Spröda auf einem z.T. deutlich höheren Niveau.

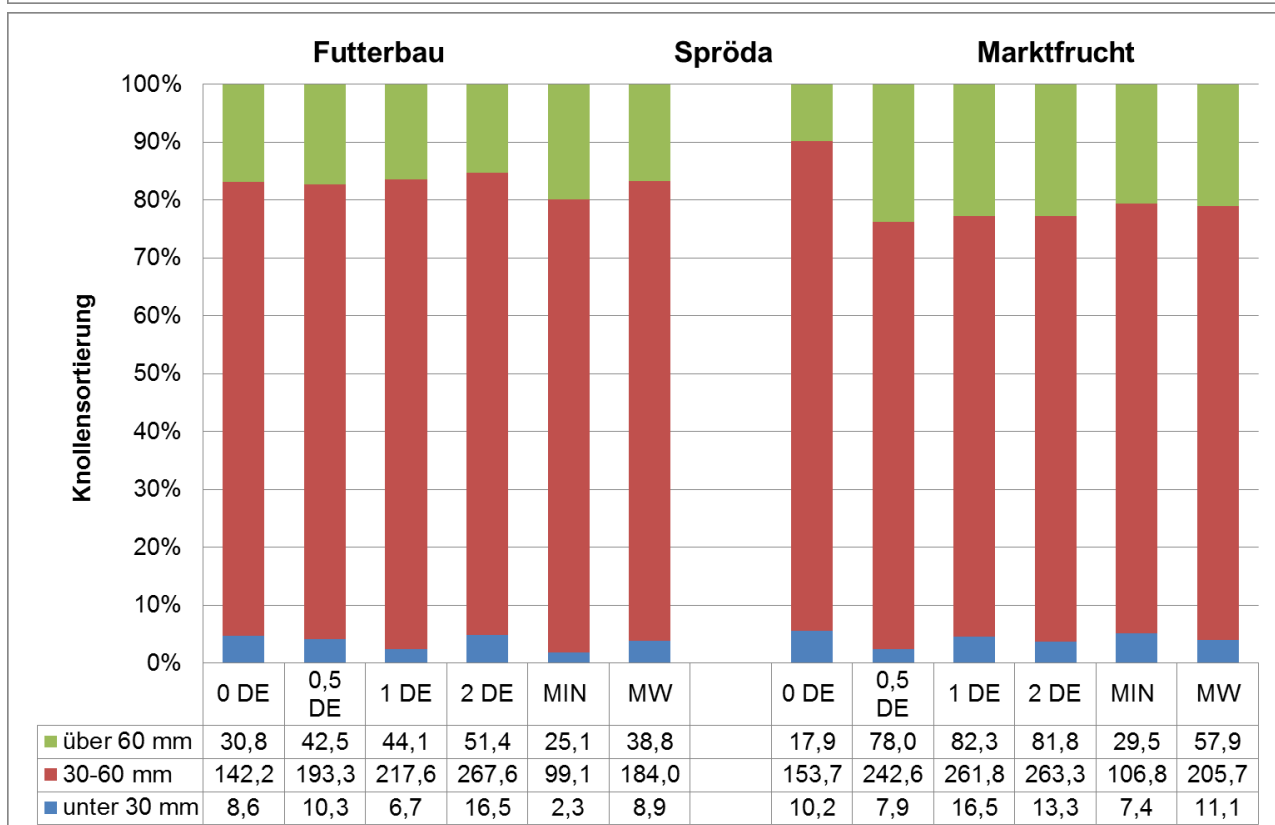
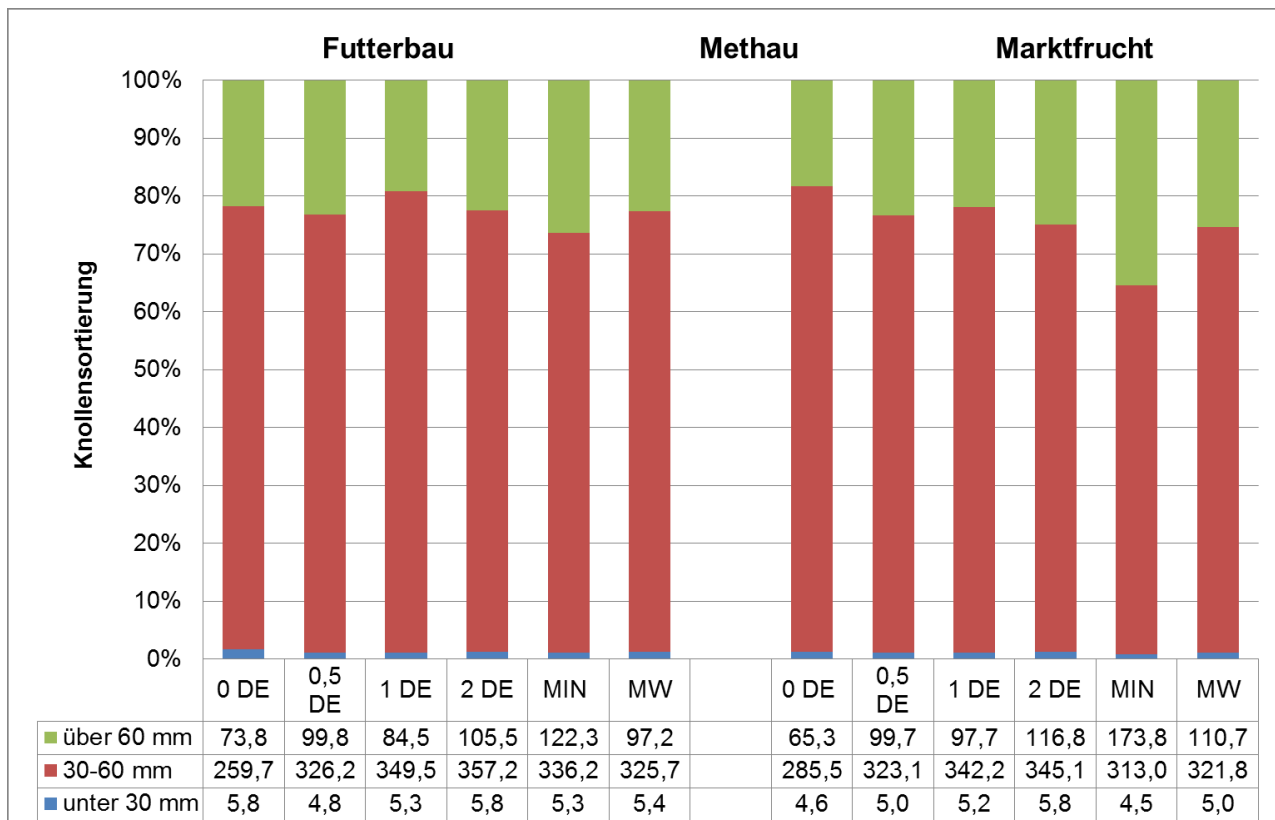


Abbildung 40: Knollensortierung [% bzw. dt/ha] am Standort Methau und Spröda in Bezug auf die simulierten Anbau- und Düngungsverfahren

4.2.4.2 Kraut

Stickstoff

Das Kartoffelkraut ist an beiden Orten meistens nur in den Futterbau-Varianten untersucht worden. Der N-Gehalt unterscheidet sich kaum zwischen den Anbauorten (Tabelle 147 u. Tabelle 148). Es ist eine z.T. deutliche Zunahme der N-Gehalte durch steigende organische Düngung zu verzeichnen. Die Zunahme ist in der Rangfolge Stallung, Gülle, Kalkammonsalpeter eingetreten. Die KAS-Varianten weisen mit Abstand die höchsten Werte auf.

Tabelle 147: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
4,80	4,90	5,00	5,15	4,96	4,79	4,98	4,90	5,04	4,93

Tabelle 148: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Kraut von Kartoffeln unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
4,80	4,98	5,05	6,07	4,79	4,93	5,02	5,40

Phosphor

Auch die P-Gehalte sind im Kartoffelkraut in der Tendenz durch die organische Düngung angestiegen (Tabelle 149). Die KAS-Varianten weisen jedoch tendenziell die niedrigsten Werte auf.

Tabelle 149: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Kraut von Kartoffeln unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,35	0,38	0,39	0,34	0,32	0,33	0,33	0,31

Kalium und Magnesium

Die Gehalte an Kalium liegen im Kartoffelkraut am Ort Methau etwas höher als in Spröda (Tabelle 150 u. Tabelle 151). Die Mg-Werte sind im Kraut durch organische Düngemittel deutlich angestiegen. Die Wirkung von Kalkammonsalpeter ist nicht einheitlich auf die K-Werte ausgefallen.

Tabelle 150: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
3,73	3,90	3,89	4,21	3,93	3,19	3,80	3,82	3,89	3,68

Tabelle 151: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Kraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
3,73	3,78	4,22	4,16	3,19	3,85	3,82	3,11

Der Gehalt an Magnesium lag im Kraut am Ort Methau zwischen 0,31 – 0,43 % TM. Durch die Düngung wurden die Gehalte in der Tendenz etwas angehoben. Am Ort Spröda wurden Mg-Werte zwischen 0,38 – 0,44 % TM analysiert. Auch hier führte die Düngung zu geringfügig höheren Mg-Werten im Kartoffelkraut. Die nichtgedüngten FB-Varianten wiesen die niedrigsten Werte auf (ohne Darstellung).

Mineral- und Mikronährstoffe

Die zusammengefassten Gehalte weiterer Mineral- und Spurenstoffe des Kartoffelkrautes kann der Tabelle 152 entnommen werden. Der Einfluss der Düngungsregime ist nicht einheitlich auf die Konzentrationen dieser Stoffe im Kartoffelkraut verlaufen. Fast alle Merkmale sind am Anbauort Spröda etwas höher als in Methau. Am Versuchsort Methau sind zudem die Gehalte vieler Inhaltsstoffe (außer S u. B) der nicht gedüngten Varianten etwas höher als die Varianten mit organischen Düngemitteln. Am Ort Spröda nur bei Ca und B, hier hat die organische Düngung eher zu einer geringen Anhebung der Werte beigetragen.

Die stetige KAS-Zufuhr führte dagegen am Ort Methau zu höheren Gehalten an fast allen Spurenstoffen, außer an S und Mo im Kartoffelkraut. In Spröda wurden nur die Werte von Ca, Mn und Zn etwas erhöht, die anderen Mineralien wurden z.T. deutlich in ihren Gehalten verringert. Eine einseitige Anhebung von z.T. auch negativ wirkenden Spurenstoffen, wie z. B. Cu und Zn, durch bestimmte organische Düngemittel konnte nicht beobachtet werden.

Tabelle 152: Mittlere Gehalte an Mikronährstoffen im Kraut der Futterbauvarianten unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
Calcium [% TM]							
1,26	1,02	1,05	1,98	1,58	1,10	1,29	1,97
Kupfer [mg/kg TM]							
13,73	13,31	13,15	15,60	14,88	15,80	15,54	14,65
Mangan [mg/kg TM]							
57,19	46,65	46,93	70,19	67,61	76,16	80,37	124,45
S [% TM]							
0,34	0,34	0,35	0,35	0,40	0,41	0,40	0,37
Zink [mg/kg TM]							
28,54	27,05	28,00	31,20	24,84	25,66	25,49	25,66
Bor [mg/kg TM]							
18,81	18,70	19,84	19,76	31,95	31,57	31,30	28,52
Molybdän [mg/kg TM]							
0,90	0,74	0,71	0,48	1,07	1,11	0,86	0,62

Chlorophyll

Die Gehalte an Chlorophyll können auch über den Ernährungszustand mit dem Nährstoff Stickstoff Auskunft geben. Untersuchungen zu diesem Merkmal wurden jedoch nur im Kartoffelkraut der Futterbau-Varianten vorgenommen (Tabelle 153 u. Tabelle 154). Zwischen den Anbauorten wurden keine unterschiedlichen Werte ermittelt. Mit steigender Düngung besteht lediglich eine geringe Tendenz zu abnehmenden Chlorophyllwerten im Kartoffelkraut, insbesondere anscheinend durch die Stalldungzufuhr. Bei KAS-Düngung werden die Werte an Chlorophyll jedoch angehoben.

Tabelle 153: Mittlere Werte an Chlorophyll [Relativwert] im Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
46,53	46,85	44,98	46,58	46,24	47,18	46,70	46,28	46,20	46,59

Tabelle 154: Mittlere Werte an Chlorophyll [Relativwert] im Kraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
46,53	44,78	47,49	51,93	47,18	45,81	46,98	49,93

Kraut-Deckungsgrad

Der bonitierte Krautdeckungsgrad zum Zeitpunkt Anfang Kartoffelblüte wurde nur am Ort Methau ermittelt. Das Merkmal eignet sich, genauso wie die Wuchshöhe, als indirektes Maß zur Ermittlung der Ertragsersparnis. Wie aus Abbildung 41 zu entnehmen ist, nimmt der Deckungsgrad des Krautes auf den Marktfrucht-Varianten durchgängig etwas höhere Werte ein. In Folge steigender organischer Düngung ist ein deutlicher Anstieg der bonitierten Werte eingetreten. Hierfür sind alle organischen Düngemittel, außer Gülle, gut geeignet. Der höchste Anstieg des Deckungsgrades ist allerdings durch leicht lösliche N-Mineraldünger eingetreten (Tabelle 155).

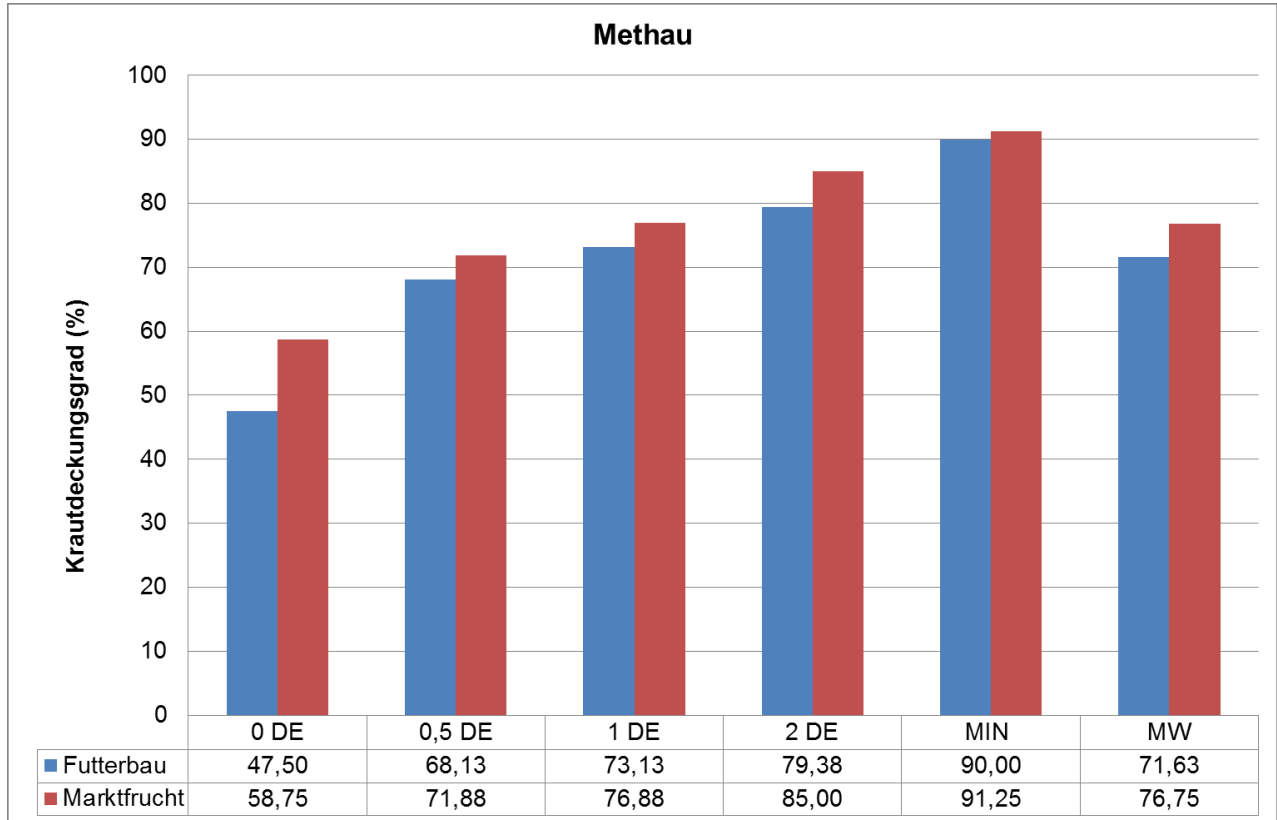


Abbildung 41: Mittlere Deckungsgrade [% TM] an Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngermengen in Methau

Tabelle 155: Mittlere Deckungsgrade [% TM] an Kartoffelkraut unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in Methau

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
47,50	76,67	70,42	90,00	-	-	-	-
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
58,75	77,08	78,75	91,25	-	-	-	-

4.2.5 Zwischenfrüchte

Die Gehalte an einigen Inhaltsstoffen wurden auch in den Aufwüchsen von Senf-Zwischenfrüchten analysiert. Die N-Gehalte waren im Aufwuchs des Standorts Methau sowie im MF-System jeweils generell etwas höher als am Ort Spröda bzw. im FB-System (Tabelle 156 u. Tabelle 157). Mit steigender organischer Düngung erfolgte ein stetiger Anstieg der N-Konzentrationen vor allem im FB-System. Hier kam es auch zu einem Anstieg der N-Gehalte in Folge der N-Mineraldüngung.

Tabelle 156: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _s
Futterbau									
4,16	4,36	4,48	4,62	4,41	3,64	3,64	3,79	3,74	3,70
Marktfrucht									
4,54	4,69	4,51	4,56	4,58	3,77	3,78	3,88	3,78	3,80
MW									
4,35	4,53	4,50	4,59	4,49	3,71	3,71	3,84	3,76	3,76

Tabelle 157: Mittlere N-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
4,16	4,54	4,43	4,64	3,64	3,87	3,57	3,81
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
4,54	4,59	4,59	4,74	3,77	3,97	3,66	3,57

Phosphor

Auch die P-Gehalte konnten in den FB- und MF-Varianten in der Tendenz durch organische und KAS-Düngung etwas angehoben werden (Tabelle 158).

Tabelle 158: Mittlere P-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,43	0,44	0,44	0,45	0,41	0,45	0,45	0,45
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,45	0,43	0,45	0,47	0,40	0,46	0,44	0,42

Kalium und Magnesium

Die Gehalte an Kalium waren in den Zwischenfrucht-Aufwüchsen vom Ort Spröda deutlich höher als am Ort Methau (Tabelle 159 u. Tabelle 160). Auch die K-Werte der MF-Varianten ohne Düngung waren jeweils höher als in den Vergleichsvarianten. Die Gehalte an Kalium sind in den Aufwüchsen von Senf nach stetiger organischer Düngung und auch nach KAS-Zufuhr z.T. deutlich angestiegen.

Tabelle 159: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau									
2,72	2,65	2,82	2,90	2,77	4,05	4,45	4,35	4,69	4,39
Marktfrucht									
3,13	3,08	3,03	3,16	3,10	4,19	4,05	4,74	4,44	4,36
MW									
2,93	2,87	2,93	3,03	2,94	4,12	4,25	4,55	4,57	4,37

Tabelle 160: Mittlere K-Gehalte [% TM] im Senfaufwuchs unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
2,72	2,77	2,81	2,99	4,05	4,45	4,54	4,40
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
3,13	3,04	3,14	3,18	4,19	4,50	4,31	3,98

Die Mg-Gehalte der Zwischenfruchtaufwüchse lagen am Ort Methau zwischen 0,22 – 0,24 % TM, es gab keine Variantenunterschiede. Am Standort Spröda lagen die Werte zwischen 0,15 – 0,19 % TM. Auch hierbei waren keine Unterschiede zwischen den Anbauorten eingetreten. Mit steigender Düngung war eine geringfügige Anhebung der Mg-Gehalte in den Senfaufwüchsen ermittelt worden (ohne Darstellung).

4.2.6 Zusammenfassende Bewertung für Anbausystem und Düngung

Zum Abschluss des Kapitels wird durch Ermittlung von einfachen Mittelwerten aus einer hohen Anzahl von Ernten (HP, NP) eine generelle Einschätzung der Veränderung der Inhaltsstoffe an Hauptnährstoffen in den Kleeerasaufwüchsen und in den Nichtleguminosen vorgenommen. Am Ort Methau haben sich die Nährstoffgehalte auf Grundlage von 8 Kleeerasjahren und 9 Anbaujahren mit Nichtleguminosen zwischen den Einflussfaktoren folgendermaßen entwickelt:

Anbausystem MF (FB-System = 100 %):		N	P	K	Mg
Leguminosen:		102	103	112	100
Nichtleguminosen:		99	104	103	100

Organische Düngung (ohne Düngung = 100 %): Leguminosen		Nichtleguminosen	
N	FB	101	109
	MF	97	106
P	FB	100	105
	MF	100	100
K	FB	103	110
	MF	102	102
Mg	FB	89	100
	MF	96	100.

Am Versuchsort Spröda haben sich die Nährstoffgehalte auf Grundlage von 7 Kleeerasjahren und 6 Anbaujahren mit Nichtleguminosen zwischen den Einflussfaktoren folgendermaßen entwickelt:

Anbausystem MF (FB-System = 100 %):		N	P	K	Mg
Leguminosen:		99	103	101	96
Nichtleguminosen:		104	100	106	91

Organische Düngung (ohne Düngung = 100 %): Leguminosen		Nichtleguminosen	
N	FB	100	102
	MF	103	103
P	FB	105	108
	MF	110	106
K	FB	109	108
	MF	103	101
Mg	FB	114	110
	MF	110	111.

An beiden Anbauorten sind im Marktfrucht-System bei den meisten Nährstoffen (außer Mg-Gehalt) etwas höhere Gehalte nachgewiesen worden. Die Ursache hierfür liegt sicherlich in dem Verbleib aller Koppelprodukte inkl. der gemulchten Kleeerasaufwüchse in diesen Varianten. Auch eine steigende Düngung mit organischen Düngemitteln führte in der Mehrzahl der Analysen zu einem Anstieg der untersuchten Nährstoffe sowohl in den Leguminosen als auch in den Nichtleguminosen.

Am Ort Methau war das Ausmaß der Anhebung der Nährstoffkonzentrationen in den Nichtleguminosen größer als in den legumen Aufwüchsen. Außerdem war die Anhebung im FB-System deutlicher als in den MF-Varianten ausgefallen. Am Anbauort Spröda waren die ermittelten Differenzen allgemein etwas größer. Es gab keine klaren Unterschiede zwischen den Anbausystemen und den untersuchten Fruchtartengruppen. Besonders in Spröda hat die stetige Zufuhr an organischen Düngemitteln zu einer Anhebung fast aller Gehalte an Nährstoffen geführt. Davon waren offenbar auch die Konzentrationen an Phosphor und an Magnesium betroffen.

Die lange anhaltende unterschiedliche Düngung hat über die Veränderungen im Boden (Humus und Nährstoffe, siehe weiter unten) nach diesen zusammengefassten Ergebnissen nicht nur den N- und den K-Gehalt in den pflanzlichen Materialien verändert, sondern auch im relativen Vergleich in ähnlichem Umfang die Gehalte an P und z.T. auch an Mg. Das Ausmaß der Veränderung ist nicht nur abhängig vom Standort (auf dem Sandboden in Spröda etwas deutlicher als auf dem Lößboden in Methau), sondern auch von der angebauten Fruchtart. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen waren oft geringer in Körnerfrüchten, gefolgt von den Kleegrasaufwüchsen, dem Getreidestroh und den Kartoffelknollen und waren am stärksten sichtbar in vegetativen Materialien, wie dem Silomais, Kartoffelkraut und Zwischenfruchtaufwüchsen.

Im Einzelnen gab es noch weitere Veränderungen durch eine steigende organische Düngung:

- Kleegras: legume N-Bindung 101 – 107 %, Leguminosenanteil im Gemenge 96 – 105 %, NEL 101 – 103 %, Rohasche 105 – 106 %.
- Getreidearten: Rohprotein 99 – 109 %, Sedimentationswert 112 – 131 %, Mehлтаubefall 142 – 200 %, Wuchshöhe 105 – 106 %.
- Mais: Rohprotein 104 – 111 %, Rohfett 117 – 126 %.
- Kartoffeln: Krautdeckungsgrad 145 – 167 %, Rohbreiverfärbung 51 %, Stärke 96 %, Trockenmasse 98 – 99 %, Nitrat 122 – 371 %.

Die stetige Zufuhr von leicht löslichen N-Mineraldüngern (KAS) führte zu einer teilweise deutlichen Veränderung der Inhaltsstoffe und Qualitätsparameter der Fruchtarten. Zu nennen ist hierzu der negative Einfluss auf den Leguminosenanteil und die legume N₂-Bindung beim Kleegras, die Erhöhung des Anteils an großen Knollen auf Kosten der mittleren Knollenfraktion sowie der deutlich erhöhte Nitratgehalt und die erhebliche Rohverfärbung bei Kartoffeln, die starke Erhöhung des Mehлтаubefalls und der Lagerneigung bei Getreide sowie eine deutliche Zunahme der Gehalte an Rohprotein und Verbesserung der Backeigenschaften (Sedimentation) bei Weizen.

4.3 Nährstoffgehalte des Bodens

In diesem Kapitel werden die Nährstoff- und Humusgehalte sowie die pH-Werte der Bodenkrume (0 – 30 cm) und im Tiefenprofil bis auf 200 cm Bodentiefe mit Schwerpunkt auf die zweite Versuchsphase in Abhängigkeit von den untersuchten Einflussgrößen beschrieben. Aus der gewöhnlichen Bodenuntersuchung (meistens nach der Ernte im Herbst durchgeführt) wurden hierzu die Gehalte an Bodenmerkmalen im mehrjährigen Durchschnitt am Versuchsende dargestellt und mit den Werten am Versuchsbeginn verglichen.

Mit einem Rammkern-Sondiergerät (6 cm Durchmesser) wurden zu zwei Terminen Bodenproben in den Tiefen 0 – 30, 30 – 60, 60 – 90, 90 – 150 und 150 – 200 cm genommen. An beiden Standorten sind alle Bodenmerkmale im Tiefenprofil zum Ende der ersten Versuchsperiode im Jahr 2000 und am Ende der zweiten Versuchsphase (2005/2007) untersucht worden. Die Entwicklung dieser Merkmale aus den Bodenuntersuchungen der ersten Versuchsphase wurde bereits von BECKMANN et al. (2001, 2002) ausführlich behandelt.

4.3.1 Entwicklung der pH-Werte

4.3.1.1 Ackerkrume

Zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch Strukturförderung und -stabilisierung ist es im Ökolandbau gängige Praxis, den Boden zu kalken, so dass der pH-Wert der Böden in einem optimalen Bereich liegt. Die Phosphatverfügbarkeit kann jedoch durch Kalkung, z.B. auf den besseren Böden, auch verschlechtert werden. Der pH-Wert des Oberbodens (0 – 30 cm) auf den Versuchsfeldern Methau lag zu Beginn des Versuches im Jahr 1992/1993 zwischen 6,1 – 6,3. Am Standort Spröda lagen die Werte zwischen pH 4,8 – 5,5 (= VDLUFA-Versorgungsklassen B – C). An beiden Standorten erfolgte über die gesamte Versuchsdauer hinweg keine zusätzliche Kalkung, damit die Auswirkungen der untersuchten Einflussfaktoren genau aufgezeigt werden konnten.

Der pH-Wert des Bodens lag in Methau am Beginn der zweiten Versuchsperiode (2001 – 2007) bei durchschnittlich pH 5,7 im FB- bzw. pH 5,8 im MF-System. In Spröda lag der pH-Wert zum Vergleich in beiden Systemen um ca. 0,8 Einheiten niedriger (Abbildung 42). Im weiteren Verlauf der Versuche sind die pH-Werte in Methau in der Tendenz etwas abgefallen, vor allem im FB-System. In Spröda, bei verhältnismäßig niedrigem Ausgangsniveau, sind die pH-Werte offenbar in der zweiten Versuchshälfte etwas angestiegen, insbesondere im MF-System.

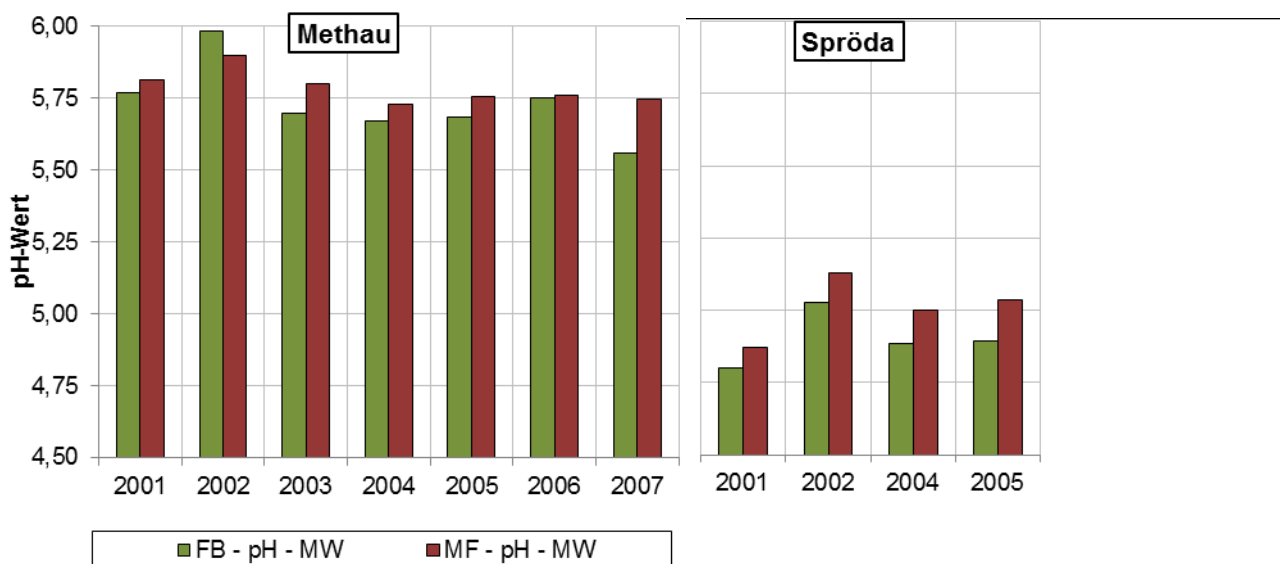


Abbildung 42: Entwicklung der pH-Werte im FB- und MF-System an den Standorten Methau und Spröda in der Bodentiefe 0 - 30 cm (ohne MIN-Düngung)

In den nächsten Darstellungen werden die pH-Werte als mehrjährige Mittelwerte der zweiten Versuchsphase in Abhängigkeit von den Einflussgrößen im Vergleich mit den Bodenwerten am Versuchsanfang aufgeführt (Tabelle 161, Tabelle 162, Tabelle 163 u. Tabelle 164). Die MF-Varianten, bei denen keine Abfuhr der Stroh- und Klee gras aufwüchse erfolgte, weisen zwar etwas höhere pH-Werte auf, doch waren am Versuchsanfang auch schon jeweils etwas höhere Werte in diesen Varianten ermittelt worden. Zu Versuchsanfang waren durchgehend geringfügig höhere pH-Werte auf allen Varianten vorhanden. Die Abnahme im Verlauf der gesamten Versuchszeit (Methau 0,47, Spröda 0,17 pH-Einheiten) ist aber überraschend gering, wenn man bedenkt, dass in der gesamten Zeit keine Kalkungsmaßnahmen durchgeführt worden sind.

Im Vergleich zu den Werten am Versuchsbeginn hatte eine steigende organische Düngung in Methau keine differenzierende Wirkung auf die pH-Werte ausgeübt. Am Ort Spröda führte eine steigende organische Düngung im Trend zu einer Verringerung der Differenzen in den pH-Werten im Vergleich zu den

Anfangswerten. Auch durch hohe Mengen an zugeführten organischen Materialien in Folge Mulchung, Strohbelassung und organischer Düngemittel wurden die pH-Werte des Bodens kaum verändert oder sogar positiv beeinflusst. Die KAS-Düngung führte dagegen in den meisten Fällen an beiden Versuchsorten zu einer geringen Abnahme der pH-Werte im Vergleich zu keiner oder einer organischen Düngung (Tabelle 161, Tabelle 162, Tabelle 163 u. Tabelle 164). Die pH-Werte können am Ende der Versuche an beiden Orten der VDLUFA-Versorgungsklasse B zugeordnet werden.

Tabelle 161: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2004 – 2007)						Spröda (MW 2001 – 2005)					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau											
6,10	5,71	5,64	5,64	5,70	5,67	4,91	4,86	4,88	4,93	4,92	4,90
Marktfrucht											
6,26	5,78	5,74	5,71	5,78	5,75	5,33	4,83	5,02	5,06	5,03	4,99
MW											
6,18	5,75	5,69	5,68	5,74	5,71	5,12	4,85	4,95	5,00	4,98	4,95

Tabelle 162: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
6,10	5,71	5,63	5,68	5,78	5,71	5,66	5,60	5,61	5,63
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
6,25	5,78	5,74	5,72	5,87	5,78	5,74	5,70	5,70	5,64

Tabelle 163: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
4,90	4,86	4,82	4,98	4,97	4,86	4,94	4,88	4,86	4,70
Marktfrucht									
1992/93		M				G			
5,30	4,83	5,08	5,17	5,08	4,83	4,97	4,96	4,98	5,06

Tabelle 164: Entwicklung der pH-Werte unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
5,71	5,70	5,62	5,63	4,86	4,92	4,89	4,70
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
5,78	5,78	5,71	5,64	4,83	5,11	4,97	5,06

4.3.1.2 Tiefenprofil

An beiden Standorten sind die pH-Werte im Tiefenprofil im Jahr 2000 und 2005 (Spröda) bzw. 2007 (Methau) bis in eine Tiefe von 200 cm untersucht worden (Abbildung 43, Abbildung 44 u. Abbildung 45). In 0 – 30 cm Bodentiefe sind die pH-Werte in Methau über die zwei Messzeitpunkte betrachtet nahezu unverändert geblieben. Im Jahr 2007 liegen ab 60 cm Bodentiefe die pH-Werte der zwei Systeme nahezu auf gleich hohem Niveau. Bestand im Jahr 2000 kein eindeutiger Trend einer Zu- oder Abnahme in Beziehung zur Bodentiefe, steigt der pH-Wert der zwei Anbausysteme in 2007 bis in 90 cm Bodentiefe vergleichsweise stark an, um dann mit zunehmender Tiefe wieder verhältnismäßig stark abzusinken. Zwischen 60 cm und 150 cm Bodentiefe besteht daher der größte Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsterminen in den pH-Werten des Bodens. Auf beiden Anbausystemen haben sich die pH-Werte annähernd gleichsinnig verändert.

In Spröda ist der pH-Wert durch ausbleibende Kalkung über alle 5 untersuchten Bodentiefen hinweg in beiden Systemen in der Summe jeweils abgesunken. In 0 – 30 cm Bodentiefe stieg der pH-Wert des FB-Systems leicht an. Die Werte des MF-Systems sanken dagegen ab. In der Tendenz ist der pH-Wert der beiden Anbausysteme Sprödas zum Zeitpunkt der zweiten Messung in Tiefenbereichen ab 60 cm etwas abgefallen, insbesondere auf den MF-Systemen. Daher bestehen im Jahr 2005 jetzt z.T. große Unterschiede im pH-Wert zwischen den Anbausystemen, die mit der Bodentiefe zunehmen.

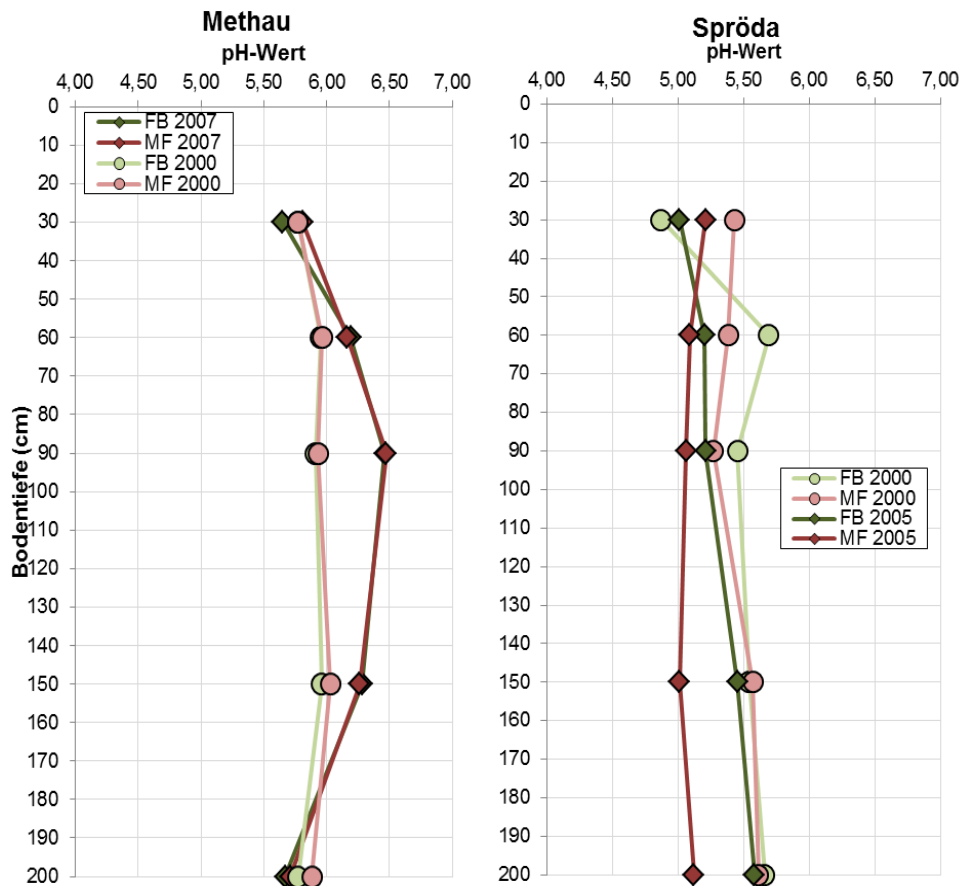


Abbildung 43: pH-Wert der Anbausysteme an den Standorten Methau und Spröda im Tiefenprofil (ohne MIN-Variante)

Die Abbildung 44 zeigt den Einfluss einer steigenden organischen Düngung auf die pH-Werte im Tiefenprofil. Am Ort Methau liegen zu beiden Untersuchungsterminen die pH-Werte sehr dicht nebeneinander, so dass kein Düngungseinfluss erkennbar ist. Auf dem Sandstandort in Spröda sind eher Veränderungen im pH-Wert zu erkennen. Die pH-Werte aller Varianten sind mit der Zeit etwas abgefallen. Die Differenzierung der Werte in Folge steigender Düngung ist dagegen in etwa gleich geblieben. Die Varianten ohne Düngung weisen fast über das gesamte Tiefenprofil die niedrigsten Werte auf und sind mit der Zeit am deutlichsten abgefallen. Die Düngungsvarianten haben in der Tendenz zu etwas höheren pH-Werten geführt, die Werte liegen aber dicht beieinander. Die pH-Werte der Düngung mit 0,5 DE/ha haben sich kaum verändert.

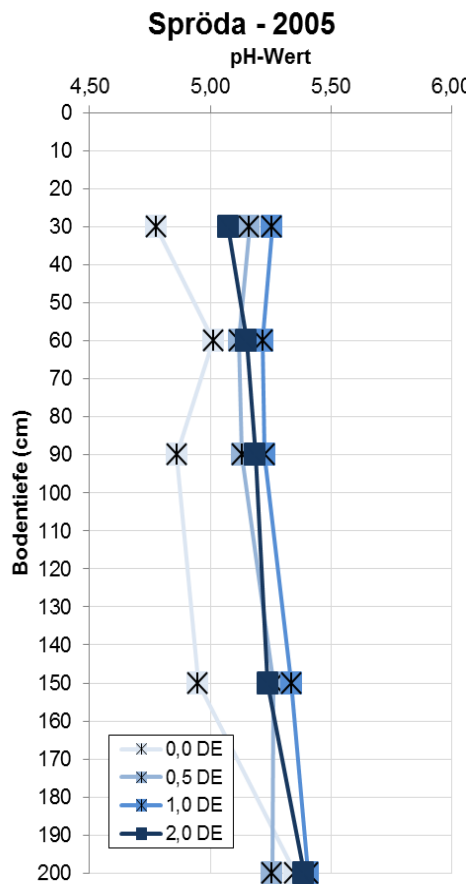
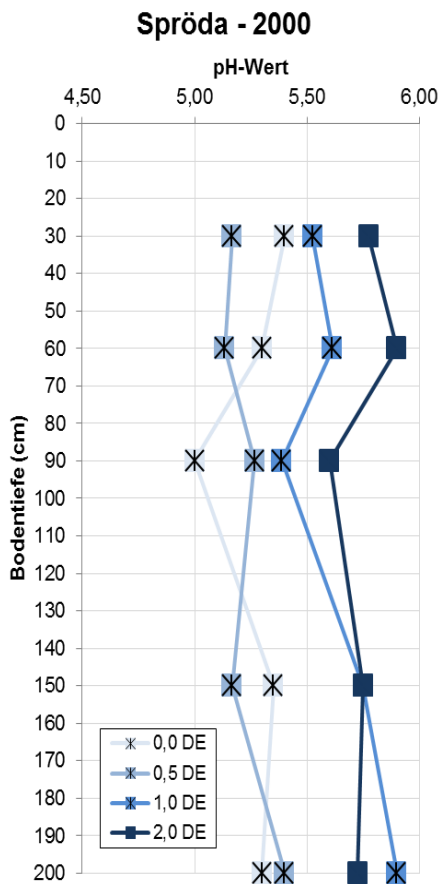
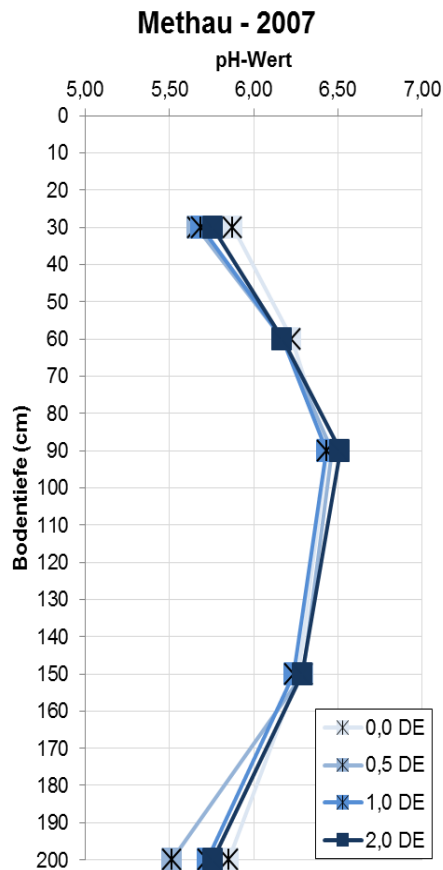
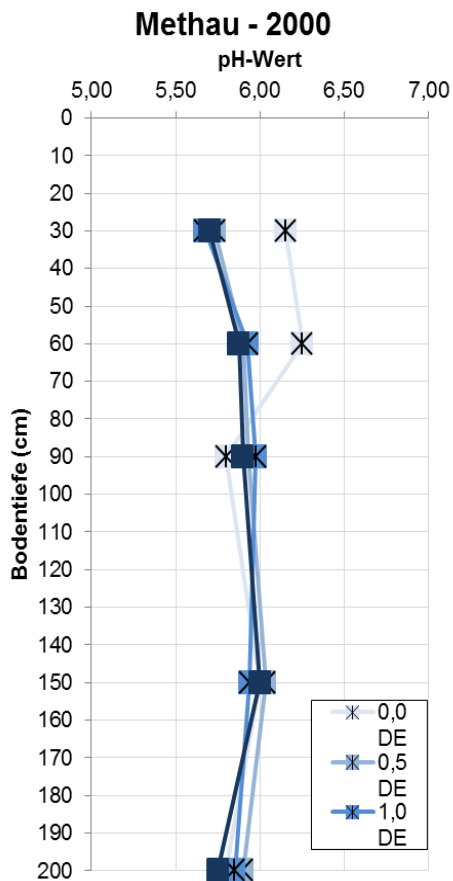


Abbildung 44: pH-Werte an den Standorten Methau und Spröda im Tiefenprofil nach Düngintensität (FB, MF gesamt)

An beiden Versuchsstandorten verringerten sich die Unterschiede der pH-Werte der aufgeschlüsselten Mittelwerte der Düngerarten zwischen den Jahren 2000 und 2005 bzw. 2007 (Abbildung 45). Am Standort Methau sind die pH-Werte zu beiden Untersuchungszeitpunkten (Jahr 2000 und 2007) in der Variante mit MIN-Düngung am geringsten. Insgesamt hat die Grüngut (M)- sowie die SM-Düngung im Oberboden (0 – 30 cm Tiefe) den vergleichsweise höchsten pH-Wert hinterlassen. In darunter liegenden Tiefenbereichen wechseln sich die Düngevarianten (M, G u. SM) in ihren Auswirkungen auf den pH-Wert ab, ohne eine klare Ausdifferenzierung erkennen zu lassen.

In Spröda lässt die Bodentiefe 0 – 30 cm ebenfalls höhere pH-Werte in Folge der Grüngut- und SM-Düngung erkennen. Die geringste pH-Änderung über alle Bodentiefen hinweg und zu beiden Untersuchungsterminen zeigten hier die Gülle-Varianten auf. Die Werte der organischen Düngemittel liegen jedoch ebenfalls sehr dicht nebeneinander. Lediglich die MIN-Düngung, wodurch über Kalkammonsalpeter auch eine Kalkzufuhr erfolgt ist, hat als einzige Variante ab 90 cm Bodentiefe eine geringe pH-Wert-Zunahme erfahren und weist vergleichsweise hohe Werte auf. Insgesamt sind die Veränderungen der pH-Werte im Tiefenprofil als sehr gering zu bezeichnen, deutliche Variantenunterschiede sind nicht aufgetreten.

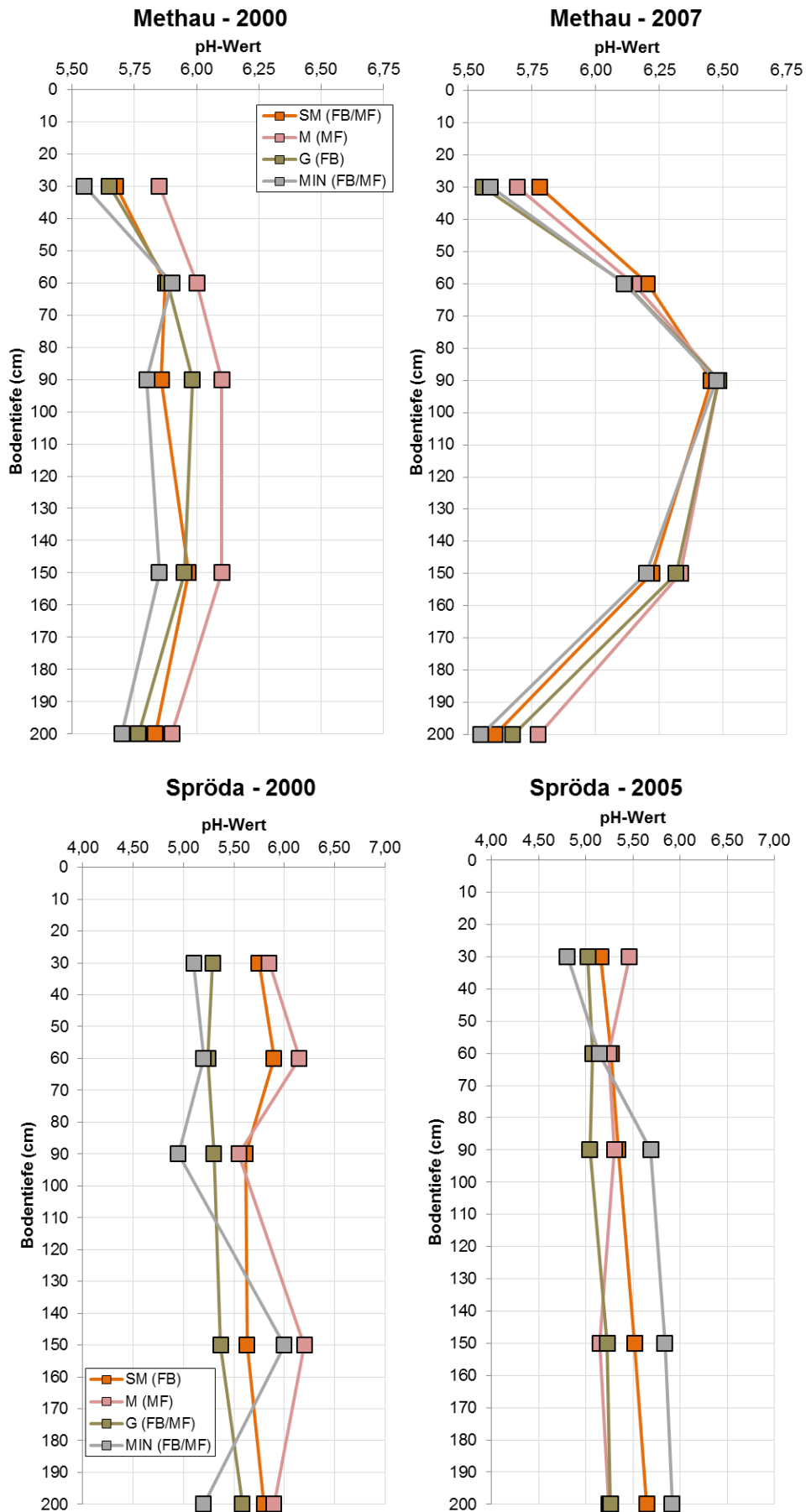


Abbildung 45: Entwicklung der pH-Werte an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten) im Tiefenprofil nach Düngemittelart

4.3.2 N_{\min} -Menge und -Zusammensetzung

4.3.2.1 0 – 90 cm Bodentiefe

Unter N_{\min} wird der Gehalt an mineralisiertem Stickstoff, d. h. an Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) und an Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) verstanden. Durch analytische Ermittlung des N_{\min} -Gehaltes im Frühjahr kann, neben der direkten N-Versorgung der Ackerkulturen, eine Einbeziehung der erhaltenen Werte zur N-Bedarfsermittlung erfolgen. Vor allem im Hinblick auf eine Produktionsintensivierung z.B. durch gesteigerte Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, kann eine mögliche N-Belastung der Umwelt insbesondere durch die N_{\min} -Herbstuntersuchung kontrolliert werden.

Die Stickstoffverfügbarkeit des Bodens wurde in den Versuchen durch kontinuierliche Feststellung der N_{\min} -Gehalte ermittelt. Die N_{\min} -Beprobung erfolgte jeweils zu Vegetationsbeginn im zeitigen Frühjahr (Ende März – Anfang April) und im Herbst nach der Ernte (Ende Oktober – Anfang November). Der mineralische Stickstoffgehalt im Boden wurde in differenzierten Bodenschichten (0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm) bestimmt. Die folgenden Auswertungen zeigen die jährliche Entwicklung der N_{\min} -Gehaltswerte der zweiten Versuchsperiode ab dem Jahr 2000 bis zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 (Abbildung 46 u. Abbildung 47).

Im Gegensatz zu den Frühjahrswerten sind bei den Herbstmessungen beider Standorte erheblich stärkere Schwankungen der N_{\min} -Werte über die Tiefenstufen zu erkennen. Sowohl innerhalb eines Jahres als auch im Mittel aller Versuchsjahre sind die N_{\min} -Herbst-Gehalte im Oberboden mit Abstand am höchsten. In den Jahren mit Klee-grasbau, von denen Untersuchungsdaten vorlagen (Methau: 2000, 2001, 2006, 2007 und Spröda: 2000, 2001, 2005), war der N_{\min} -Vorrat in allen Bodenschichten niedriger als in den Anbaujahren, in denen z.B. Kartoffeln (Methau, Spröda: 2004), Winterweizen (2002) und Triticale (Methau, 2005) einen Anbau fanden.

Das ist auch nachvollziehbar, da die Düngergaben meistens zu diesen Nichtleguminosen erfolgten und demgegenüber beim Klee-gras vorrangig die Luftstickstoffbindung von Bedeutung ist. Zusammenfassend waren im Vergleich zu Methau die N_{\min} -Gehalte am Standort Spröda zum Frühjahr und Herbst im Oberboden meistens höher, mit gleichzeitig größerer Verlagerungstendenz in tiefere Bodenschichten. Die weitgehend moderaten Herbst- N_{\min} -Gehalte von $<50 \text{ kg N/ha}$ zeigen eine geringe Wahrscheinlichkeit von Stickstoffverlusten über den Winter an.

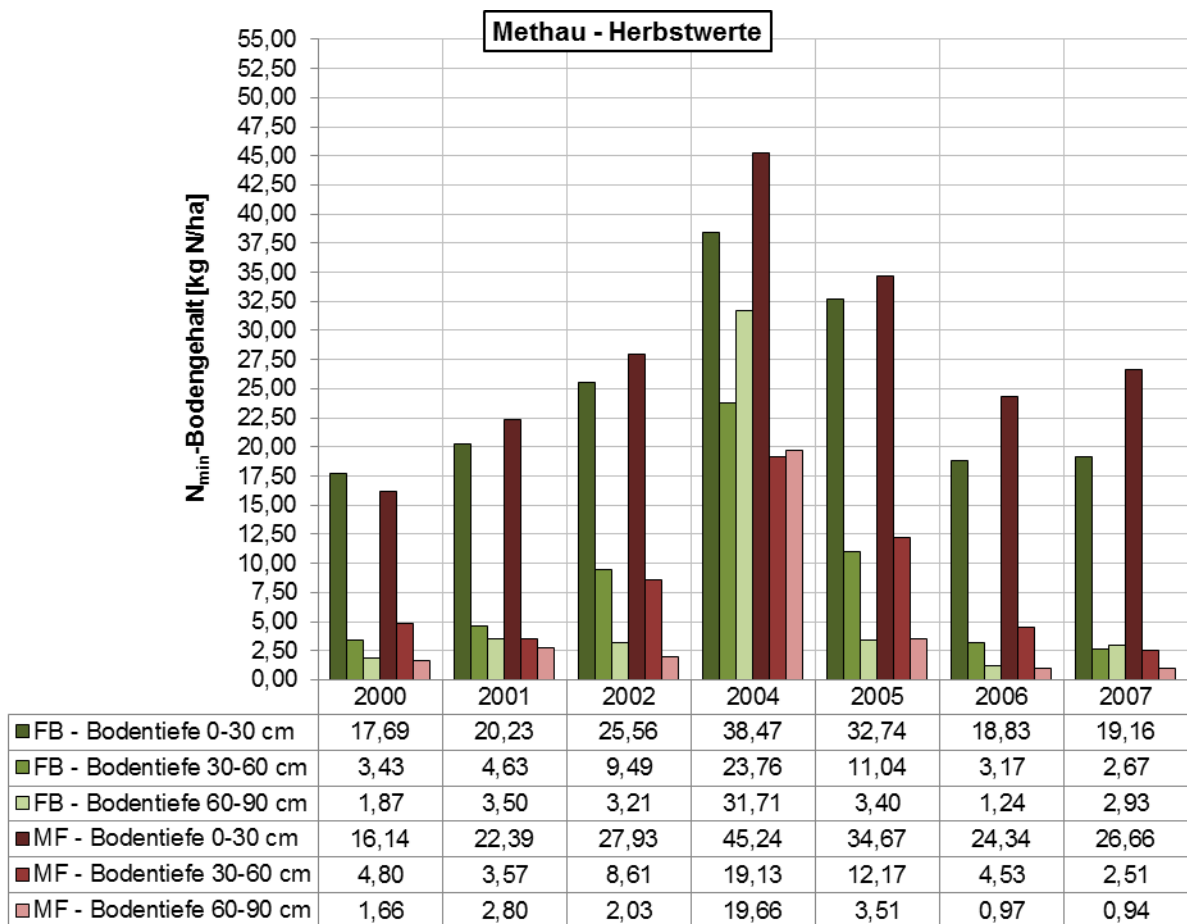
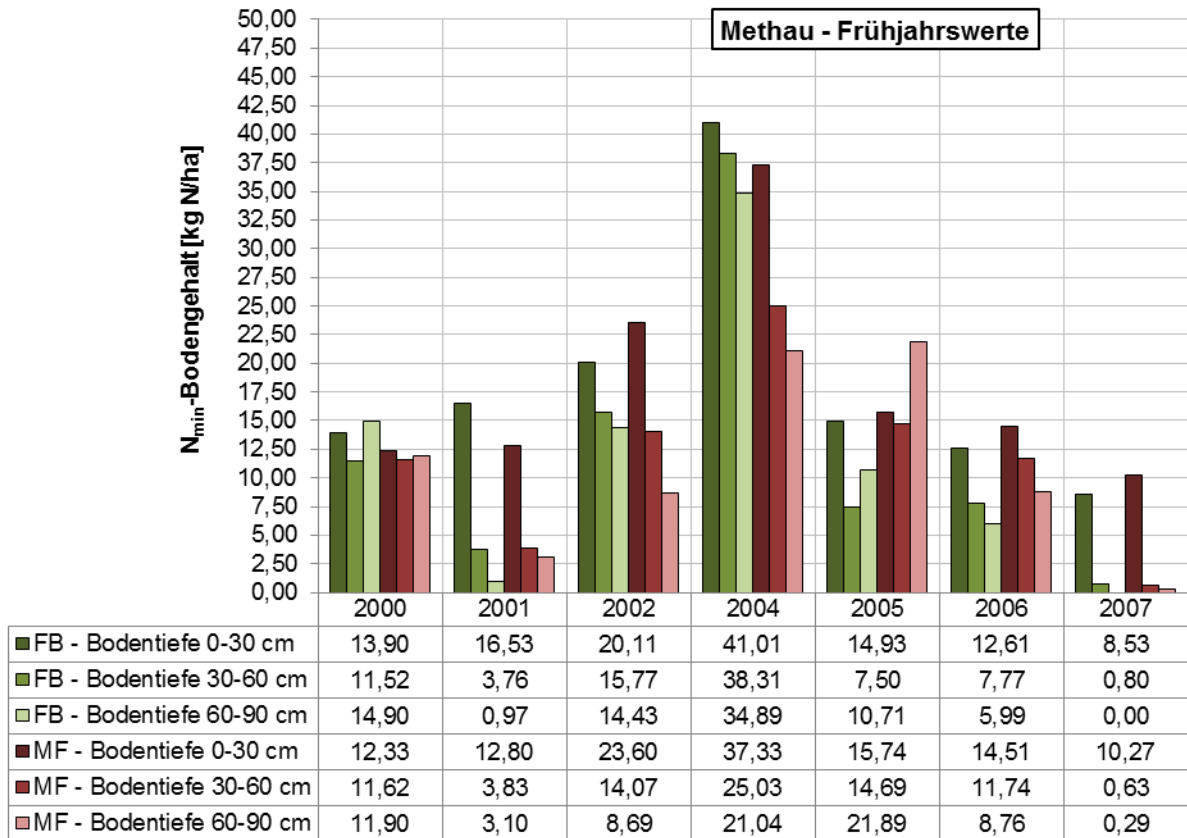


Abbildung 46: Entwicklung der N_{min} -Gehalte im FB- und MF-System in 3 Bodenschichten bei Frühjahrs- und Herbstmessung am Standorte Methau (ohne MIN-Varianten)

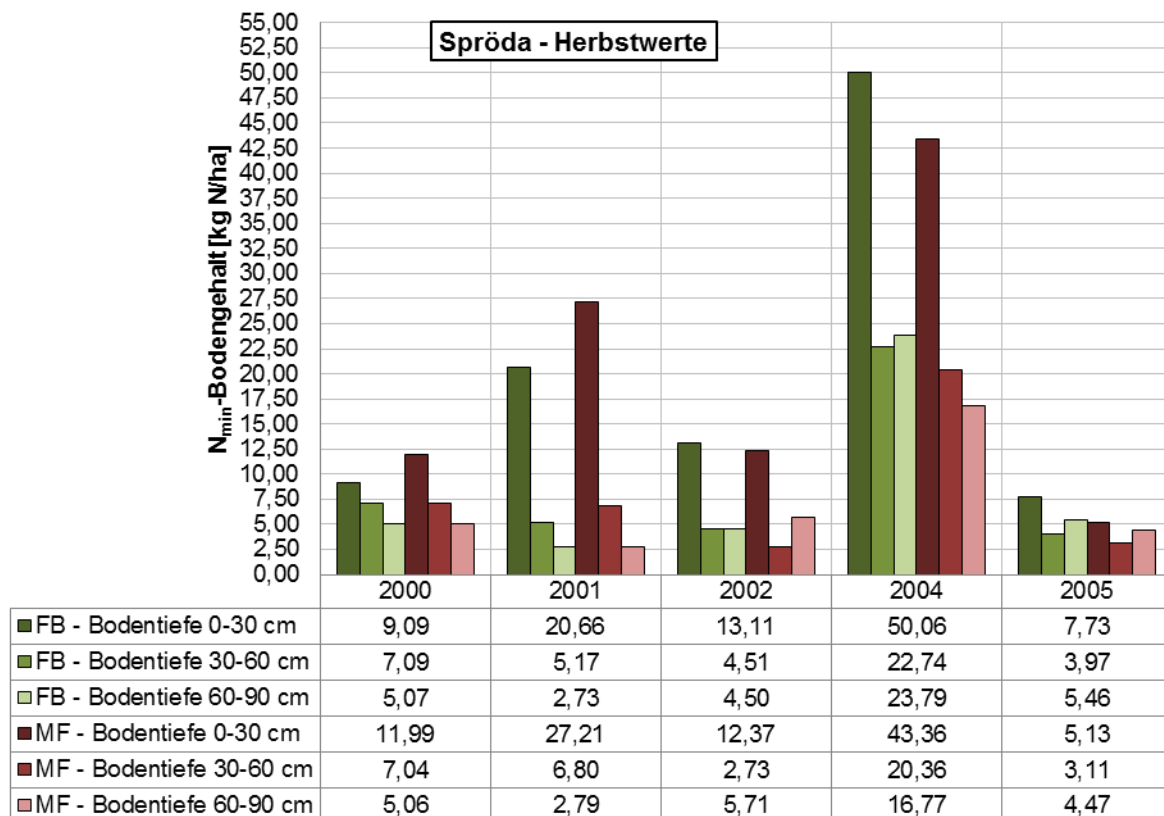
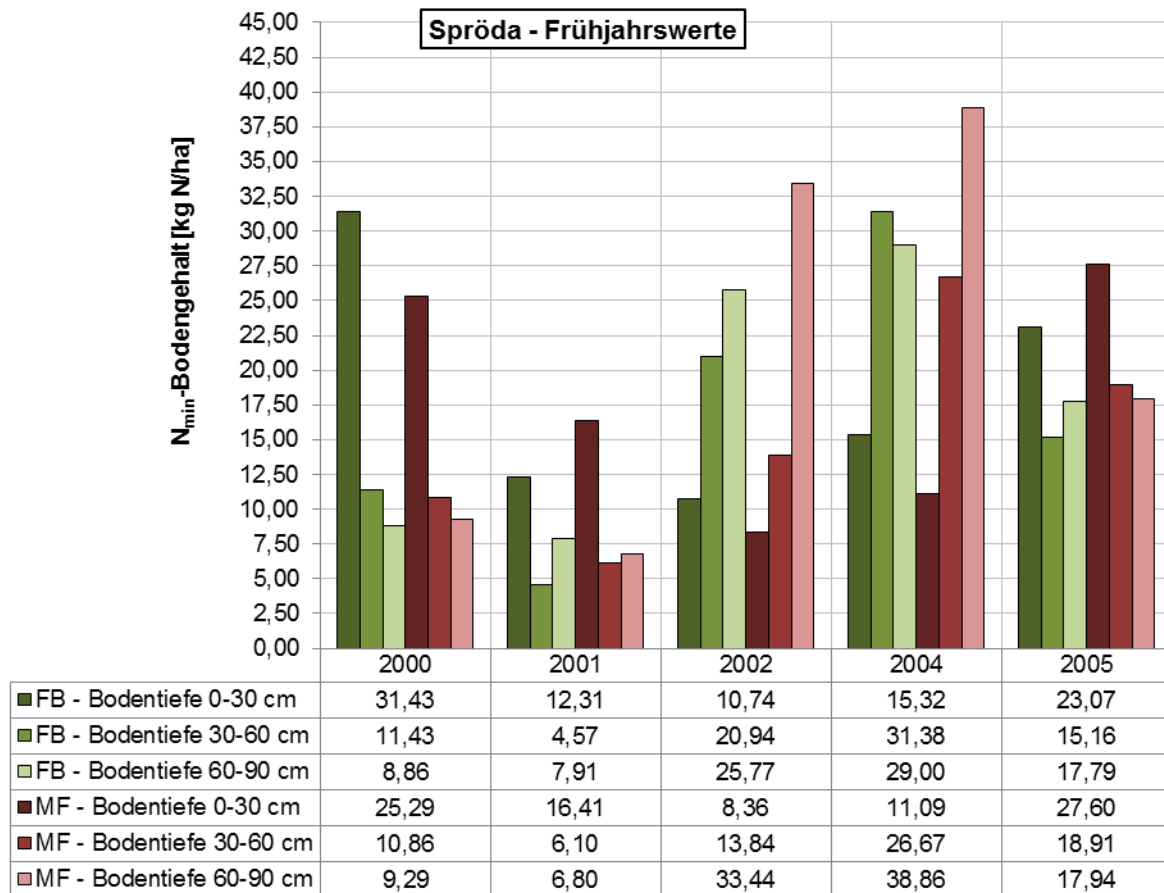


Abbildung 47: Entwicklung der Nmin-Mengen im FB- und MF-System in 3 Bodenschichten bei Frühjahrs- sowie Herbstmessung am Standorte Spröda (ohne MIN-Düngung)

Die Tabelle 165 weist hierzu die entsprechenden Mittelwerte der Anbausysteme für beide Standorte auf. Die höchsten N_{\min} -Werte werden im Allgemeinen in der Ackerkrume vorgefunden. Sie liegen meistens am Ort Methau um ca. 10 kg N/ha und in Spröda sogar um 15 – 20 kg N/ha höher in den Herbstuntersuchungen als im Frühjahr. Dagegen liegen die N_{\min} -Gehalte in den tieferen Schichten jeweils im Frühjahr höher als bei den Herbstproben. Nur in Spröda kann davon ausgegangen werden, dass in den MF-Varianten geringfügig höhere mittlere N_{\min} -Werte im Boden vorgefunden werden.

Tabelle 165: N_{\min} -Gehalt [kg N/ha] im Mittel der Jahre im FB- und MF-System in 3 Bodenschichten nach Frühjahrs- und Herbstmessung an den Standorten Methau und Spröda (ohne MIN-Düngung)

Methau - Frühjahr	MW - Futterbau	MW - Marktfrucht
Bodentiefe 0-30 cm	18,2	18,1
Bodentiefe 30-60 cm	12,2	11,7
Bodentiefe 60-90 cm	11,7	10,8
Summe 0 – 90 cm	42,1	40,6
Methau - Herbst	MW - Futterbau	MW - Marktfrucht
Bodentiefe 0-30 cm	28,7	29,4
Bodentiefe 30-60 cm	8,7	8,3
Bodentiefe 60-90 cm	6,4	4,3
Summe 0 – 90 cm	43,8	42,0
Spröda – Frühjahr	MW - Futterbau	MW - Marktfrucht
Bodentiefe 0-30 cm	18,6	17,8
Bodentiefe 30-60 cm	16,7	15,3
Bodentiefe 60-90 cm	17,9	21,3
Summe 0 – 90 cm	53,2	54,4
Spröda - Herbst	MW - Futterbau	MW - Marktfrucht
Bodentiefe 0-30 cm	33,4	38,2
Bodentiefe 30-60 cm	14,4	16,8
Bodentiefe 60-90 cm	9,1	7,5
Summe 0 – 90 cm	56,9	62,5

Zum genauen Vergleich der Untersuchungsvarianten wurden schließlich die Mittelwerte der N_{\min} -Untersuchungen aus jeweils mehreren Jahren gebildet, um repräsentative Werte zum Versuchsende abbilden zu können (Tabelle 166, Tabelle 167, Tabelle 168 u. Tabelle 169). Als Vergleichs- und Orientierungswerte sind die Gehalte zu Versuchsbeginn im Jahr 1993 den ermittelten Mittelwerten gegenübergestellt worden. Für das Frühjahr 1993 in Spröda lagen keine Ergebnisse vor.

Die N_{\min} -Gehalte im Frühjahr weisen in den beiden Standorten über die Tiefenbereiche hinweg eine verhältnismäßig geringe Schwankungsbreite zwischen den Anbausystemen auf (Tabelle 166). Im Frühjahr wurden keine unterschiedlich hohen Gehalte zwischen den Anbausystemen ermittelt. Im Durchschnitt liegen die Herbst- N_{\min} -Werte an beiden Standorten und Systemen auf relativ niedrigem Niveau. Am Ort Methau

werden auf dem Lößboden mit ca. 11 kg N/ha etwas höhere N_{\min} -Werte im Herbst ausgewiesen. Nur in der Tendenz werden auf den MF-Varianten etwas höhere Werte ermittelt, besonders in den Varianten ohne Düngung. Die Durchschnittswerte liegen am Ort Spröda jedoch zwischen den Systemen auf gleicher Höhe.

Mit steigender Düngung werden an beiden Versuchsorten ansteigende N_{\min} -Werte sowohl im Oberboden als auch im gesamten untersuchten Bodenprofil gemessen. Im Vergleich zu keiner Düngung ist der Anstieg in Methau deutlicher ausgeprägt als am Ort Spröda, besonders nach sehr hoher organischer Düngung (2 DE/ha). Im Vergleich zu den Ausgangswerten liegen die N_{\min} -Werte der Varianten ohne Düngung oft unter und die Werte nach hoher Düngungszufuhr höher als die im Jahr 1993. Das trifft besonders für die MF-Varianten zu. Am Ort Methau sind im Vergleich zu den Ausgangsgehalten alle Werte der Versuchsvarianten angestiegen, in Spröda liegen dagegen die Ausgangswerte über allen Versuchsvarianten. Die Aufschlüsselung der Düngungsvarianten auf die verschiedenen Düngemittel und die Anbausysteme kann der Tabelle 167 sowie der Tabelle 168 entnommen werden.

Tabelle 166: Aggregierte N_{\min} -Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) zu Versuchsbeginn und -ende unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2004 – 2007) – Frühjahr						Spröda (MW 2000 – 2003, 2005) – Frühjahr					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau											
23,0	17,7	19,8	18,4	20,5	19,1	-	14,5	16,6	19,3	24,8	18,8
52,0	40,8	47,2	45,9	46,8	45,2	-	46,9	39,6	49,5	53,8	47,5
Marktfrucht											
18,0	18,3	18,4	18,8	21,8	19,3	-	16,5	19,1	20,4	20,2	19,1
40,0	35,3	37,6	47,4	56,5	44,2	-	46,4	44,6	52,4	50,3	48,4
MW											
20,5	18,0	19,1	18,6	21,2	19,2	-	15,5	18,0	19,9	22,5	19,0
46,0	38,1	42,4	46,7	51,7	44,7	-	46,7	42,1	51,0	52,1	48,0

Methau – Herbst						Spröda – Herbst					
Futterbau											
15,9	23,3	24,6	27,4	31,9	26,8	20,0	16,3	18,2	18,9	25,2	19,7
32,9	38,4	43,2	48,4	54,7	46,2	68,1	33,4	35,4	32,9	45,1	36,7
Marktfrucht											
11,7	26,1	29,6	30,1	41,8	31,9	19,7	19,7	20,2	19,7	20,2	20,0
15,6	42,0	40,7	45,1	63,3	47,8	41,1	36,0	33,2	35,5	35,8	35,1
MW											
13,8	24,7	27,1	28,8	36,9	29,4	19,9	18,0	19,2	19,3	22,7	19,8
24,3	40,2	42,0	46,8	59,0	47,0	54,6	34,7	34,3	34,2	40,5	35,9

Tabelle 167: N_{min}-Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und -stufen in den Anbausystemen am Standort Methau

Methau – Frühjahr									
1992/3	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
23,0	17,7	20,8	19,7	23,8	17,7	18,8	17,1	17,2	15,9
52,0	40,8	51,5	49,8	52,2	40,8	42,9	41,9	41,4	54,7
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
18,0	18,3	19,2	18,6	19,3	18,3	17,6	19,0	24,4	19,4
40,0	35,3	36,1	41,3	45,5	35,3	39,2	53,6	67,4	54,1
Methau – Herbst									
Futterbau									
1992/93		SM				G			
15,8	23,3	23,8	29,2	34,3	23,3	25,7	25,7	29,5	40,5
32,3	38,4	43,6	49,2	58,3	43,6	42,8	47,6	51,2	68,6
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
11,9	26,1	24,3	28,8	40,8	26,1	35,0	31,4	42,8	41,8
15,9	42,0	34,0	41,1	62,1	42,0	47,4	49,1	64,4	73,8

Tabelle 168: N_{min}-Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda – Frühjahr									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
-	14,5	17,1	19,3	28,0	14,5	16,1	21,6	22,2	22,2
-	46,9	37,9	44,6	55,7	46,9	41,3	54,3	51,9	75,7
Marktfrucht									
1992/93		M				G			
-	16,5	19,2	19,2	18,2	16,5	19,1	21,7	22,2	17,3
-	46,4	42,7	49,4	47,0	46,4	46,6	55,4	53,6	45,9
Spröda – Herbst									
Futterbau									
1992/93		SM				G			
20,3	16,6	20,4	19,3	27,7	16,6	16,1	18,4	22,7	55,0
70,9	33,4	34,5	31,3	49,3	33,4	36,2	34,4	40,8	81,9
Marktfrucht									
1992/93		M				G			
20,0	19,7	22,3	21,4	18,7	19,7	18,2	18,1	21,8	46,0
46,6	36,0	36,9	35,2	34,1	36,0	29,6	35,7	37,4	74,8

Die dauerhafte Anwendung organischer Düngemittel hat auch zu einer durchschnittlichen Anhebung der N_{min}-Werte geführt (Tabelle 169). Der Anstieg der Werte ist jedoch nicht so stark ausgeprägt, auch nicht die der Herbstbeprobungen nach der Ernte. Die ermittelten Werte liegen an beiden Untersuchungsterminen relativ dicht beieinander, so dass keine Rangfolge unter den organischen Düngemitteln zur N_{min}-Dynamik erstellt werden kann.

Nach langjähriger KAS-Anwendung werden an beiden Standorten fast ausnahmslos die höchsten N_{min}-Werte im Frühjahr und besonders deutlich ausgeprägt auch nach den Ernten im Herbst gefunden. Das trifft auf die Frühjahrswerte in tieferen Bodenschichten zu, während die Herbstwerte auch besonders in der Bodenkrume im Vergleich zu den anderen Düngemitteln stark angestiegen sind. Hohe Herbstwerte sind besonders kritisch zu bewerten, da sie über den Winter leicht einer Verlagerung und Auswaschung unterliegen.

Tabelle 169: N_{min}-Mengen [kg N/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau – Frühjahr				Spröda – Frühjahr			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
17,7	21,4	17,7	15,9	14,5	21,5	19,0	22,2
40,8	51,2	42,1	54,7	46,9	46,1	49,2	75,7
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
18,3	19,0	20,3	19,4	16,5	18,9	21,0	17,3
35,3	41,0	53,4	54,1	46,4	46,4	51,9	45,9
Methau – Herbst				Spröda – Herbst			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
23,3	29,1	26,9	40,5	16,3	22,5	19,1	55,0
38,4	50,4	47,2	68,6	33,4	38,4	37,1	81,9
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
26,1	31,3	36,4	41,8	19,7	20,8	19,4	46,0
42,0	45,7	53,6	73,8	36,0	35,4	34,2	74,8

4.3.2.2 Tiefenprofil

Die N_{min}-Mengen im Tiefenprofil im FB- und im MF-System der Jahre 2000 und 2005/2007 zeigen die nachfolgende Abbildung 48, sowie die Abbildung 49 und die Abbildung 50. In Methau ist der N_{min}-Gehalt des Oberbodens (0 – 30 cm Tiefe) in der MF-Variante zu beiden Versuchszeitpunkten (2000, 2007) höher als der Gehalt in der FB-Variante. Über die zwei Versuchszeitpunkte hinweg ist der N_{min}-Gehalt des Bodens von 30 bis 150 cm Bodentiefe in Methau abgesunken, unterscheidet sich zwischen den zwei Anbausystemen ab 60 cm Bodentiefe nur noch geringfügig und liegt im Jahr 2007 weitgehend auf einem Niveau (Abbildung 48).

In Spröda haben sich die Werte der Anbausysteme im Oberboden tendenziell angeglichen. In Tiefen unter 60 cm ist eher eine N_{min}-Zunahme festzustellen. Die zwei Anbau-Systeme haben sich in Bezug auf die N_{min}-Gehalte insgesamt weniger stark angenähert als in Methau, differenzieren sich ab 90 cm Bodentiefe zu beiden Messzeitpunkten aus und zeigen ab 30 – 60 cm Tiefe im MF-System sowohl im Jahr 2000 als auch im Jahr 2005 höhere N_{min}-Gehalte als in der FB-Variante auf (Abbildung 48).

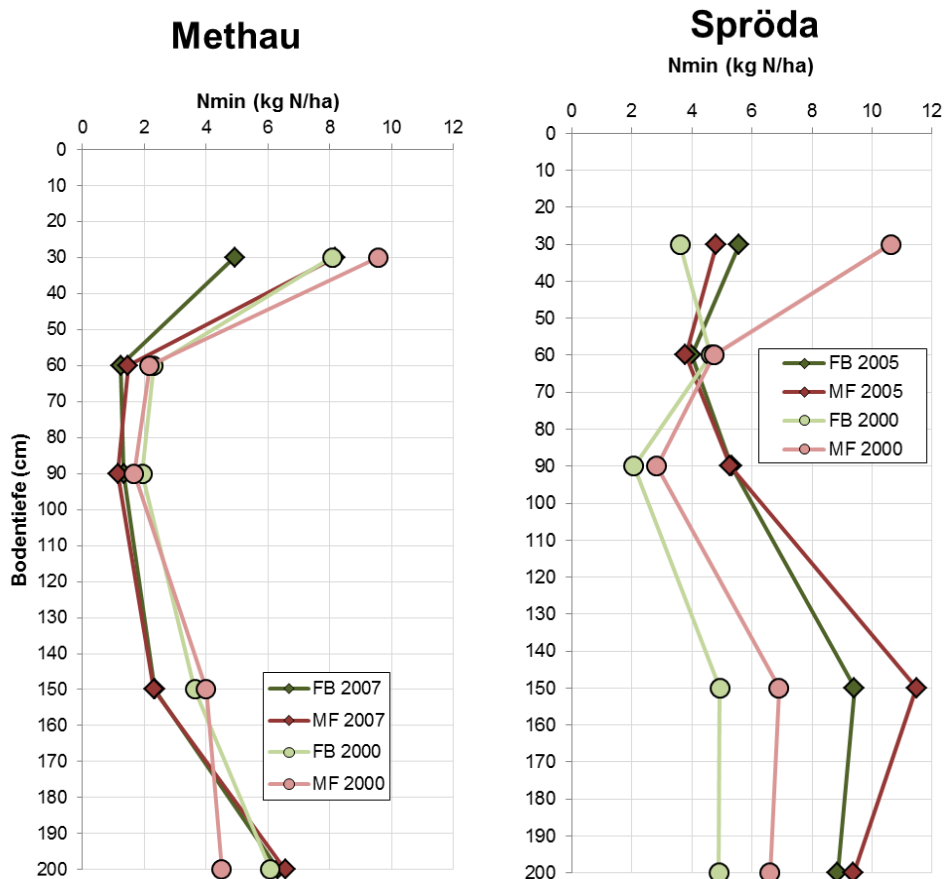


Abbildung 48: N_{min}-Mengen im Tiefenprofil der Anbausysteme (ohne MIN-Düngung)

Die N_{min}-Gehalte der Düngesteigerungsstufen liegen am Standort Methau, über die Bodentiefen betrachtet, nahe beieinander (Abbildung 49). Im Oberboden (0 – 30 cm) zeigt die intensiv gedüngte Variante mit 2,0 DE/ha erwartungsgemäß den höchsten N_{min}-Gehalt auf. Die Untersuchungsergebnisse des Jahres 2007 zeigen eine deutliche Ausdifferenzierung in der Bodentiefe von 150 – 200 cm auf. Der ermittelte N_{min}-Gehalt erhöhte sich hier parallel in Reihenfolge der steigenden Düngungsintensität. In niedrigeren Bodentiefen liegen die N_{min}-Gehalte des Untersuchungsjahres 2007 über alle Intensitäten hinweg auf einem niedrigeren Niveau als im Jahr 2000.

Gut zu erkennen ist ein Bereich zwischen 60 cm und ungefähr 150 cm Bodentiefe, der durch relativ geringe N-Gehalte ausgewiesen wird. Es ist zu vermuten, dass auf diesem tiefgründigen Löss das Wurzelwerk der angebauten Fruchtarten, zumindest der tiefer wurzelnden Arten wie dem Klee gras, bis in diese Tiefen reicht. Hierdurch werden die Nährstoffe aus diesen Tiefenabschnitten noch recht gut verwertet. Erst in noch größerer Tiefe können die Wurzeln offenbar die Nährstoffreserven nicht mehr erreichen, so dass eine Verlagerung entsprechend dem angelieferten Nährstoffpotenzial erfolgen kann.

Am Standort Spröda ist dieser Entleerungshorizont wesentlich geringer ausgeprägt (Abbildung 49). Offenbar reichen die Wurzeln auf diesem Sandboden nur bis in eine Bodentiefe von 100 – 120 cm. In Spröda haben sich die N_{min}-Gehalte der Bodentiefen 0 – 60 cm zwischen beiden Probenahmejahren vergleichsweise wenig verändert. Sie sind in der Tendenz eher etwas geringer geworden. In den tieferen Bodenschichten sind die N_{min}-Gehalte zum zweiten Untersuchungstermin durchweg höher als am ersten Termin. In der Tendenz weisen auch hier die Varianten mit höherer Düngungszufuhr auch etwas höhere verlagerte N-Mengen auf.

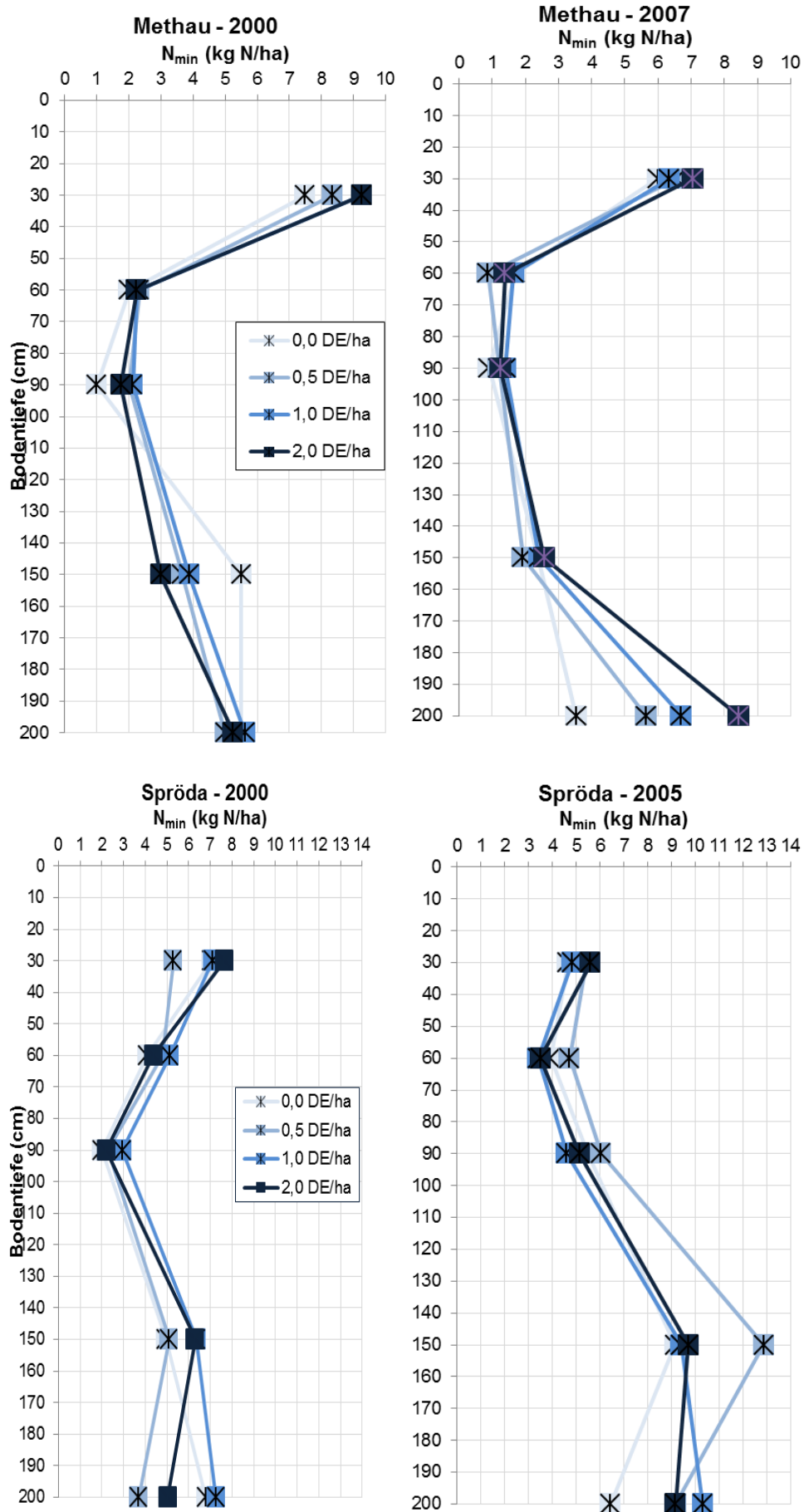


Abbildung 49: N_{min} -Gehalte im Tiefenprofil bei differenzierter Düngintensität an den Standorten Methau und Spröda (FB + MF gemittelt)

Wie der Abbildung 50 für beide Standorte entnommen werden kann, können bei den eingesetzten Düngemittelarten lediglich große Unterschiede im Verlagerungspotenzial zwischen den organischen Düngemitteln einerseits und dem Einsatz der N-Mineraldüngung aufgezeigt werden. Bis auf 90 cm Bodentiefe liegen am Ort Methau alle Düngerarten in ihren N_{\min} -Werten relativ dicht beieinander. In weiter zunehmender Bodentiefe ist jedoch eine deutliche Aufgliederung der N_{\min} -Gehalte zwischen den organischen Düngemitteln und der N-Mineraldüngung zu erkennen, die im Tiefenverlauf bereits im Jahr 2000 und noch deutlicher in 2007 eingetreten ist. Die KAS-Düngung hat hiernach bereits relativ früh nach Beginn der Versuche ein anderes Verlagerungspotenzial aufzuweisen. Zwischen den eingesetzten organischen Düngemitteln (Stalldung, Grüngut, Gülle) können demgegenüber keine differenzierten N_{\min} -Werte beobachtet werden, da die Werte im gesamten Tiefenverlauf relativ dicht beieinander liegen.

Auch am Ort Spröda können keine großen Unterschiede zwischen den organischen Düngemitteln ausgemacht werden (Abbildung 50). Die Werte streuen etwas mehr und liegen im Tiefenprofil auf geringfügig höherem Niveau als am Ort Methau. Im Jahr 2000 weisen die Stalldung- und Grüngutvarianten (M) die niedrigsten N_{\min} -Werte fast im gesamten Profillbereich auf. Die Gülle- und besonders auch schon die KAS-Variante sind demgegenüber bereits zum ersten Termin durch etwas höhere N_{\min} -Werte gekennzeichnet. Zum zweiten Untersuchungstermin im Jahr 2005 sind die Werte der Stalldung- und Grüngutvarianten in etwa auf gleichem Niveau verblieben, während die Gülle- und besonders die N-Mineraldüngungsvarianten in ihren Mengen zugenommen haben. Am zweiten Termin weisen die KAS-Varianten bereits deutlich erhöhte Werte ab einer Tiefe von 60 cm und die der Güllezufuhr ab 90 cm Bodentiefe auf. Nach diesen Ergebnissen bestehen große Unterschiede im N-Verlagerungsverhalten zwischen den eingesetzten Düngemitteln. An beiden Standorten können im Prinzip gleiche Ergebnisse zwischen organischen und mineralischen Düngemitteln aufgezeigt werden.

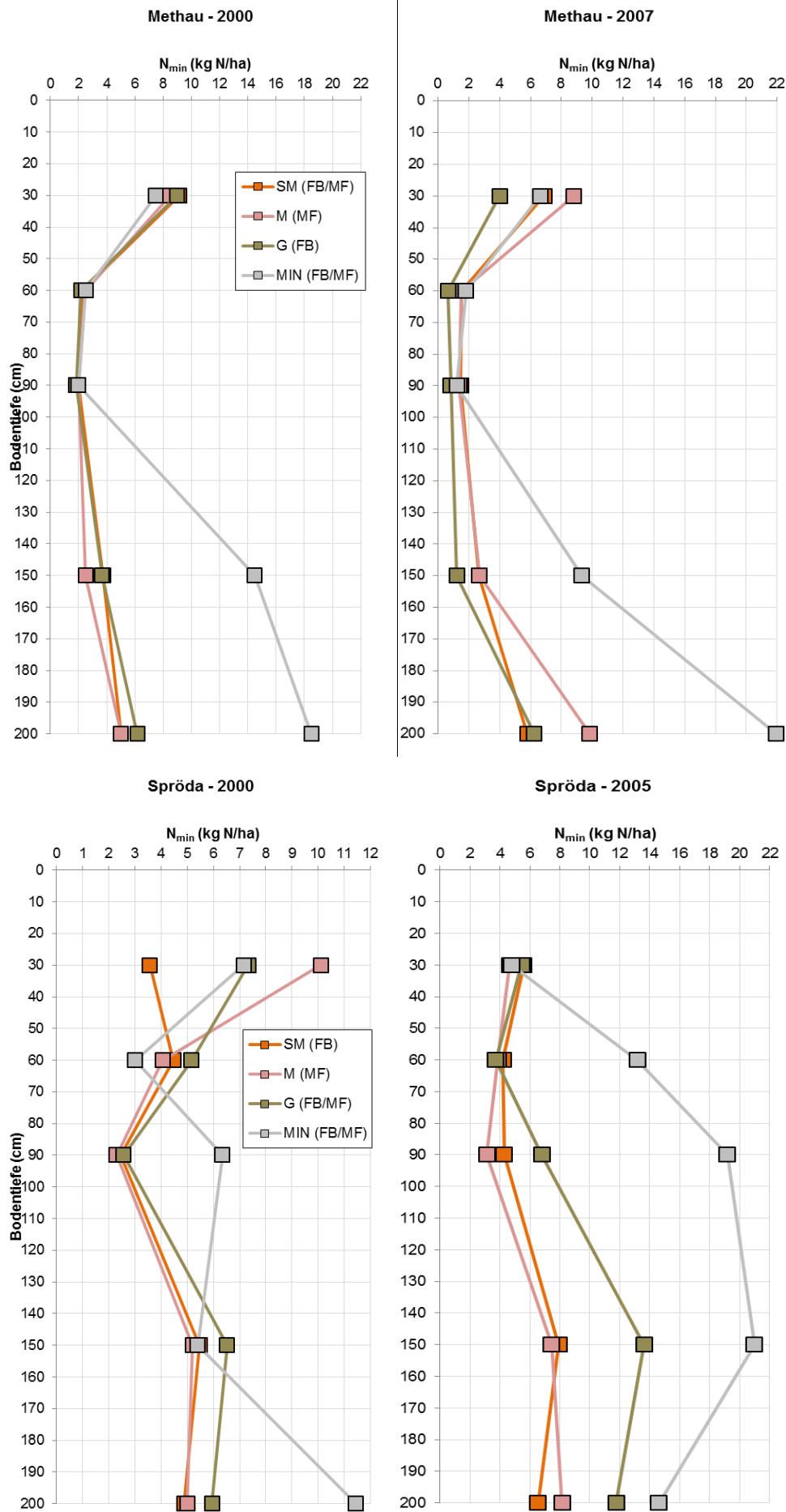


Abbildung 50: N_{min} -Mengen im Tiefenprofil nach Düngerarten (FB + MF gemittelt)

In der Abbildung 51 sowie der Abbildung 52 ist der Zusammenhang zwischen den N_{\min} -Mengen zwischen den Untersuchungsbereichen 0 – 90 cm und 90 – 200 cm Bodentiefe dargestellt worden. Insbesondere die Ergebnisse der Herbstbeprobung stimmen an beiden Orten sehr gut überein mit den Ergebnissen aus der Tiefenbeprobung. Die stark gesteigerte organische Düngung hat zwar auch etwas zur Erhöhung der Werte beigetragen, insbesondere die der 2 DE-Variante. Doch sind nach KAS-Düngung die N_{\min} -Werte wesentlich deutlicher angestiegen, obwohl insgesamt ein vergleichbar hohes Düngungsniveau gegeben worden ist wie in den 1 – 2 DE-Varianten (vgl. Tabelle 167 u. Tabelle 168). Dauerhaft höhere N_{\min} -Werte zwischen 40 – 50 kg N/ha im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe sind an beiden Standorten offenbar bereits mit einem stärkeren Verlagerungspotenzial verbunden. Die statistische Beziehung zwischen den Herbst- N_{\min} -Werten zwischen 0 – 90 cm und den Werten zwischen 90 – 200 cm Bodentiefe beträgt in Spröda mit $r = 0,878^{***}$ und in Methau mit $r = 0,903^{***}$ sehr hohe Korrelationen.

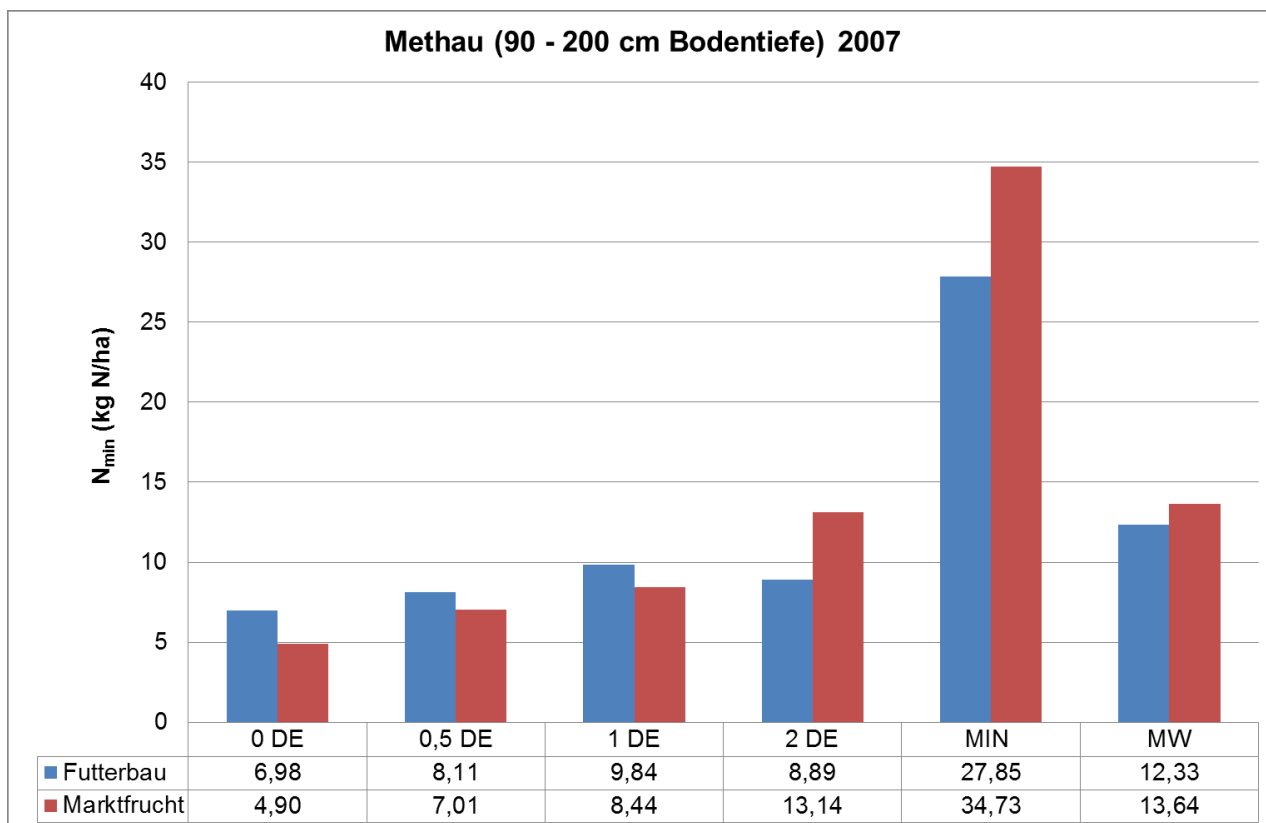
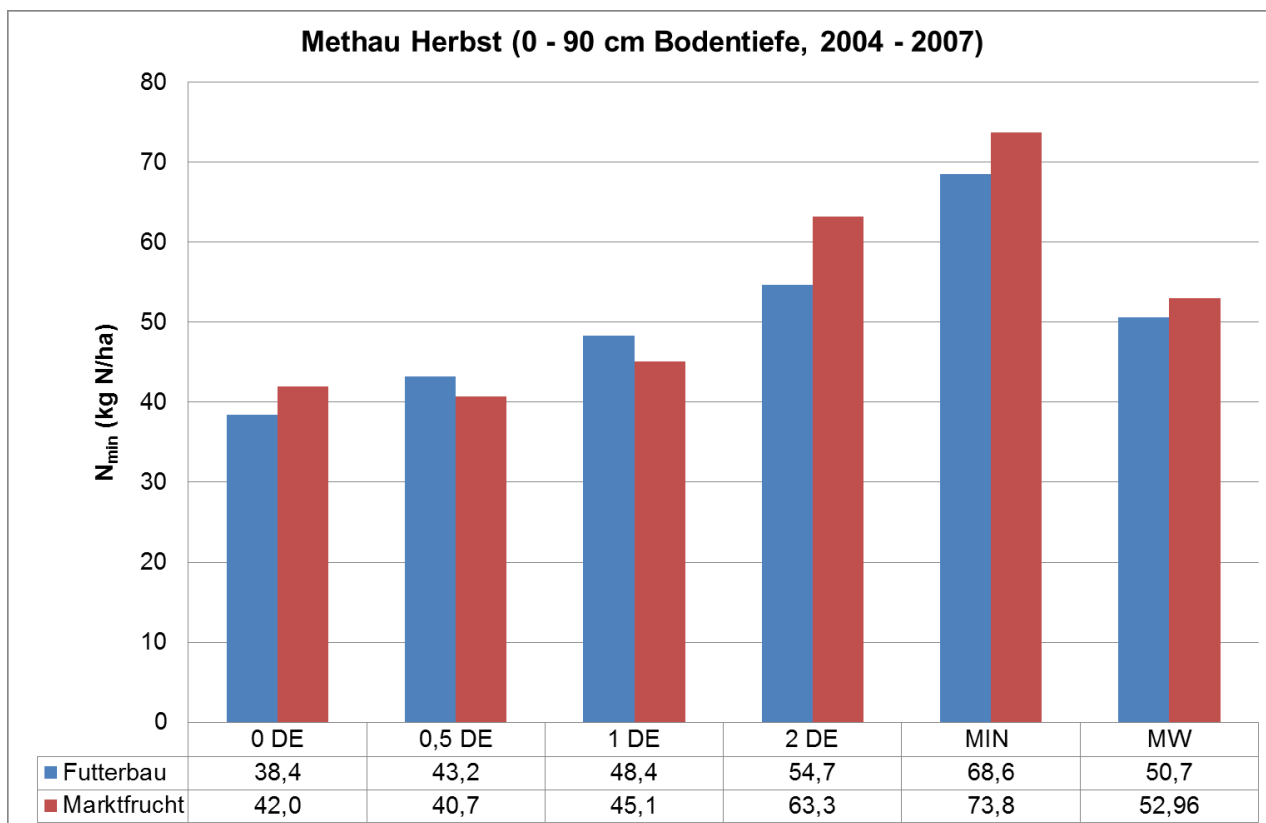


Abbildung 51: N_{\min} -Mengen im Herbst (0 – 90 cm, oben) und im Tiefenprofil (90 – 200 cm, unten) nach Düngerarten in Methau

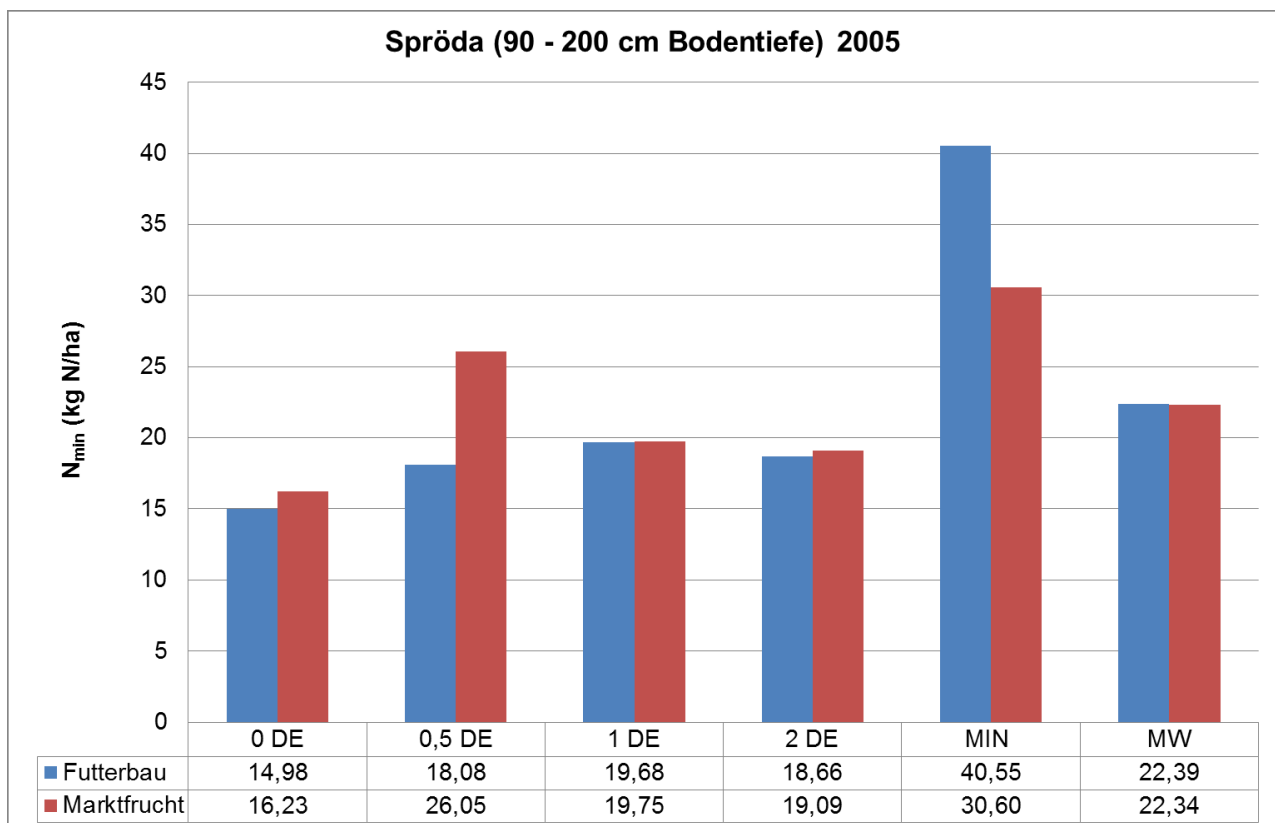
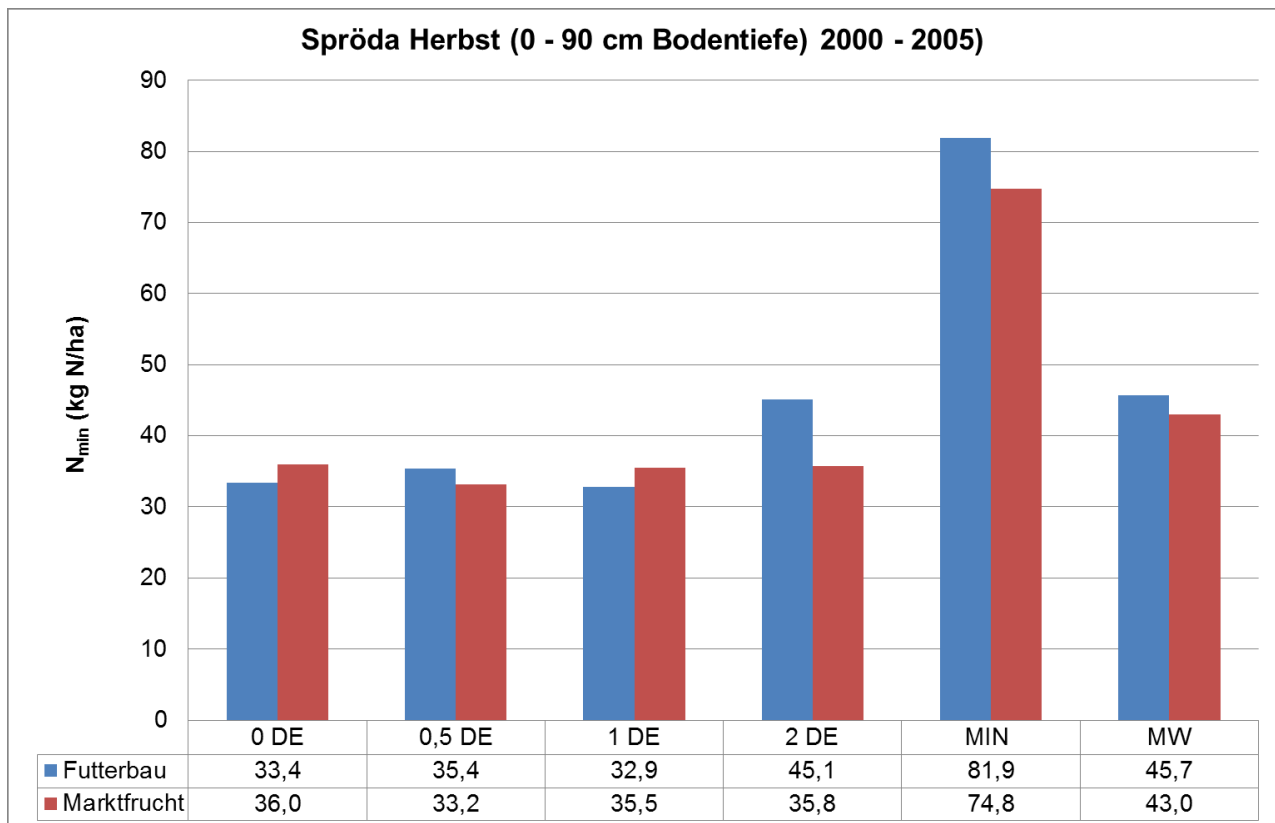


Abbildung 52: N_{min} -Mengen im Herbst (0 – 90 cm, oben) und im Tiefenprofil (90 – 200 cm, unten) nach Düngerarten in Spröda

4.3.2.3 N_{\min} -Aufteilung und -Zusammensetzung

Die Bodenuntersuchungen zur N_{\min} -Analyse wurden in beiden Versuchen im Profil bis 90 cm Tiefe in 30 cm Schichten und im Untergrund bis 200 cm in 50 cm Schichten jeweils auf $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ separat untersucht. In den nachfolgenden Darstellungen wurden, wegen der hohen Streuung der Einzelwerte, die Mittelwerte dieser Analysen über die Anbausysteme der zweiten Versuchsphase in Methau (2000 – 2007, ohne 2003 u. 2004 im Frühjahr) und in Spröda (2000 – 2005, ohne 2003 u. 2004 im Frühjahr, ohne 2003 im Herbst) präsentiert.

Zwischen den mittleren Werten der FB- und MF-Systeme wurde keine unterschiedliche relative Aufteilung zwischen den untersuchten Tiefenabschnitten gefunden (ohne Darstellung). Die mittlere Aufteilung der N_{\min} -Werte im Frühjahr auf die drei Tiefen war auch zwischen den Anbauorten relativ ähnlich (Abbildung 53, oben). Im Oberboden waren in Methau etwas höhere Werte und in der Schicht 60 – 90 cm Tiefe etwas geringere Anteile als am Vergleichsort Spröda. Die Varianten ohne Düngung und mit N-Mineraldüngung wiesen in der Tendenz die geringsten Werte im Oberboden und die höchsten Anteile in der Tiefe unter 60 cm auf.

Die zusammengefassten Werte der Herbstanalysen zeigen für Spröda eine Tendenz, dass in Abhängigkeit zum Düngungsniveau die N_{\min} -Anteile im Oberboden ansteigen, die N-Mineraldüngung führte hierbei zu den höchsten Werten in dieser Bodenschicht und zu den geringsten Werten in der Schicht unter 60 cm Bodentiefe. In Methau gleichen sich die Versuchsvarianten weitgehend aneinander an (Abbildung 53, Mitte).

Auch im Tiefenprofil von 90 – 200 cm Bodentiefe sind einige Unterschiede zwischen den Versuchsorten und den Varianten zu erkennen (Abbildung 53, unten). In Methau wurden deutlich höhere Anteile in der Tiefe ab 150 cm gefunden als am Ort Spröda, an dem wahrscheinlich bereits die Bodentiefe unter 90 cm nicht mehr so intensiv durchwurzelt ist, so dass hier bereits ein höherer Anteil des verlagerbaren Stickstoffs im Durchschnitt der Jahre gefunden wurden. Mit steigendem Düngungsniveau nahmen die relativen Anteile in der unteren Bodenschicht an beiden Orten etwas zu.

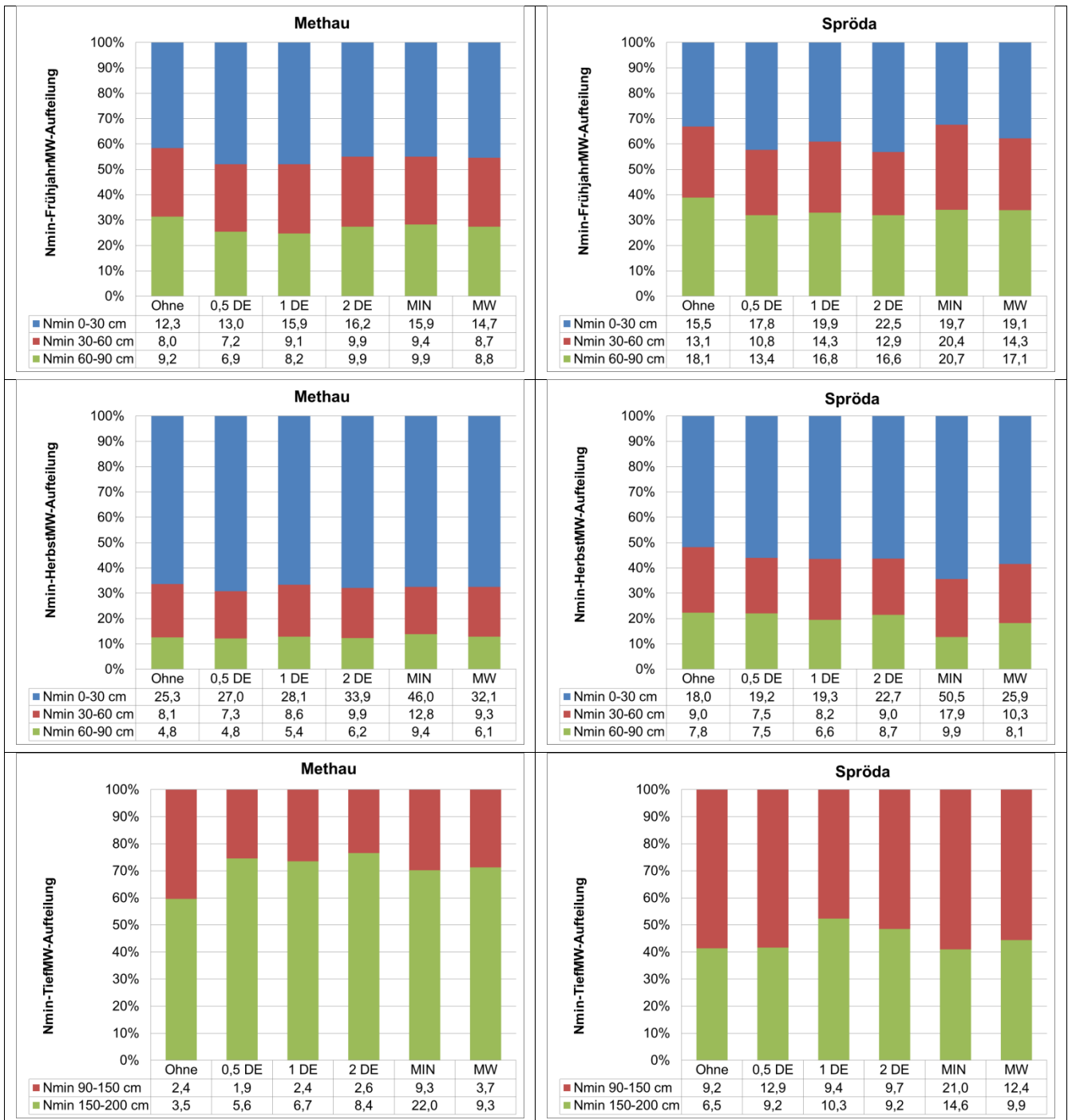


Abbildung 53: Aufteilung der N_{\min} -Gehalte der drei untersuchten Schichten bis 90 cm der Frühjahrs- (oben) und Herbstanalysen (Mitte) sowie in den zwei Schichten bis 200 cm Bodentiefe (unten) auf den Düngungsvarianten im Durchschnitt der Anbausysteme am Ort Methau und Spröda

Zur Analyse der N_{\min} -Aufteilung der Düngemittelarten wurden zum besseren Vergleich die Varianten ohne Düngung und die der N-Mineraldüngung in die Darstellungen nochmals integriert (Abbildung 54). Im Frühjahr weisen die Varianten der festen organischen Düngung (Stallmist, Grüngut) im Oberboden an beiden Orten etwas höhere N_{\min} -Anteile auf als die anderen Prüfglieder, insbesondere die Varianten ohne und mit mineralischer N-Düngung. Bei den Herbstanalysen werden am Ort Methau keine Variantenunterschiede sichtbar. Am Ort Spröda weisen die Prüfglieder mit festen organischen Düngemitteln und die der N-Mineraldüngung im Oberboden etwas höhere N_{\min} -Werte auf. Im Unterboden bis 200 cm Tiefe fallen die

Unterschiede am Versuchsort Methau auf, wobei die Varianten ohne Düngung in der Bodentiefe unter 150 cm die geringsten Anteile und die Varianten mit Gülle- bzw. Grüngutzufuhr die höchsten Anteile aufweisen.

Insgesamt kann zusammenfassend angemerkt werden, dass Unterschiede zwischen den Anbauorten auf Grund der verschiedenen Bodenarten und Durchwurzelungstiefen und auch typische Unterschiede zwischen den Untersuchungsterminen gefunden werden. Die ausgewiesenen relativen Variantenunterschiede sind bei der N_{min} -Aufteilung jedoch als relativ gering anzusehen.

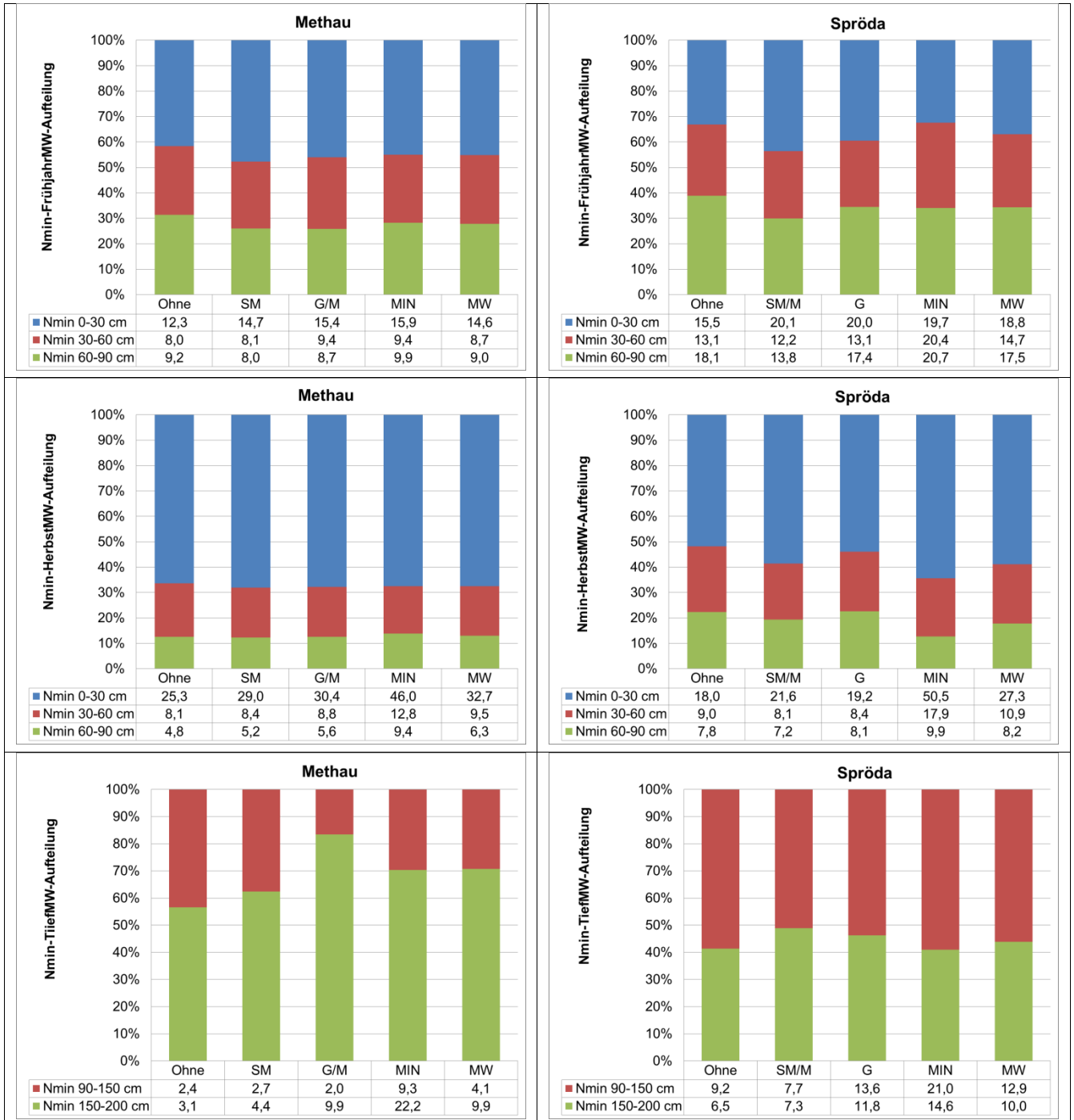


Abbildung 54: Aufteilung der N_{min} -Gehalte der drei untersuchten Schichten bis 90 cm der Frühjahrs- (oben) und Herbstanalysen (Mitte) sowie in den zwei Schichten bis 200 cm Bodentiefe (unten) der Düngemittelvarianten im Durchschnitt der Anbausysteme am Ort Methau und Spröda

Durch separate Analyse der Bodenproben auf $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ können die Einflüsse der untersuchten Varianten auf diese beiden N_{min} -Komponenten untersucht werden. Zwischen den beiden chemischen Bestandteilen zeigten sich bei Verwendung einer großen Datenmenge immer wieder bestimmte Muster, die näher beschrieben werden können. Bereits die untersuchten Anbausysteme zeigten typische Unterschiede im Anteil an $\text{NH}_4\text{-N}$ auf, die in der Weise sich verändert haben, dass im MF-System durch die deutlich höhere Zufuhr an organischen Materialien in der Regel sowohl die absolute Menge als auch die relative Menge dieser Komponente über die Frühjahrsanalyse mit +1 %, Herbstanalyse mit +3 % und der Tiefenanalyse mit ebenfalls +3 % zugenommen hat (ohne Darstellung).

Nach Aufschlüsselung der Werte fällt auf, dass am Ort Methau in den Frühjahrs- und Herbstanalysen jeweils etwas geringere Mengen und Anteile an $\text{NH}_4\text{-N}$ gefunden worden sind (Abbildung 55). Im Tiefenprofil unter 90 cm liegen lediglich die Werte in Methau auf niedrigerem Niveau, während die relativen Anteile sich zwischen den Orten angenähert haben. Mit steigender organischer Düngung fallen an den Frühjahrswerten die etwas höheren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile nach geringem bis mittlerem Düngungsniveau insbesondere am Ort Spröda auf. Dagegen liegen diese Anteile nach stetiger N-Mineraldüngung bereits zu diesem Termin auf verhältnismäßig niedrigem Niveau.

Beim Termin nach der Ernte sowie im Profil bis auf 200 cm Bodentiefe sind diese Differenzen zwischen den organisch und den mineralisch gedüngten Varianten im $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil am Ort Spröda größer geworden. Es werden oft Unterschiede zwischen diesen Varianten von ca. 10 % analysiert. Am Standort Methau ist zum Herbsttermin jedoch lediglich eine weitgehende Angleichung der relativen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile in den N_{min} -Werten zu registrieren. Schließlich stellen sich in den Analysen zwischen 90 – 200 cm Bodentiefe an beiden Orten vergleichbare relative Werte ein. Auch im Boden der Methauer Versuche werden Unterschiede zwischen den Varianten mit N-Mineraldüngung und den anderen Varianten von bis zu 10 % gemessen (Abbildung 55).

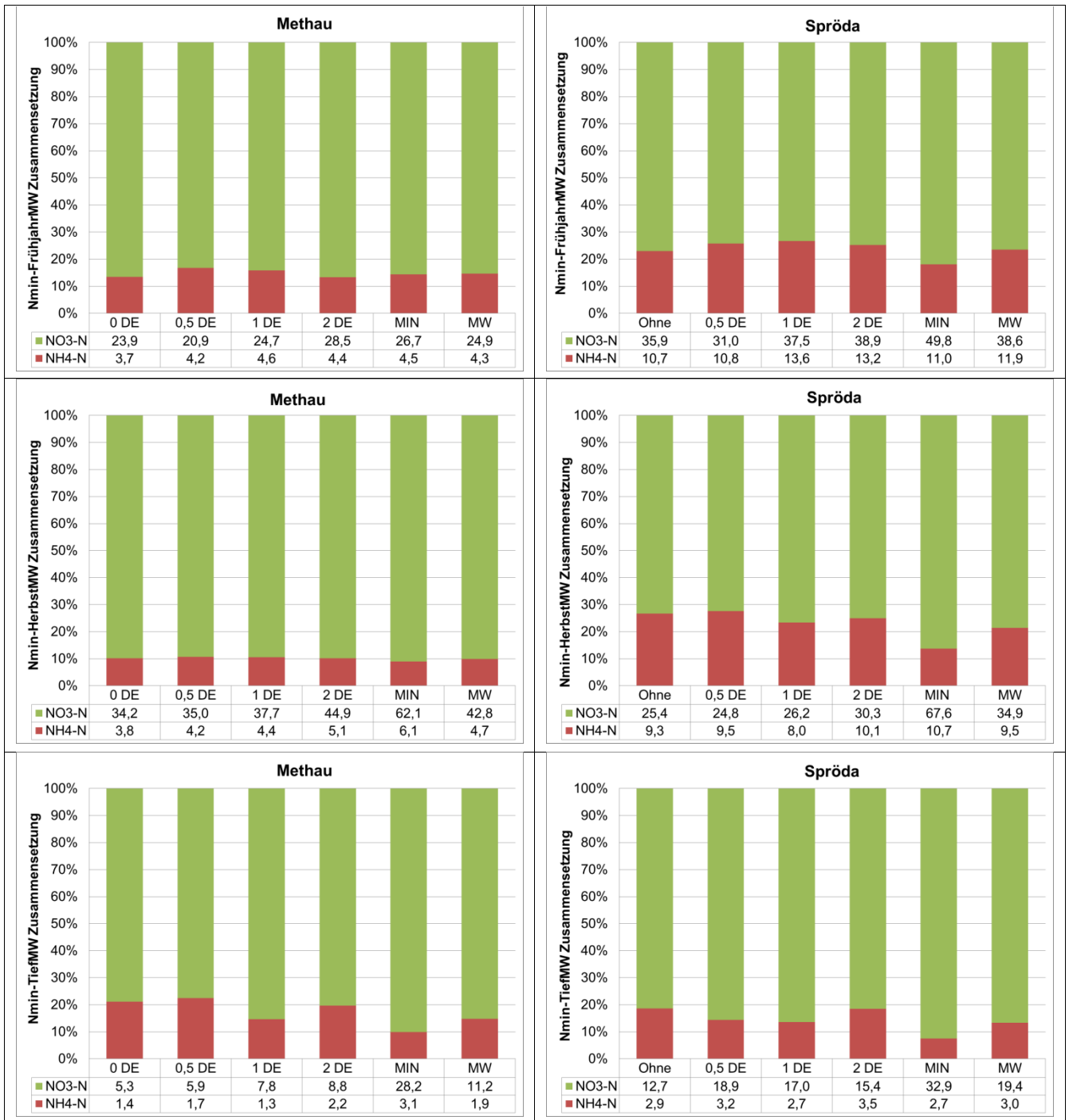


Abbildung 55: Durchschnittliche Zusammensetzung der N_{min} -Gehalte der Frühjahrs- (oben) und Herbstanalysen (Mitte) von 0 – 90 cm sowie von 90 – 200 cm Bodentiefe (unten) der Düngungsvarianten der Orte Methau und Spröda

Auch bei der Analyse der Düngemittelarten werden einige interessante Ergebnisse erzielt (Abbildung 56). Während am Ort Methau zum Zeitpunkt Frühjahr und Herbst nur sehr geringe relative Differenzen im NH_4 -N-Anteil zu registrieren sind, werden auf dem leichten Boden des Sprödaer Standortes bereits größere Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten sichtbar, die auch zwischen den Untersuchungsterminen eher an Stetigkeit zunehmen. Im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung liegen die Versuchsergebnisse für das NH_4 -N nach stetiger Applikation fester organischer Düngemittel (Stallmist, Grüngut) immer auf etwas höherem Niveau. Es folgen die Varianten mit Güllezufuhr, deren relative Werte vom Frühjahr über den Herbst und der

Tiefenanalyse stetig etwas geringer werden. Die größte Abnahme der relativen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile weisen im Vergleich hierzu jedoch wiederum die Varianten der N-Mineraldüngung auf.

Am Ort Methau werden bei der Analyse der Bodenproben aus dem Tiefenbereich 90 – 200 cm mit dem Ort Spröda vergleichbare Ergebnisse erzielt. Die Varianten mit festen organischen Düngemitteln weisen etwas höhere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile auf, es folgen an beiden Orten die Prüfglieder ohne Düngung und mit Gülleapplikation, während die N-Mineraldüngung wiederum die geringsten Anteile aufweist.

Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die chemische Zusammensetzung der N_{min} -Analysen auf Grund der hohen Datenanzahl nicht nur zwischen den untersuchten Standorten beeinflusst worden sind, sondern offenbar auch durch die angewendeten organischen und mineralischen Düngemittel. Nach stetiger Zufuhr insbesondere von festen organischen Materialien (Stroh, Kleeerasaufwuchs, Stallmist, Grüngut) werden etwas erhöhte Anteile an $\text{NH}_4\text{-N}$ im Vergleich zum $\text{NO}_3\text{-N}$ gefunden und nach stetiger Anwendung der N-Mineraldüngung werden um ca. 10 %-Anteile niedrigere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte ermittelt.

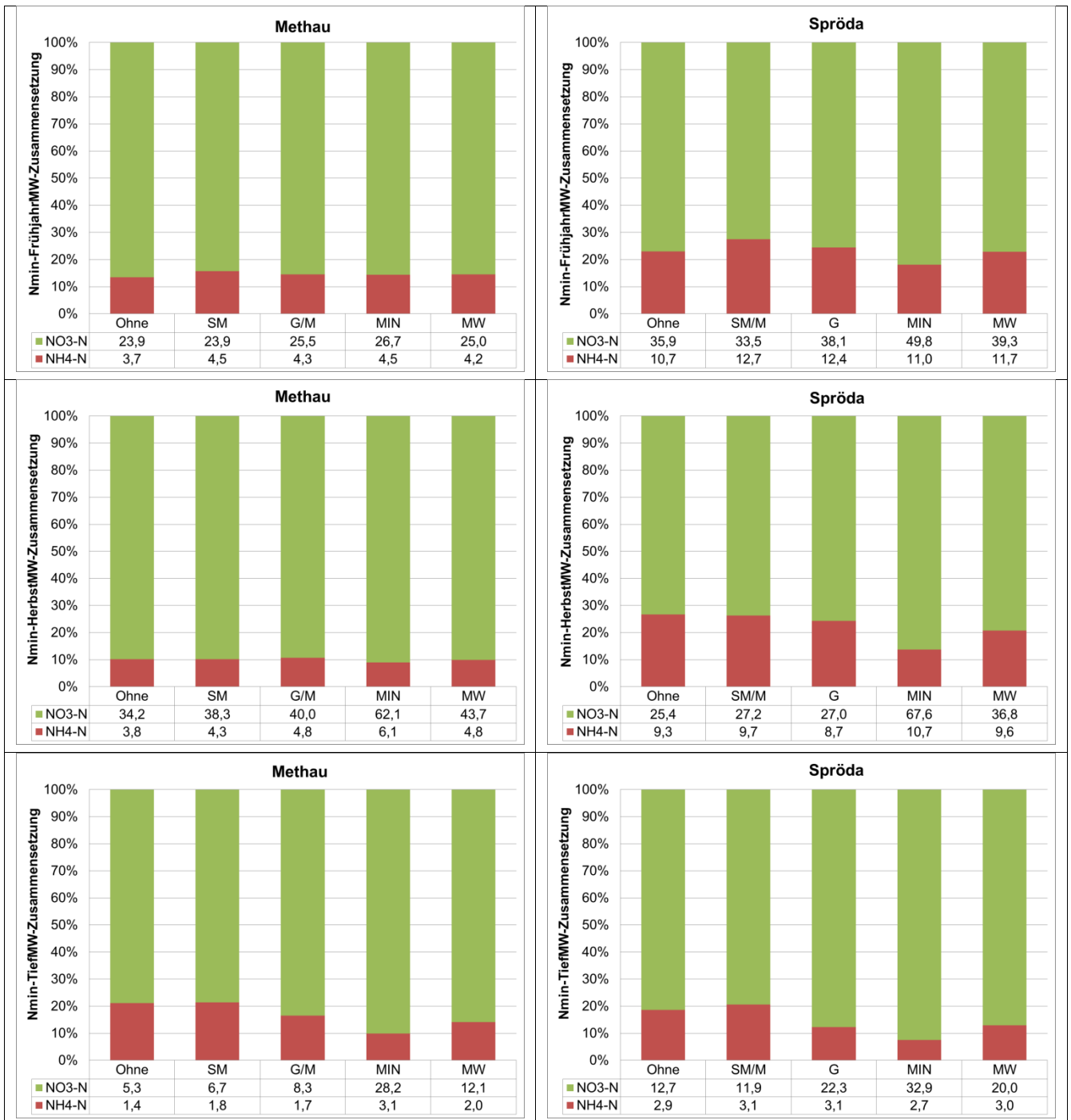


Abbildung 56: Durchschnittliche Zusammensetzung der N_{min}-Gehalte der Frühjahrs- (oben) und Herbstanalysen (Mitte) von 0 – 90 cm sowie von 90 – 200 cm Bodentiefe (unten) der Düngemittelvarianten an den Orten Methau und Spröda

Die Ursachen für die höheren N_{min}-Werte und das deutlich höhere Verlagerungspotenzial nach stetiger N-Mineraldüngung sind vielfältig und nicht einfach zu ergründen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die chemische Form als Nitrat- oder Ammonium-Stickstoff hierfür als weitere Ursache angesehen werden kann. In den Versuchen trat besonders hervor, dass die NH₄-N-Mengen im Oberboden von 0 – 30 cm Tiefe mit Werten zwischen 4 – 5 kg (= 40 % der NO₃-N-Gehalte) in Methau und zwischen 6 – 8 kg N/ha (= 50 – 70 %) am Anbauort Spröda deutlich erhöhte durchschnittliche Werte angenommen haben. Schon allein hierdurch ergibt sich ein erhöhter Schutz vor Verlagerung und Auswaschung. Eine genaue Auswertung der N_{min}-Analysen von

0 – 90 cm sowie im Tiefenprofil bis auf 200 cm Bodentiefe konnte diesen Trend nochmals zusammenfassend für die untersuchten Düngemittel bestätigen (Abbildung 57, $\text{NO}_3\text{-N} = 100\%$).

Die Erhebungen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten und Bodentiefen für beide Versuchsstandorte separat vorgenommen und kamen zu weitgehend übereinstimmenden Ergebnissen. Bereits die analysierten absoluten und relativen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Mengen lagen auf den Varianten mit organischer Düngung (Stalldung, Grüngut, Gülle) bis auf 90 cm Bodentiefe oft etwas höher als die der Varianten mit N-Mineraldüngung, wobei die absoluten N_{min} -Summen immer auf den mineralisch gedüngten Flächen höher waren (Abbildung 57, oben).

Dieser Trend verstärkte sich bei Betrachtung der N_{min} -Zusammensetzung nach der Ernte im Herbst (Abbildung 57, Mitte). Während sich die Relationen bei den organisch gedüngten Mengen nur geringfügig veränderten, stieg der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteil bei den mineralisch gedüngten Varianten wesentlich deutlicher an. Durch diese Verschiebungen bleibt der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil bei den organischen Prüfgliedern fast unverändert, während er nach N-Mineraldüngung weiter abfällt.

Das Verlagerungs- und Verlustpotenzial an Stickstoff ist naturgegeben auf dem Lößboden geringer als auf dem Sandboden, was auch für diese Versuche zutrifft (Abbildung 57, unten). Darüber hinaus stimmen die Relationen zwischen den Ergebnissen der Herbstbeprobung und der Tiefenbohrung recht gut überein, nur dass die ermittelten Mengen insgesamt im Tiefenprofil einen deutlich geringen Umfang umfassen. Wiederum weisen insbesondere die Varianten der N-Mineraldüngung deutlich höhere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteile auf und die ausgewiesenen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile sind im Vergleich zu den Ergebnissen nach organischer Düngung nochmals abgefallen.

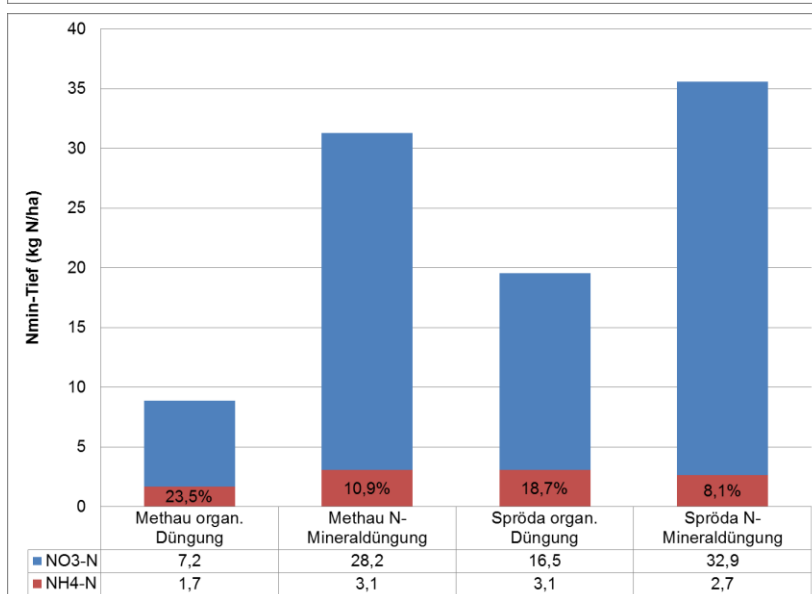
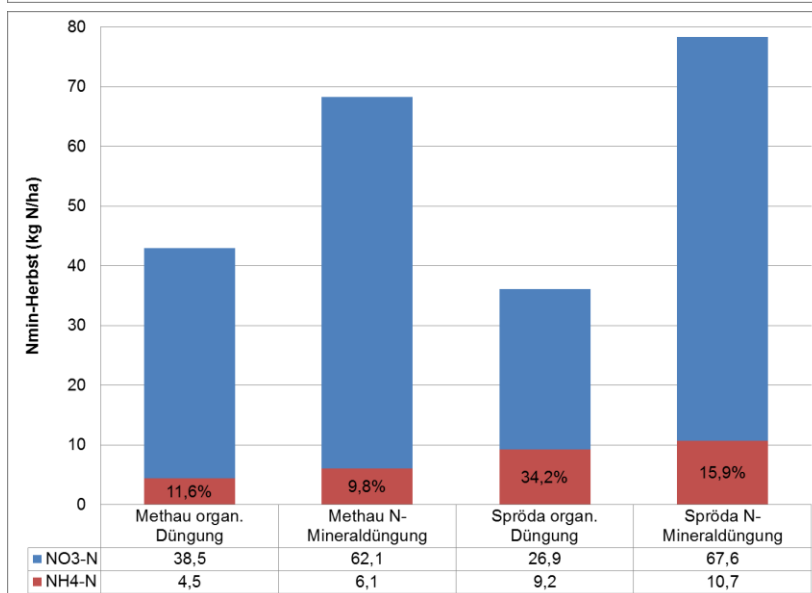
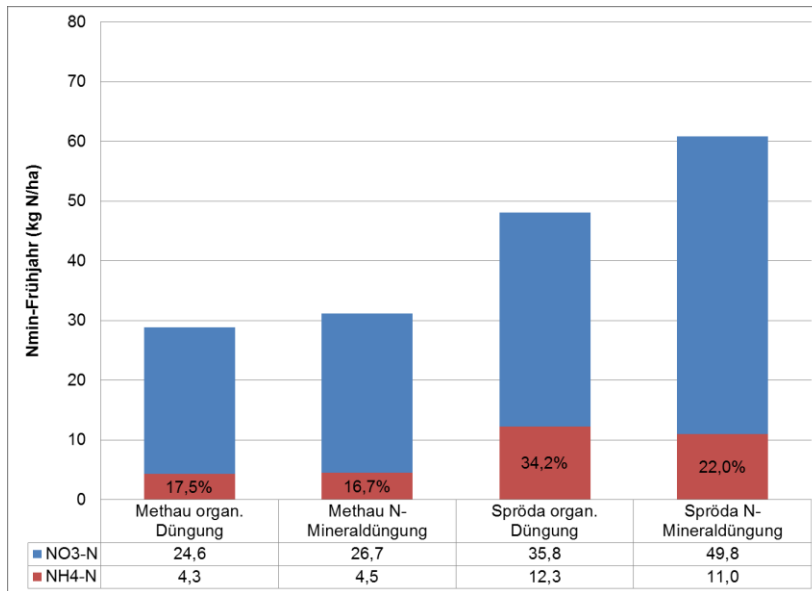


Abbildung 57: Zusammenhang zwischen der N_{min} -Zusammensetzung und dem N-Verlagerungspotenzial nach kontinuierlicher organischer Düngung und N-Mineraldüngung in der zweiten Versuchsphase zum Zeitpunkt der Frühjahrs- und Herbstbeprobung (oben, Mitte; 0 – 90 cm Bodentiefe) und im Bodenprofil (unten) von 90 – 200 cm Tiefe

4.3.3 S_{min}-Mengen

4.3.3.1 0 – 90 cm Bodentiefe

Die S_{min}-Mengen wurden nur in einigen Jahren untersucht. In der Tabelle 170 sowie der Tabelle 171 wurde ein Überblick zu diesem Inhaltsstoff des Bodens in der zweiten Versuchsphase gegeben. Es wurden keine großen Differenzen zwischen den Anbauorten gefunden. Die FB-Systeme weisen jeweils höhere S_{min}-Mengen auf als die MF-Varianten. Im Frühjahr waren am Ort Spröda verhältnismäßig hohe Gehalte im Oberboden gefunden worden. Zu Vegetationsende wurden an beiden Orten relativ geringe Werte im Oberboden analysiert, während am Standort Methau kaum Veränderungen aufgefallen sind. Die gedüngten Varianten wiesen am Ort Methau etwas geringere S_{min}-Mengen im Boden auf. Am Ort Spröda war zumindest im FB-System ein Trend zu etwas höheren Werten nach Düngung zu erkennen. Zwischen den untersuchten Düngemitteln konnten keine Unterschiede festgestellt werden, daher wird auf eine weitere Darstellung der Versuchsergebnisse verzichtet.

Tabelle 170: Mittlere S_{min}-Mengen [kg S/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2006 – 2007) – Frühjahr						Spröda (MW 1997, 2005) – Frühjahr					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _m	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _s
Futterbau											
-	20,8	14,1	19,1	15,1	17,3	-	45,0	67,4	61,6	63,2	59,3
-	59,6	60,0	67,7	58,9	61,6	-	62,8	72,3	77,4	68,1	70,2
Marktfrucht											
-	17,7	13,6	13,4	13,4	14,5	-	35,8	27,3	30,0	29,3	30,6
-	57,6	50,9	53,3	61,1	55,7	-	70,7	36,5	41,7	60,8	52,4
MW											
-	19,3	13,9	16,3	14,3	16,0	-	40,4	47,4	45,8	46,3	45,0
-	58,6	55,5	60,5	60,0	58,7	-	66,8	54,4	59,6	64,5	61,3
Methau (MW 2006 – 2007) – Herbst						Spröda (MW 2005) – Herbst					
Futterbau											
-	12,8	12,4	11,4	13,4	12,5	-	9,2	13,3	10,0	12,1	11,2
-	64,9	55,5	57,9	57,0	58,8	-	44,1	82,5	70,1	66,2	65,7
Marktfrucht											
-	16,5	13,2	13,3	16,1	14,8	-	6,7	7,9	8,0	7,3	7,5
-	58,3	52,2	54,1	54,8	54,9	-	50,5	52,1	42,2	36,1	45,2
MW											
-	14,7	12,8	12,4	14,8	13,7	-	8,0	10,6	9,0	9,7	9,3
-	61,6	53,9	56,0	55,9	56,9	-	47,3	67,3	56,2	51,2	55,5

Tabelle 171: S_{\min} -Mengen [kg S/ha] im Frühjahr und Herbst im Oberboden (oben: 0 – 30 cm) und im gesamten Bodenprofil (unten: 0 – 90 cm) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau – Frühjahr				Spröda – Frühjahr			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
20,8	15,5	16,8	12,7	45,0	60,0	68,3	44,9
59,6	65,8	58,7	52,3	62,8	77,7	67,5	68,9
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
17,7	15,1	11,8	10,4	35,8	29,4	27,9	31,1
57,6	61,0	49,3	46,9	70,7	58,0	34,6	44,3
Methau – Herbst				Spröda – Herbst			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
12,8	13,9	10,9	11,5	9,2	12,6	10,9	14,7
59,6	65,8	58,7	52,3	44,1	67,8	78,0	44,7
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
16,5	14,4	14,1	12,8	6,7	7,9	7,5	6,2
57,6	61,0	49,3	46,9	50,4	46,7	40,2	30,5

4.3.3.2 Tiefenprofil

Die S_{\min} -Gehalte wurden auch im Profil bis auf 200 cm Bodentiefe an zwei Terminen untersucht. Wie aus Abbildung 58 zu entnehmen ist, gibt es im Oberboden bis auf 60 cm Tiefe keine Unterschiede zwischen den untersuchten Varianten. Darunter nehmen die Mengen an S_{\min} bis auf 200 cm deutlich zu, besonders am Standort Methau. Es ist darüber hinaus an beiden Standorten zu erkennen, dass die Gehalte im Untergrund zum ersten Termin z.T. noch deutlich höher lagen als am zweiten Untersuchungstermin.

Die Ursachen hierfür liegen in den früheren S-Depositionswerten und damit zusammenhängenden hohen Eintragungswerten an Schwefel in die Böden, die erst in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts dann deutlich reduziert worden sind. Daher nehmen die Gehalte jetzt auch im Untergrund der Böden wieder stetig ab. Durch diesen Effekt werden die untersuchten Einflussgrößen dermaßen überdeckt, so dass keine Wirkungen durch die Anbausysteme und die Düngung herausgearbeitet werden konnten. Daher wird auch auf eine weitere Darstellung der S_{\min} -Ergebnisse der Tiefenprofil-Untersuchungen verzichtet.

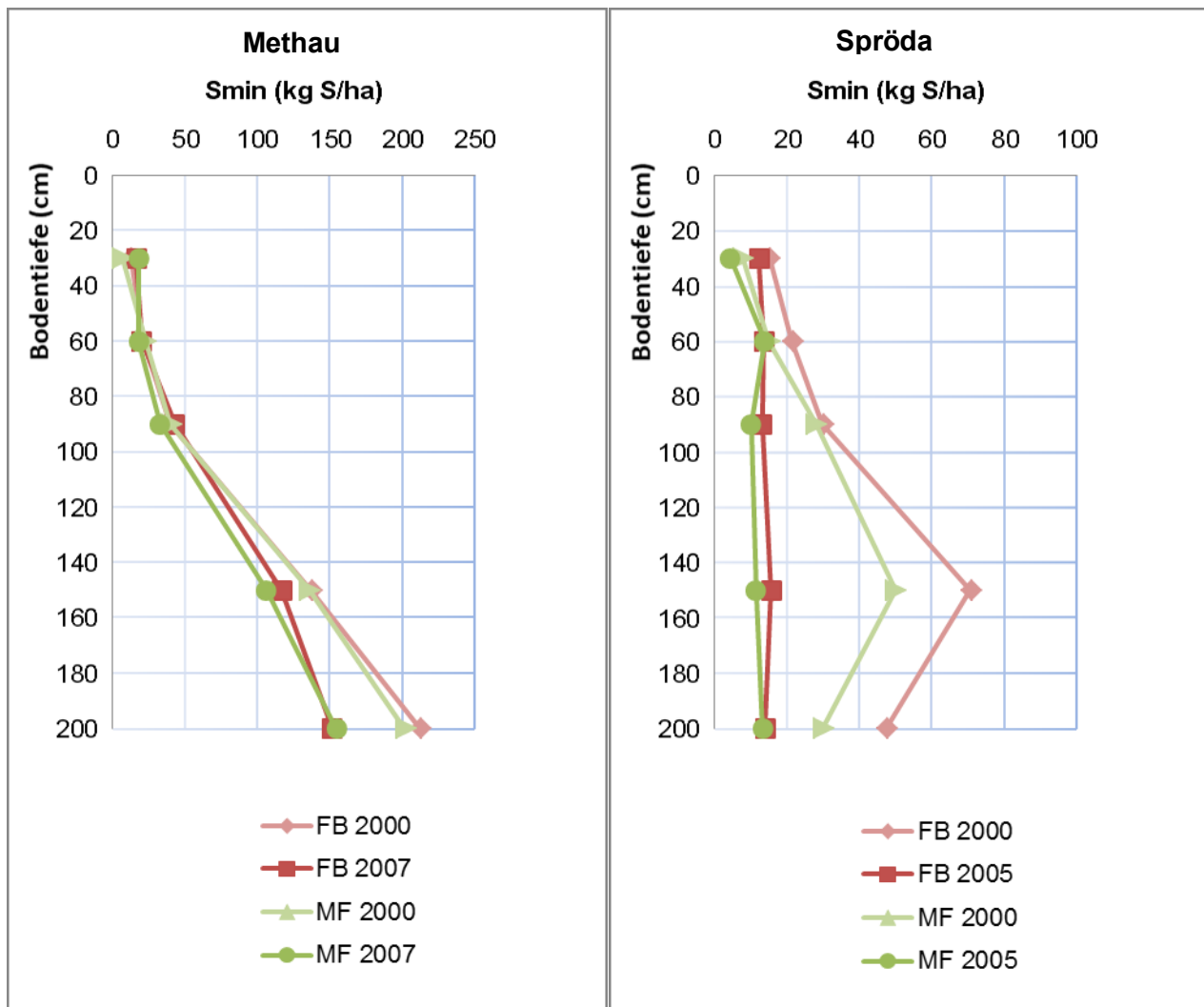


Abbildung 58: S_{min}-Mengen im Tiefenprofil der Anbausysteme (ohne MIN-Düngung)

4.3.4 Pflanzenverfügbarer Phosphor

4.3.4.1 Bodenkrume

Die Versorgung der Ackerschläge mit den löslichen Grundnährstoffen Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) wurde durch Probenahme nach der Ernte im Herbst und Laborbestimmung verfolgt. In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Bodengehalte an Phosphat, ermittelt nach der CAL- und der DL-Methode, durch Vergleich der Werte am Beginn im Jahr 1992/93 und am Ende der Versuche als Mittelwerte über mehrere Jahre im Oberboden sowie im Tiefenprofil in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren dargestellt.

In Abbildung 59 wurden die löslichen P-Gehalte der Bodenkrume in der zweiten Versuchshälfte aufgeführt. Mit der Zeit sind die Gehalte aller Varianten am Ort Methau angestiegen. In Spröda sind gering versorgte Varianten abgefallen und hoch versorgte Varianten in den P-Gehalten etwas angestiegen. Gut zu sehen ist auch der Effekt der organischen Düngung in einer regelmäßig abgebildeten Anreicherung der löslichen Boden-P-Gehalte an beiden Versuchsorten. Die P-Gehalte zwischen den beiden Versuchsorten liegen auf ähnlicher Höhe, die Gehalte in Spröda sind in der Tendenz etwas höher. Es werden große Unterschiede zwischen den Anbausystemen sichtbar.

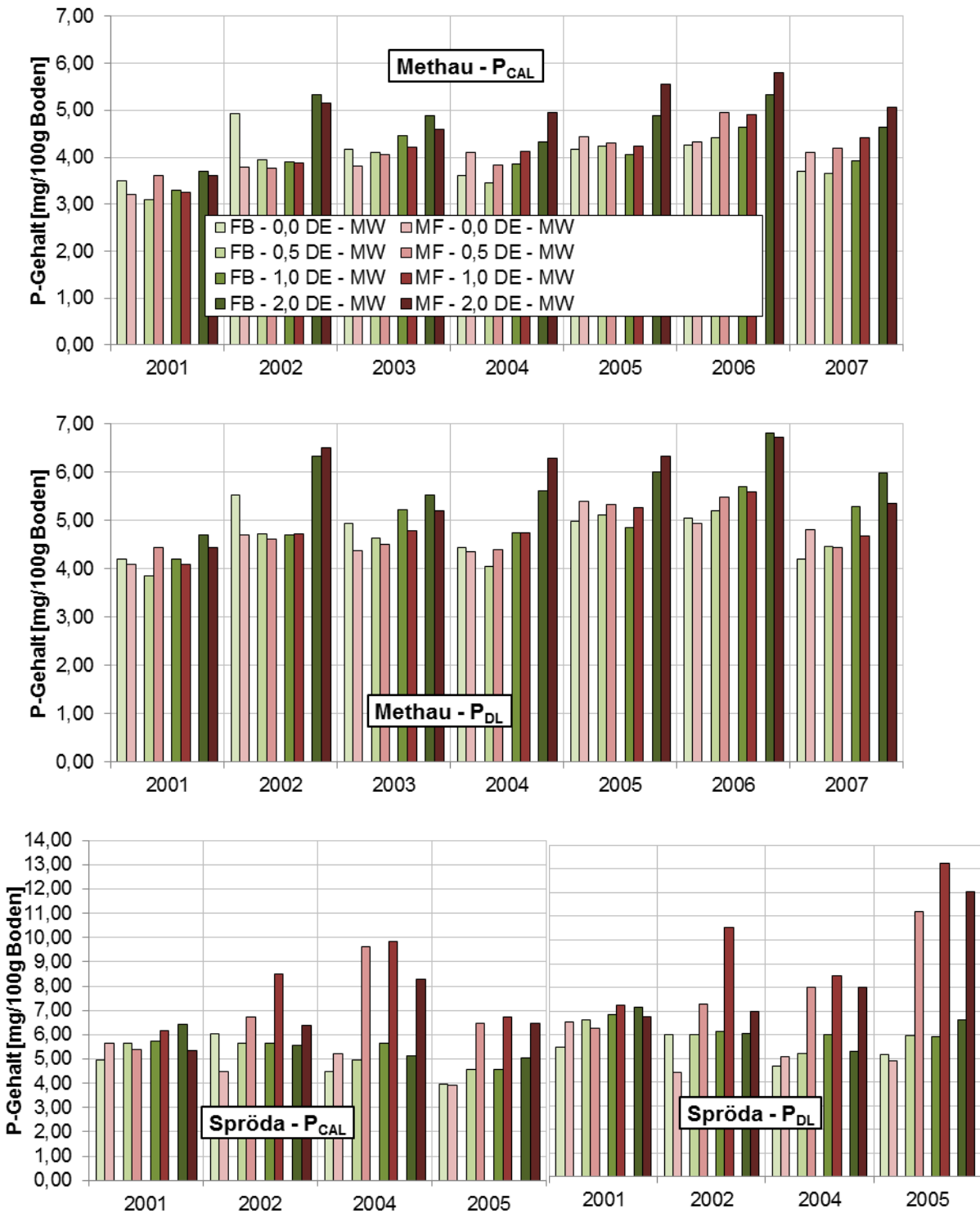


Abbildung 59: Entwicklung der löslichen P-Gehalte der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (ohne MIN-Düngung)

Durch die zusammengefassten Werte zur Charakterisierung der zweiten Versuchshälfte wird sichtbar, dass an beiden Anbauorten im MF-System, mit +2,0 mg P/100 g Boden besonders am Ort Spröda, höhere P-Gehalte im Boden am Versuchsende vorhanden waren (Tabelle 172, Tabelle 173 u. Tabelle 174). Im Vergleich zu den relativ unsicher fixierten Anfangsgehalten sind im Laufe der Zeit vor allem die Varianten ohne Düngung in den Gehalten abgefallen. Eine steigende organische Düngung hat dagegen im Vergleich zu den ungedüngten Varianten zu einem Anstieg der P-Gehalte auf allen entsprechenden Varianten im Boden geführt. Auf dem leichten Boden in Spröda sind die Werte etwas deutlicher angestiegen als auf dem Lössboden in Methau.

Tabelle 172: Aggregierte lösliche P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2004 – 2007)						Spröda (MW 2001 – 2005)					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _M	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW _S
Futterbau											
-	3,93	3,94	4,12	4,79	4,20	-	4,86	5,21	5,40	5,54	5,25
6,93	4,67	4,71	5,15	6,10	5,16	6,12	5,32	5,95	6,22	6,28	5,94
Marktfrucht											
-	4,24	4,33	4,48	5,35	4,60	-	4,83	7,04	7,82	6,61	6,58
6,33	4,88	4,91	5,07	6,18	5,26	11,40	5,22	8,20	9,90	8,45	7,94
MW											
-	4,30	4,14	4,30	5,07	4,45	-	4,85	6,13	6,61	6,08	5,92
6,63	4,78	4,81	5,11	6,14	5,21	8,76	5,27	7,08	8,06	7,37	6,95

Tabelle 173: Lösliche P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
-	3,93	4,03	4,62	5,86	3,93	3,86	3,63	3,73	3,37
6,93	4,67	4,72	5,84	7,52	4,67	4,71	4,46	4,68	3,87
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
-	4,24	4,51	4,75	6,33	4,24	4,15	4,22	4,37	3,73
6,33	4,88	5,06	5,46	7,20	4,88	4,76	4,69	5,15	4,12

Tabelle 174: P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
-	4,86	5,40	5,41	5,48	4,86	5,01	5,39	5,61	4,62
6,05	5,32	6,18	6,35	6,35	5,32	5,71	6,10	6,21	5,12
Marktfrucht									
1992/93		M				G			
-	4,86	6,96	8,25	8,01	4,86	7,13	7,39	5,22	5,30
11,05	5,22	8,02	11,07	10,22	5,22	8,38	8,72	6,68	5,47

Der Einsatz von Stalldung und Grüngut (M-Variante) war offenbar erfolgreich, um die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat am deutlichsten anzuheben (Tabelle 175). Es folgt der Einsatz an Gülle, während die mineralisch gedüngten Varianten durch die niedrigsten P-Gehalte gekennzeichnet sind, da mit dem Kalkammonsalpeter kein Phosphor zugeführt wird. In dieser Variante werden meistens niedrigere P-Werte im Boden analysiert als in der Variante ohne organische Düngung. Nach der VDLUFA-Klassifikation befinden sich die P-Gehalte am Ort Methau mindestens in Klasse C und am Ort Spröda mindestens in Klasse D nach der neuen Bewertung.

Tabelle 175: Mittlere lösliche P-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
3,93	4,84	3,74	3,37	4,86	5,43	5,34	4,62
4,67	6,03	4,62	3,87	5,32	6,29	6,01	5,12
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
4,24	5,20	4,25	3,73	4,83	7,74	6,58	5,30
4,88	5,91	4,87	4,12	5,22	9,77	7,93	5,47

4.3.4.2 Tiefenprofil

Aus den Tiefenprofilen sind die DL- und die CAL-löslichen P-Gehalte bis auf 2,0 m Bodentiefe lediglich zum zweiten Termin zu Versuchsende ermittelt worden (Abbildung 60, Abbildung 61 u. Abbildung 62). Die DL- bzw. CAL-löslichen Gehalte nahmen im Jahr 2007 in Methau von einem Gehalt im Oberboden zwischen 4 – 5 mg/100 g Boden mit zunehmender Bodentiefe bis auf ca. 1 – 2,5 mg P/100 g Boden in 30 – 60 cm Tiefe ab.

Danach ist wiederum eine leichte Zunahme bis auf ca. 150 cm Bodentiefe zu verzeichnen. Im weiteren Tiefenabschnitt ist dann im FB-System ein leichter Anstieg und im MF-System ein weiteres Absinken zu erkennen. Bis auf 150 cm Tiefe sind die löslichen P-Gehalte des MF-Systems den Werten des FB-Systems überlegen. Dieses Verhältnis kehrt sich zwischen 150 – 200 cm Tiefe ins Gegenteil um. Hier befinden sich die Werte dann auf sehr niedrigem Niveau.

Eine verhältnismäßig hohe Phosphatversorgung des Oberbodens ist im MF-System Sprödas ersichtlich (Abbildung 60). Von diesen relativ hohen Ausgangsgehalten in 0 – 30 cm Bodentiefe ausgehend, sinkt in Spröda der lösliche P-Gehalt bis in 60 cm Tiefe stark ab. Der Gehalt nimmt über die nächste Tiefenstufe weiter ab, jedoch weniger stark, um dann zwischen 150 – 200 cm Tiefe um Werte bis auf 0 mg P/100 g Boden abzusinken. Die Phosphatgehalte des Bodens sind in Spröda insgesamt durchgängig im MF-System höher ausgeprägt. Ähnlich den Werten im Oberboden (vgl. Tabelle 172) liegen die P-Gehalte auch im Tiefenprofil in diesem Anbausystem, in dem alle Koppelprodukte und die Kleeerasaufwüchse auf den Flächen verblieben sind, auf etwas höherem Niveau.

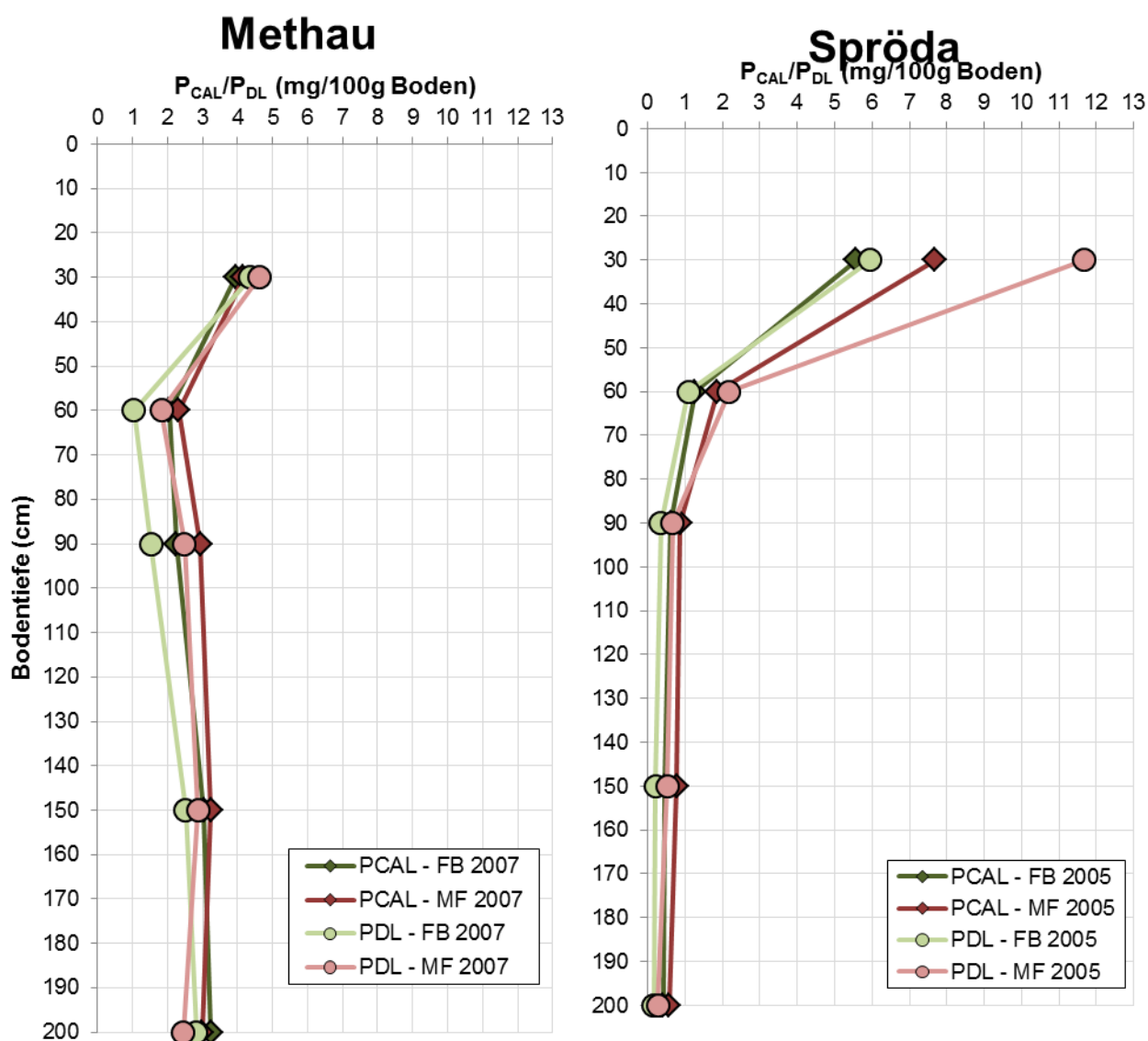


Abbildung 60: CAL- bzw. DL- extrahierbare P-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Anbausystemen (ohne MIN-Düngung)

Die pflanzenverfügbaren P-Gehalte des Oberbodens zeigen an beiden Standorten die höchsten Werte bei einer Düngeintensität von 2,0 DE/ha auf (Abbildung 61). Der höchste Gehalt befindet sich immer im Oberboden (0 – 30 cm Tiefe). Der mit Abstand stärkste Abfall in den pflanzenverfügbaren P-Gehalten wird in Spröda und Methau zwischen 0 – 60 cm Tiefe registriert. Während in Methau die P-Gehalte der Düngeungsstufen ab 60 cm Bodentiefe wieder leicht ansteigen, sinkt sie in Spröda weiter bis gegen 0 mg P/100 g Boden ab. Deutlich zu sehen ist an beiden Standorten, dass zum Versuchsende die Varianten mit der höchsten Düngeungsintensität fast durchgehend auch über die höchsten P-Gehalte bis in eine Tiefe von 200 cm aufweisen. Zwischen den anderen Intensitätsstufen sind dagegen keine differenzierende Wirkung der Düngeung auf die P-Gehalte mehr zu erkennen.

Abbildung 62 weist den Einfluss der Düngeungsmittelart auf die Gehalte an löslichem Phosphat im Tiefenprofil aus. Sowohl in Methau als auch in Spröda hinterlässt die Mineralstickstoff-Düngevariante (MIN) die geringsten P-Gehalte im Oberboden (0 – 30 cm, siehe auch Tabelle 175). Den höchsten Gehalt zeigt in Methau die Düngevariante Stallmist (SM) und in Spröda die Grüngut-Mulch-Variante (M), jeweils gefolgt von den Güllevarianten auf.

Obwohl keine Grunddüngeung erfolgt ist, hat in tieferen Bodenschichten die Mineralstickstoffdüngeung offenbar im Vergleich mit den anderen Düngeungsmitteln dazu geführt, dass in vielen Fällen die höchsten Gehalte an Phosphat analysiert worden sind (siehe Untersuchungen von BAUKE et al., 2018). Auch dieses Ergebnis ist an beiden Orten und auch mit beiden Extraktionsmitteln gefunden worden. Zwischen den anderen Düngeungsmitteln sind kaum Unterschiede zu erkennen. Lediglich die Güllevarianten weisen in Methau bis in eine Tiefe von 90 cm verhältnismäßig niedrige Werte auf. Im darunter liegenden Tiefenbereich zeigt diese Variante jedoch höhere P-Gehalte an. In Spröda liegen die P-Gehalte der Güllevarianten meistens zwischen denen der anderen organischen Düngeungsmittel und der KAS-Variante (Abbildung 62).

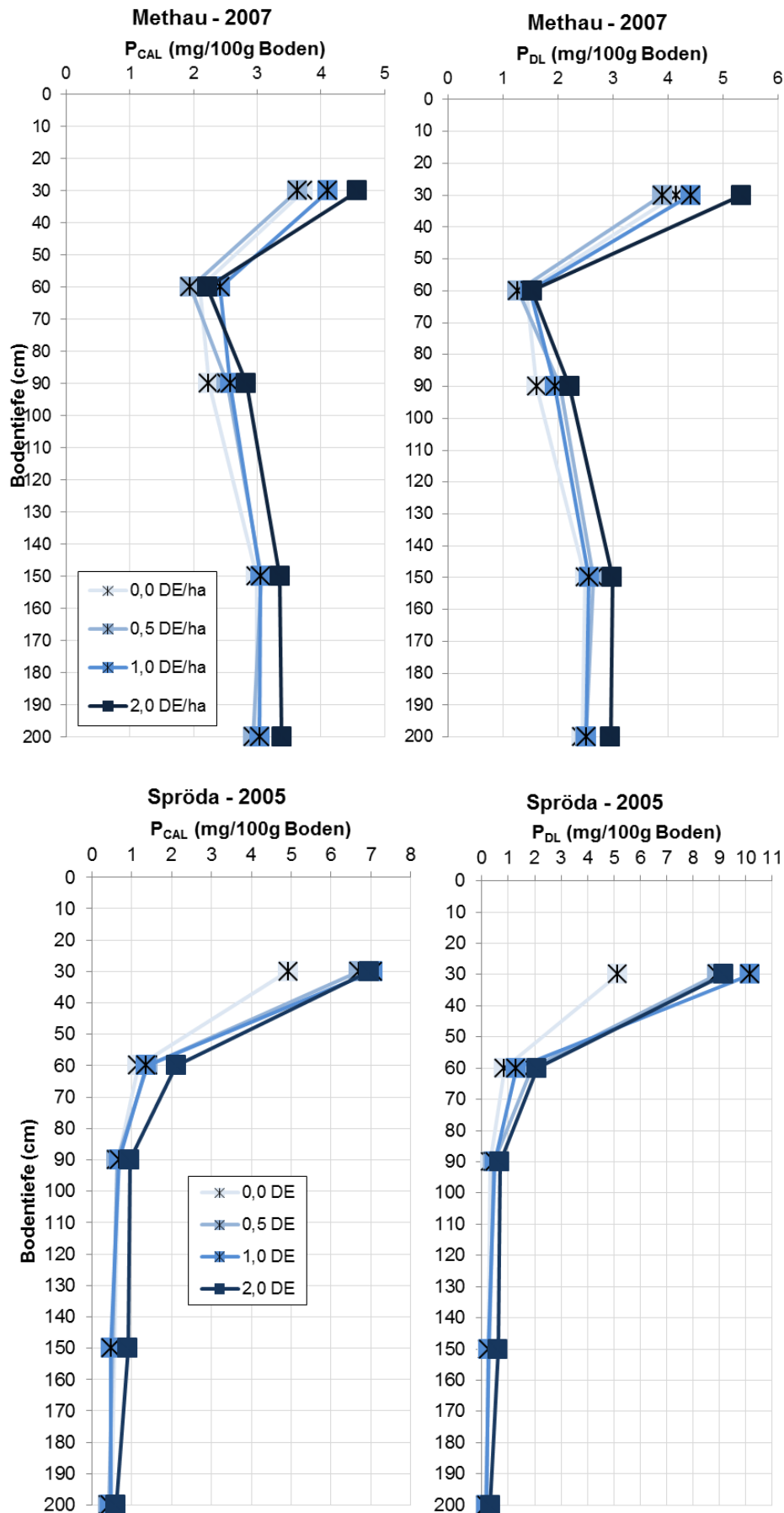


Abbildung 61: CAL- bzw. DL- extrahierbare P-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Düngeintensitäten (FB + MF gemittelt)

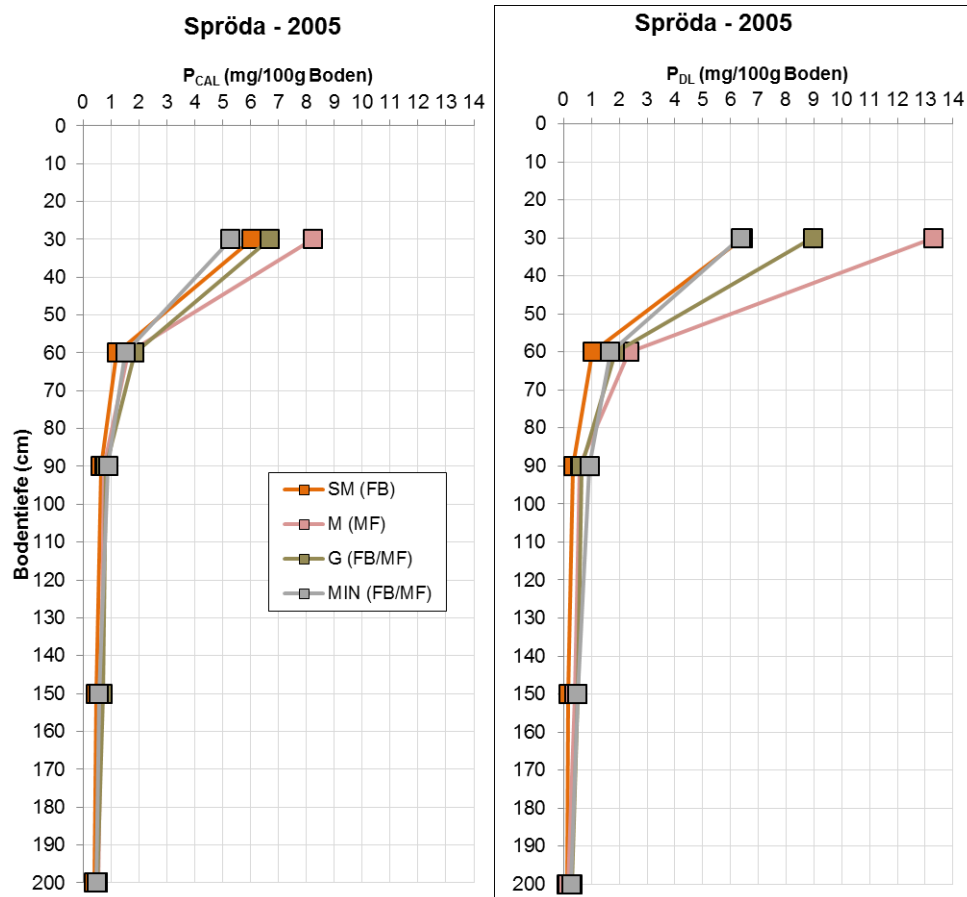
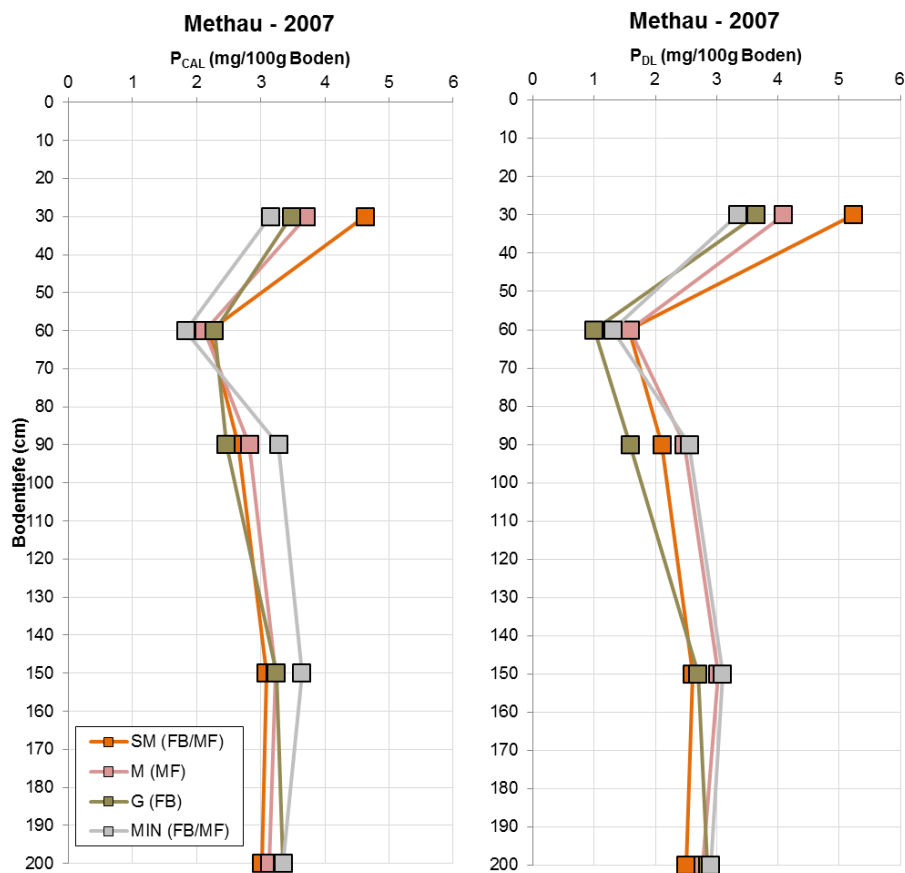


Abbildung 62: CAL- bzw. DL- extrahierbare P-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda zum Versuchsjahre 2005 bzw. 2007 nach Düngervarianten (FB+MF gemittelt)

4.3.5 Pflanzenverfügbares Kalium

4.3.5.1 Ackerkrume

Ein neben Stickstoff und Phosphor ebenfalls essentieller Nährstoff, der von den Pflanzen gewichtsmäßig am meisten aufgenommen wird, ist das Kalium (REEB, 2004). Die Ergebnisse zu diesem Nährstoff streuen zwischen den Varianten in höherem Maße am Ort Spröda als in Methau. Die Versuchsorte liegen auf einem vergleichbaren Versorgungsniveau, die Gehalte auf dem Sandstandort sind als verhältnismäßig hoch anzusprechen. Offenbar sind die Gehalte an extrahierbarem Kalium im Boden in der Tendenz an beiden Versuchsorten etwas angestiegen (Abbildung 63). Es ist zu erkennen, dass nicht nur in Methau, sondern auch in Spröda sowohl in dem MF-System als auch in Folge der organischen Düngung höhere K-Gehalte gefunden worden sind als in den jeweiligen Vergleichsvarianten.

Der K-Gehalt des Oberbodens (0 – 30 cm Tiefe) unterscheidet sich in Methau stark in der Höhe zwischen den zwei Anbausystemen zugunsten eines durchweg deutlich höheren K-Gehaltes im MF-System (Tabelle 176, Tabelle 177 u. Tabelle 178). Diese Differenz besteht in allen Düngungsstufen. Am Standort Spröda zeigt der Oberboden im Gegensatz dazu im gesamten Durchschnitt im FB-System einen leicht höheren K-Gehalt an. Lediglich die Varianten, die gar keine oder nur eine geringe organische Düngung erhalten haben, weisen in den MF-Varianten noch etwas höhere K-Werte im Boden auf. In den höher gedüngten Prüfgliedern ist ein Trend zu steigenden Werten im FB-System zu entnehmen.

Im Vergleich zu den aufgeführten Anfangsgehalten zu Versuchsbeginn sind die Varianten mit keiner Düngung z.T. deutlich in den Gehalten an Kalium am Ende der Versuchszeit an beiden Orten abgefallen. Steigende organische Düngung ist demgegenüber gekennzeichnet, dass die K-Gehalte des Oberbodens entsprechend der Düngungsstufe deutlich angestiegen sind. Das Ausmaß des Anstiegs ist am Standort in Spröda z.T. deutlicher ausgeprägt als in Methau (Tabelle 176, Tabelle 177 u. Tabelle 178).

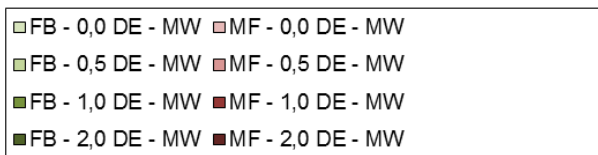
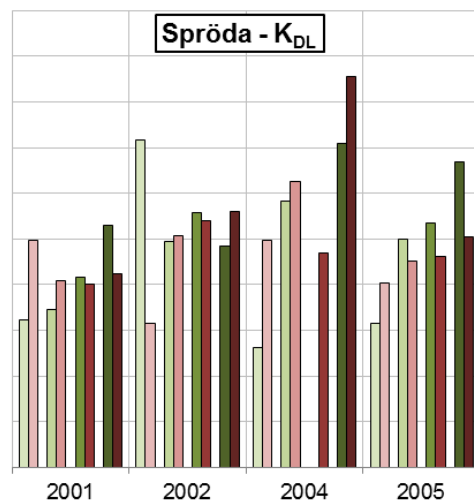
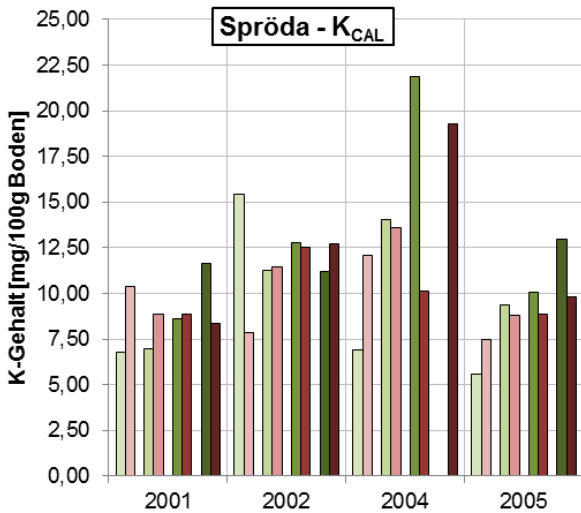
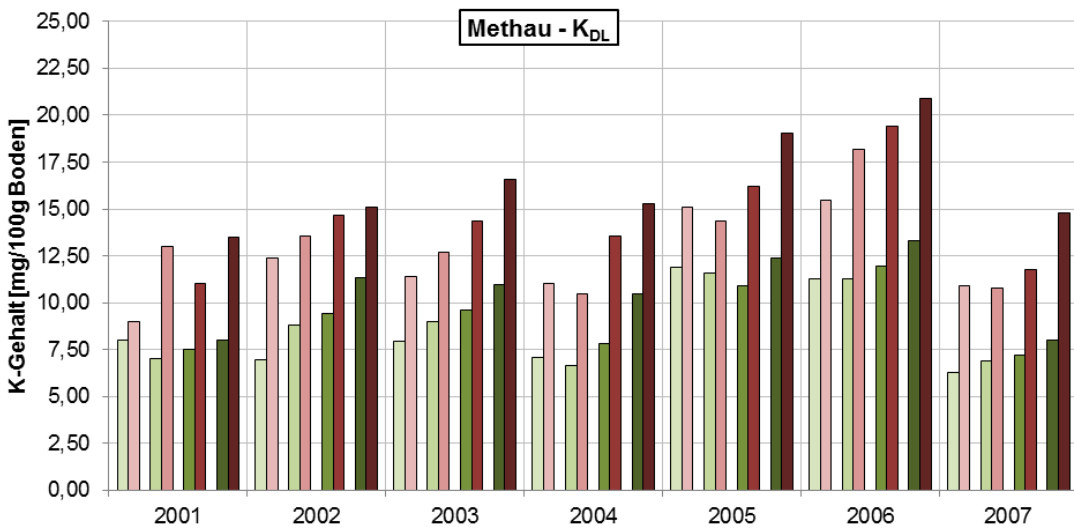
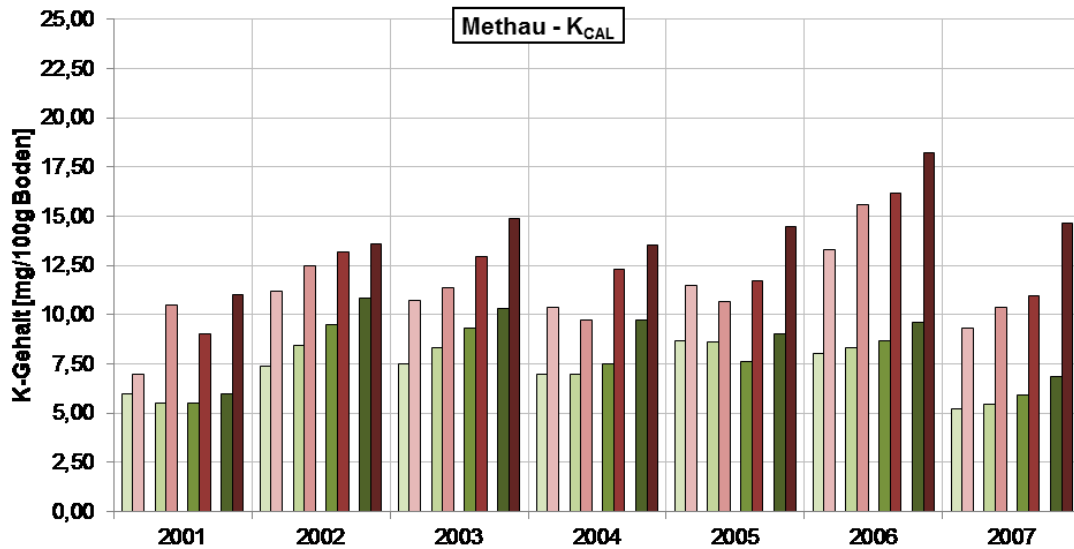


Abbildung 63: Entwicklung der pflanzenverfügbaren K-Gehalte an den Standorten Methau und Spröda in der zweiten Versuchshälfte unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität in 0 – 30 cm Bodentiefe (ohne MIN-Düngung)

Tabelle 176: Mittlere lösliche K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2004 – 2007)						Spröda (MW 2001 – 2005)					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau											
-	7,23	7,35	7,44	8,80	7,71	-	8,67	10,41	12,44	14,08	11,40
17,0	9,13	9,09	9,47	11,02	9,68	16,36	10,09	12,02	14,25	15,95	13,08
Marktfrucht											
-	11,14	11,59	13,03	15,23	12,75	-	9,45	10,68	10,10	12,52	10,69
14,0	13,13	13,45	15,23	17,50	14,83	15,93	10,69	12,46	11,71	14,66	12,38
Mittelwert											
-	9,19	9,47	10,24	12,02	10,23	-	9,06	10,55	11,27	13,30	11,05
15,5	11,13	11,27	12,36	14,26	12,26	16,15	10,39	14,24	12,98	15,31	13,23

Tabelle 177: Lösliche K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
-	7,23	7,45	7,94	10,16	7,23	7,26	6,93	7,43	7,18
17,0	9,13	9,04	10,08	12,49	9,13	9,14	8,86	9,55	8,29
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
-	11,14	11,74	13,68	16,65	11,14	11,44	12,38	13,81	8,85
14,0	13,13	13,81	15,68	19,52	13,13	13,08	14,79	15,48	10,07

Tabelle 178: Lösliche K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93	SM				G				
-	8,67	10,96	14,48	14,97	8,67	9,86	10,39	13,19	7,22
16,25	10,09	12,62	16,59	17,07	10,09	11,42	11,90	14,83	8,58
Marktfrucht									
1992/93	M				G				
-	9,45	11,47	10,05	13,98	9,45	9,89	10,15	11,07	8,72
15,88	10,69	13,29	11,79	16,14	10,69	11,63	11,63	13,18	8,87

Gegenüber der Vergleichsvariante ohne Düngung unterscheiden sich die untersuchten Düngemittel deutlich in ihrer Wirkung auf die K-Gehalte des Bodens (Tabelle 179). Wie beim Phosphat schon beschrieben (siehe Tabelle 175), wurden auch die K-Werte des Bodens an beiden Orten durch die stetige Stall­dungzufuhr am deutlichsten angehoben. Es folgt das Grüngut und mit Abstand die Rindergülle, bei deren Einsatz wurden die K-Gehalte in geringerem Umfang angehoben. Die KAS-Zufuhr führte jedoch auch beim Kalium im Vergleich zu keiner Düngung in den meisten Varianten zu einer Abnahme der K-Gehalte im Boden. Die Versorgung mit Kalium kann für beide Orte der neuen Klasse C (optimal) zugeschrieben werden.

Tabelle 179: Mittlere K-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden (oben: CAL; unten: DL) unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
7,23	8,52	7,21	7,18	8,67	13,47	11,15	7,22
9,13	10,54	9,18	8,29	10,09	15,43	12,72	8,58
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
11,14	14,02	12,54	8,85	9,45	11,83	10,37	8,72
13,13	16,34	14,45	10,07	10,69	13,74	12,15	8,87

4.3.5.2 Tiefenprofil

Die pflanzenverfügbaren K-Gehalte des Bodens zeigen im Tiefenprofil in Methau und Spröda ab 60 cm Bodentiefe, eine nahezu identische Ausprägung zwischen den zwei Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht (Abbildung 64). Beim Vergleich der Werte des Jahres 2000 sowie 2007 wird durch die CAL-Methode an beiden Standorten eine Zunahme des pflanzenverfügbaren K-Gehaltes ausgewiesen. Bei den DL-löslichen K-Gehalten ist dieser Trend weniger stark ausgeprägt.

Der K-Gehalt des Oberbodens in 0 – 30 cm Bodentiefe der FB-Variante Methaus lag, gemessen mit der CAL-Methode, zu beiden Messzeitpunkten zwischen 4,5 – 5,5 mg K/100 g Boden bzw. 7 – 9 mg K/100 g Boden, gemessen mit der DL-Methode. Die Untersuchungsergebnisse der MF-Variante Methaus zeigten im Oberboden bei 0 – 30 cm Bodentiefe zu beiden Messzeitpunkten mit K-Gehalten zwischen 7 – 13 mg K/100 g Boden (CAL-Methode) bzw. 13 – 16 mg K/100 g Boden (DL-Methode) deutlich höhere Werte auf. Im Tiefenprofil ist zu erkennen, dass im Jahr 2007 die MF-Varianten fast in jedem Tiefensegment höhere K-Gehalte auf dem Lößboden aufweisen.

Auch in Spröda stiegen die pflanzenverfügbaren K-Gehalte (insbesondere CAL-Methode) in 0 – 30 cm Bodentiefe zwischen dem ersten Untersuchungstermin im Jahr 2000 und dem zweiten Termin in 2005 insgesamt in den Gehalten in beiden Anbausystemen an (Abbildung 64). Wie bereits an den Werten des Oberbodens in Spröda aufgezeigt wurde (siehe Tabelle 176), ist auch im Tiefenprofil bis 200 cm keine eindeutige Differenzierung zwischen den beiden Anbausystemen möglich. Aufgrund der ca. 2 mg K/100 g höheren K-Gehalte im Tiefenprofil des zweiten Termins kann an beiden Orten auf eine gewisse K-Verlagerungs- und Auswaschungsgefährdung geschlossen werden.

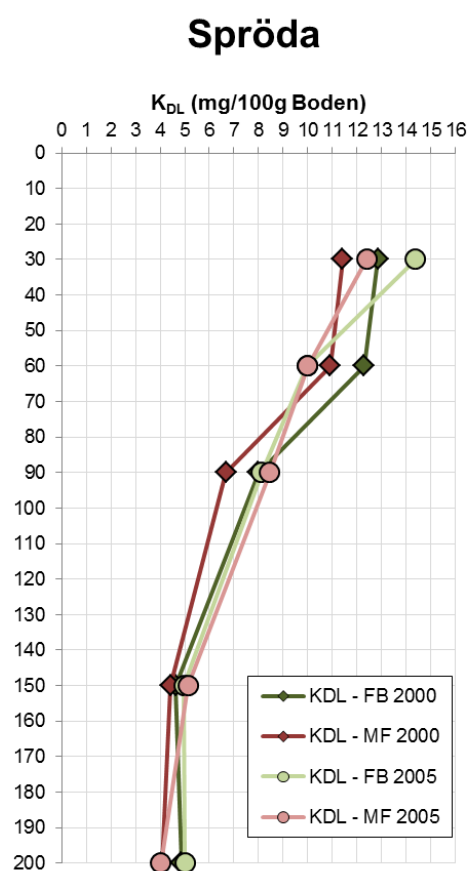
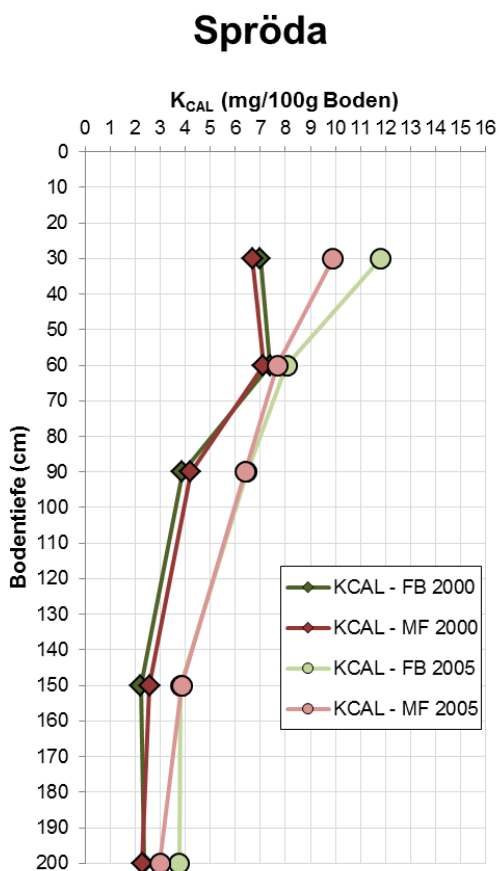
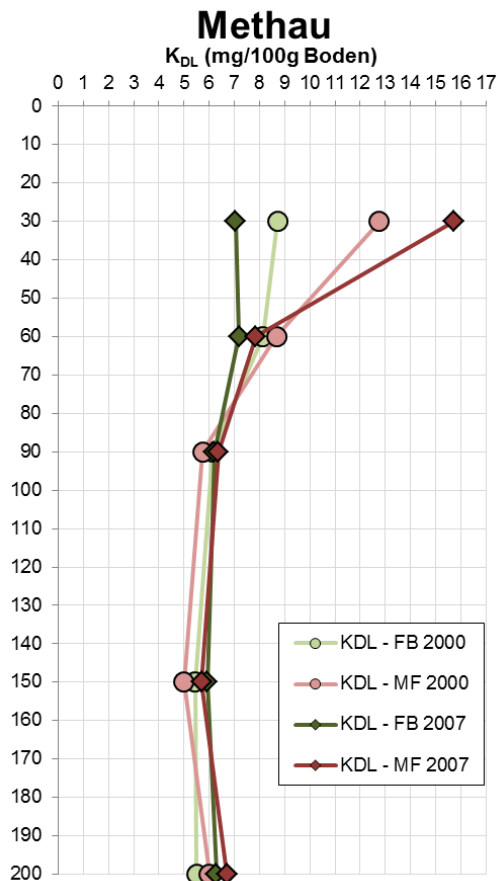
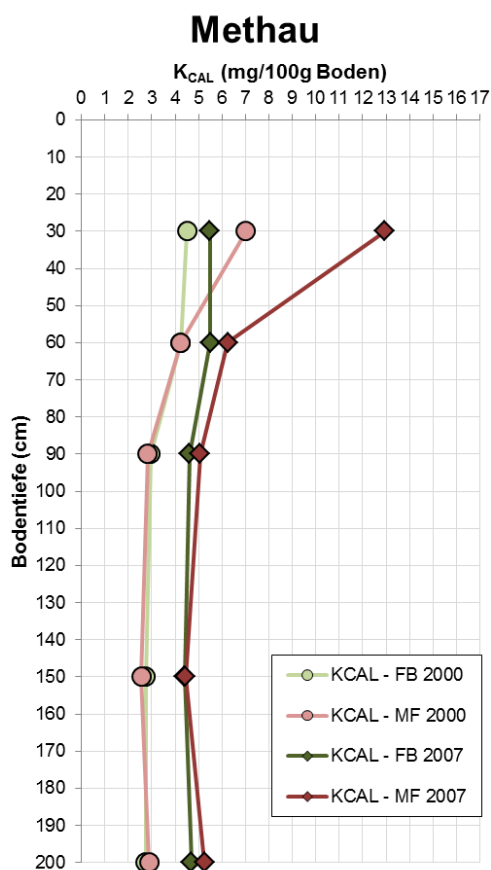


Abbildung 64: CAL- bzw. DL- extrahierbare K-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda im Jahr 2000 sowie zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Anbausystemen (ohne MIN-Düngung)

Die pflanzenverfügbaren K-Gehalte des Oberbodens (0 – 30 cm) sind in Methau über die zwei Analysezeitpunkte in allen 4 Düngungsstufen angestiegen, im CAL-Extrakt deutlicher als im DL-Extrakt des Bodens (Abbildung 65, nur DL-K abgebildet). Im Durchschnitt lag der K-Gehalt im Oberboden im ersten Untersuchungsjahr 2000, ermittelt nach der CAL-Methode, bei 4,5 – 6 mg K/100 g Boden. Zum zweiten Versuchszeitpunkt befanden sich die K-Gehalte im Oberboden auf deutlich höherem Niveau. Die Düngeintensität mit einem Äquivalent von 2,0 DE/ha zeigt im Jahr 2007 bereits 11 mg K/100 g Boden an.

Nach verhältnismäßig stark absinkenden K-Gehalten in den oberen Bodenschichten bis 90 cm Bodentiefe, die von den Wurzeln der meisten Pflanzen insgesamt noch gut zu erreichen sind, liegen die Gehalte in tieferen Schichten auf niedrigem Niveau und sind nur noch geringen Änderungen unterworfen. Ab 150 cm Bodentiefe ist in Methau unterhalb des durchwurzelbaren Bereichs wieder eine leicht ansteigende Tendenz der K-Gehalte zu erkennen. Es ist zudem deutlich zu sehen, dass im gesamten Tiefenprofil nach hoher organischer Düngung auch entsprechend ansteigende Gehalte an CAL-löslichem Kalium im Boden analysiert worden sind. Die Varianten der DL-löslichen K-Gehalte folgen demgegenüber ebenfalls in der Tendenz dieser Unterscheidung zwischen den Düngungsvarianten.

In Spröda zeigen die pflanzenverfügbaren K-Gehalte des Oberbodens ebenfalls eine der steigenden Düngeintensität entsprechende Verteilung der Gehalte an (Abbildung 65, DL-K). Im Jahr 2000 liegen die nach CAL-Methode ermittelten Gehalte im Oberboden (0 – 30 cm Tiefe) der Steigerungsstufen 0,0 – 1,0 DE/ha auf Gehalten zwischen 4,5 – 7,5 mg K/100 g Boden. Auch hier weist die mit 2 DE/ha intensiv gedüngte Variante eindeutig die höchsten Gehalte auf. Bis in 90 cm Bodentiefe stark fallend, sinken die K-Gehalte in weiterer Tiefe nur noch vergleichsweise mäßig ab und bewegen sich insgesamt auf niedrigem Niveau. Zum zweiten Untersuchungstermin 2005 liegt nur noch der pflanzenverfügbare K-Gehalt des Oberbodens der ungedüngten Variante auf einem vergleichbaren Niveau. Entsprechend der Düngungsstufe und der Bodentiefe sind die K-Gehalte der anderen Varianten bis in die Tiefe von 200 cm etwas angestiegen, was besonders an den CAL-löslichen Werten abgelesen werden kann.

Über das gesamte Tiefenprofil zeigten die Verläufe für das DL- und CAL-lösliche pflanzenverfügbare Kalium in den Probenahmejahren 2000 und 2007 einen ähnlichen Verlauf. Die DL-Methode scheint im Vergleich der Methoden durchgehend leicht höhere Analysengehalte als die CAL-Methode auszuweisen. Die Ergebnisse zeigen eine z. T. deutlich unterschiedlich hohe K-Versorgung des Oberbodens durch die ausgewiesene Düngeintensivierung auf. Im Unterboden ist am Ort Spröda nur noch in der Tendenz eine gerichtete Differenzierung zwischen den Düngungsvarianten möglich.

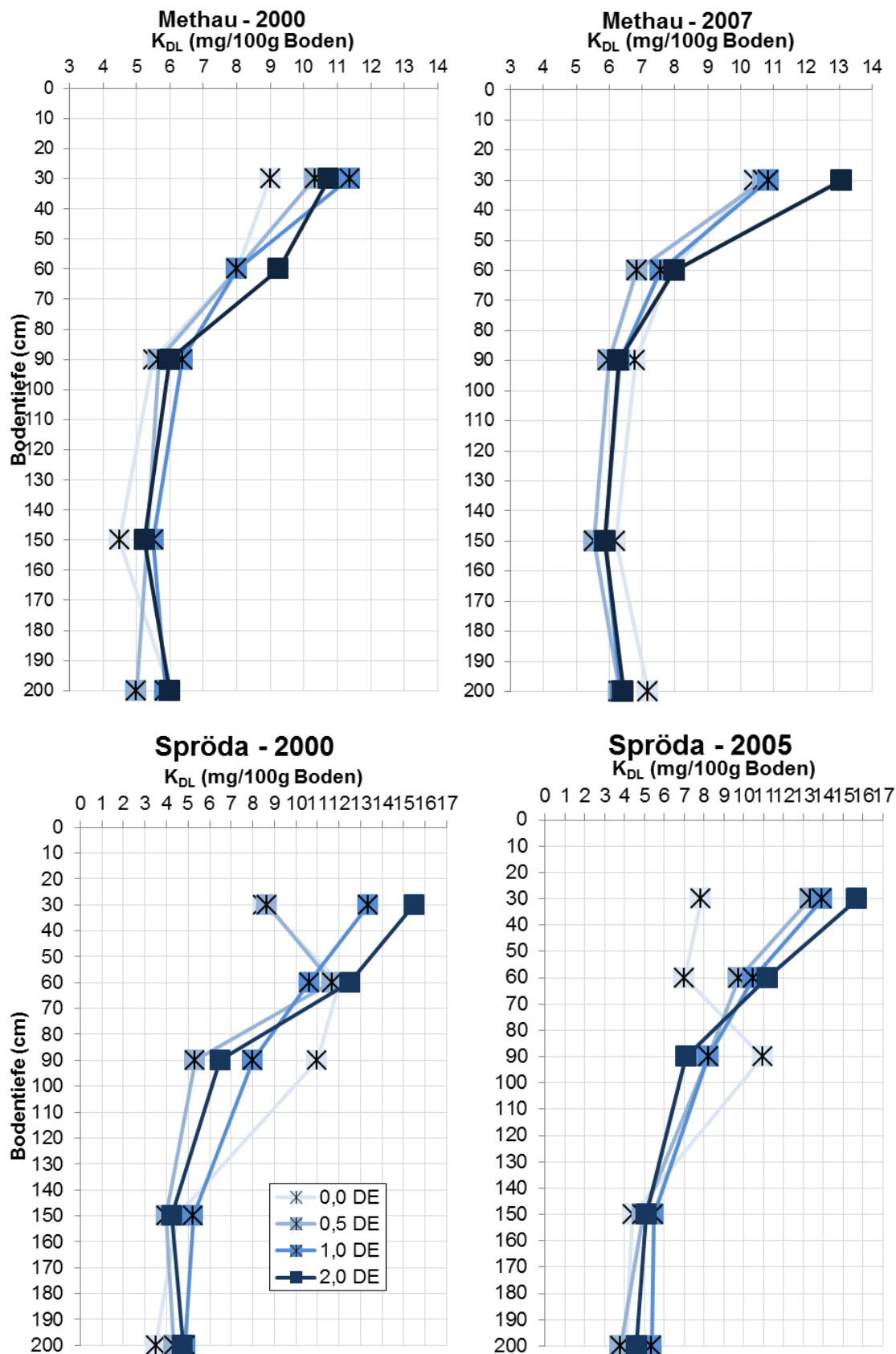


Abbildung 65: DL-extrahierbare K-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngeintensitäten (FB + MF gemittelt)

Zu beiden Probenahmezeitpunkten (2000 und 2007) hinterließen im Oberboden (0 – 30 cm) Methaus mit Abstand die Stallmist- sowie die Grüngut-Varianten die höchsten pflanzenverfügbaren K-Gehalte (Abbildung 66, nur DL-K abgebildet). Befanden sich die K-Gehalte (nach CAL-Methode) dieser Düngevarianten im Jahr

2000 noch auf niedrigerem Niveau, sind beide Düngerarten zum Zeitpunkt des zweiten Untersuchungsjahres mit ihren Gehalten im Oberboden bereits deutlich angestiegen. Die K-Gehaltsveränderung im Oberboden Methaus war durch Mineralstickstoff- sowie Gülle-Düngung nur gering ausgeprägt. Generell kam es jedoch über alle Tiefenstufen hinweg in Methau zu einem Anstieg der K-Gehalte bei Betrachtung beider Probenahmezeitpunkte.

In Spröda zeigte sich ein ähnliches Bild (Abbildung 66, DL-K). Die pflanzenverfügbaren K-Gehalte im Oberboden waren auch hier durch Stallmist am stärksten ausgeprägt (CAL- und DL-Methode). Die MIN-Variante wies den geringsten K-Gehalt auf. Die Grüngut- und Gülle-Düngung führten, nach CAL-Methode ermittelt, zu einem leichten Anstieg der K-Gehalte. Durch Stallmist-Düngung lag im Jahr 2000 der K-Gehalt bei 10 mg/100 g Boden. Beim zweiten Probennahmetermin 2005 wurden dann bereits 15 mg K/100 g Boden erreicht. Über die Tiefenstufen sank der pflanzenverfügbare K-Gehalt deutlich ab um dann in 200 cm Bodentiefe an beiden Probenahmeterminen auf sehr niedrigem Niveau zu verharren.

Es ist an beiden Standorten zu erkennen, dass die höchsten K-Gehalte in der gesamten Profiltiefe nach andauernder Stalldungzufuhr ermittelt worden sind. Diese Differenzierung war schon im Jahr 2000 zu erkennen, trat aber zum Abschluss der Versuche noch deutlich hervor. An nachstehender Rangstelle folgten die Grüngut- und Güllevarianten, während die N-Mineraldüngung die vergleichsweise niedrigsten K-Werte aufwies. Bis in eine Tiefe von 90 cm ist diese Rangfolge für Methau zutreffend. In tieferen Schichten ist hier oft keine eindeutige Differenzierung zwischen den Düngerarten mehr möglich. Für den Standort Spröda trifft diese Einstufung der Düngemittel für die gesamte untersuchte Profiltiefe des Jahres 2000 zu. Zum zweiten Untersuchungstermin ist eine eindeutige Differenzierung der Düngemittelarten möglich.

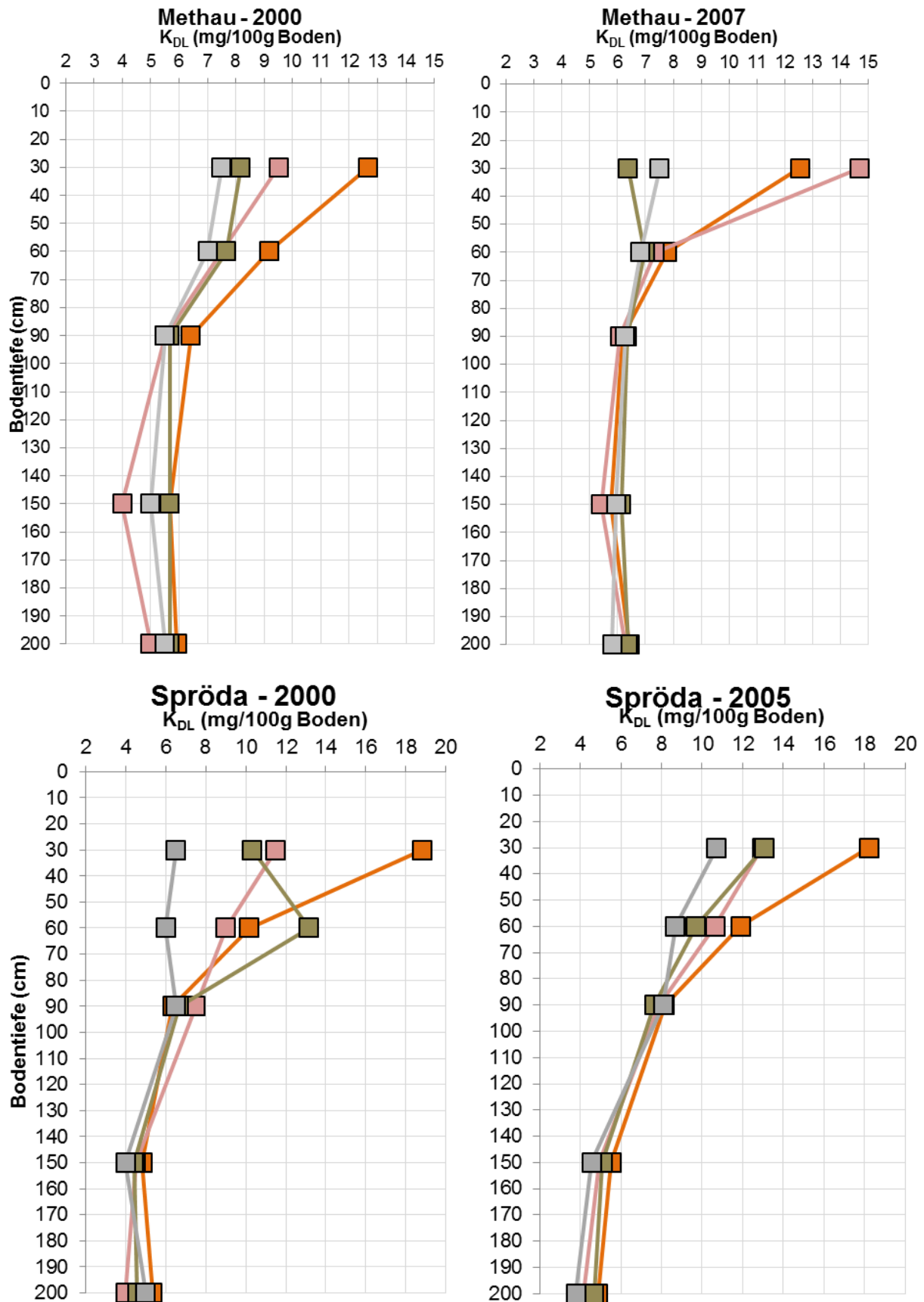


Abbildung 66: DL-extrahierbare K-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda im Jahr 2000 und zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Düngevarianten (FB+MF gemittelt)

4.3.6 Pflanzenverfügbares Magnesium

4.3.6.1 Ackerkrume

Die Erfassung des pflanzenverfügbaren Magnesium-Gehalts erfolgte durch die CaCl_2 -Methode nach SCHACHTSCHABEL. Auch das Magnesium ist ein wichtiger Nährstoff, insbesondere auf leichten Böden kann es schnell ein Mangelnährstoff werden. Aus dem Verlauf des pflanzenverfügbaren Magnesium in der zweiten Versuchshälfte kann ersehen werden, dass auf dem Sandstandort Spröda die Gehalte deutlich niedriger liegen als am Standort Methau (Abbildung 67). Insgesamt sind die Mg-Gehalte anscheinend mit der Zeit etwas angestiegen, in Spröda etwas deutlicher als in Methau. Varianten mit keiner oder geringer Düngung sind dagegen eher in ihren Gehalten herabgesetzt worden. Auch beim Nährstoff Magnesium können Unterschiede zwischen den Anbausystemen und einer steigenden organischen Düngung erkannt werden.

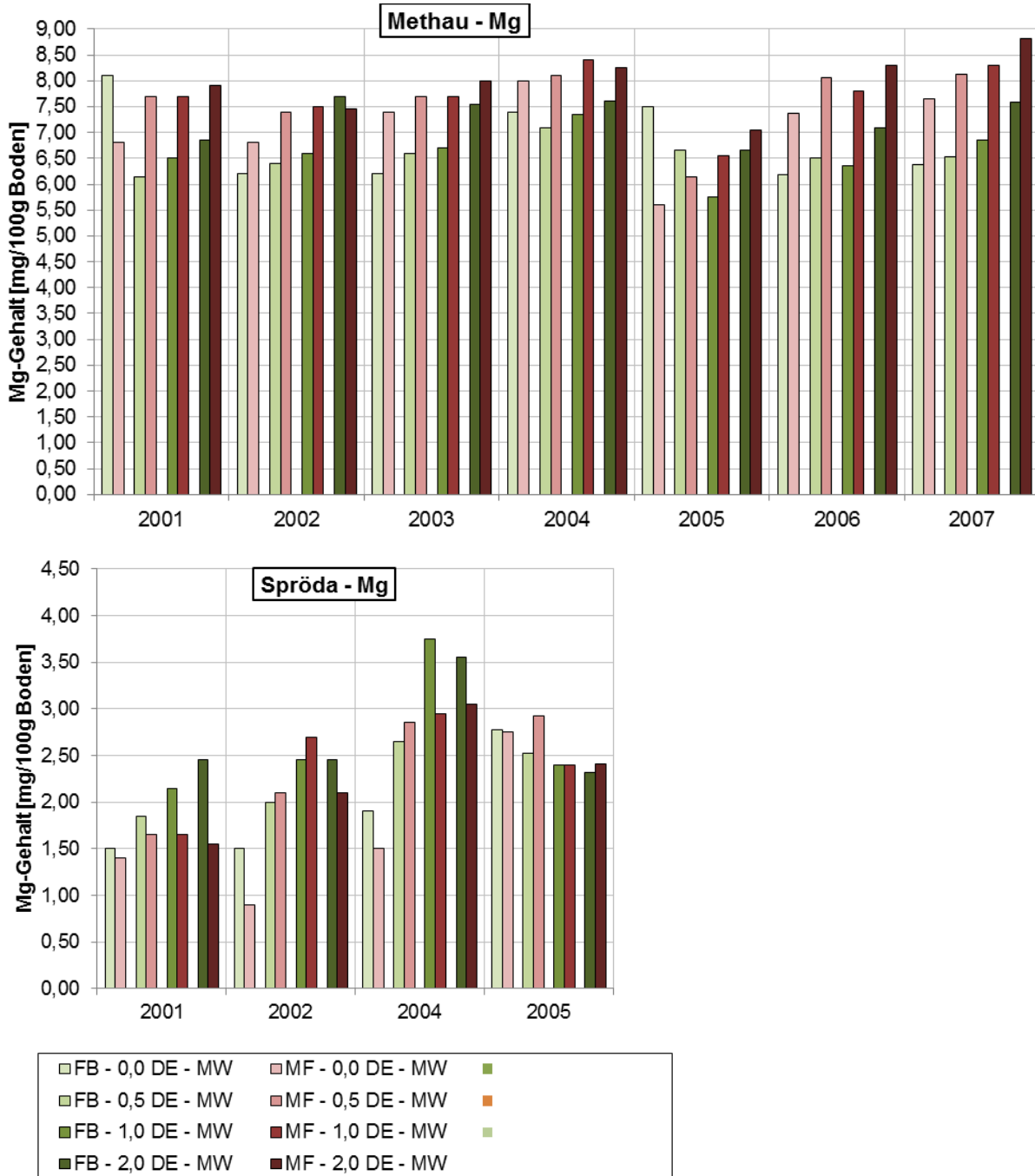


Abbildung 67: Entwicklung der Mg-Gehalte (nach CaCl_2 -Methode) unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität in 0 – 30 cm Bodentiefe an den Standorten Methau und Spröda (ohne MIN-Düngung)

Die zusammengefassten Werte an pflanzenverfügbarem Magnesium lassen erkennen, dass in den Anbausystemen eine unterschiedliche Entwicklung der Gehalte stattgefunden hat (Tabelle 180, Tabelle 181 u. Tabelle 182). Während in Methau eindeutig die MF-Varianten zum Versuchsende die höheren Gehalte aufweisen, trifft am Ort Spröda das Gegenteil zu. Hier liegen die FB-Gehalte an Magnesium auf höherem Niveau. Entsprechend den unsicheren Ausgangsgehalten am Versuchsbeginn sind die Mg-Gehalte aber an beiden Orten z.T. deutlich abgefallen, vor allem auf dem Sandboden in Spröda. An beiden Standorten hat die steigende organische Düngung dazu geführt, dass die Mg-Gehalte im Boden angestiegen sind.

Tabelle 180: Lösliche Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der Anbausysteme und Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2004 – 2007)						Spröda (MW 2001 – 2005)					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau											
8,59	6,86	6,70	6,58	7,23	6,84	4,89	1,92	2,26	2,69	2,69	2,39
Marktfrucht											
10,41	7,16	7,61	7,76	8,10	7,66	5,42	1,64	2,38	2,43	2,28	2,18
Mittelwert											
9,50	7,01	7,16	7,17	7,67	7,25	5,16	1,78	2,31	2,56	2,49	2,29

Tabelle 181: Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
8,55	6,86	6,91	7,06	8,17	6,86	6,49	6,09	6,30	5,63
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
10,45	7,16	8,21	8,53	9,31	7,16	7,01	6,99	6,89	6,10

Tabelle 182: Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
4,90	1,92	2,21	2,68	3,02	1,92	2,31	2,70	2,36	2,66
Marktfrucht									
1992/93		M				G			
4,54	1,64	2,50	2,98	2,63	1,64	2,26	1,87	1,93	2,16

Der Anstieg an Magnesium ist offenbar durch stetige Stallmistdüngung im höheren Maße gelungen als durch die Applikation anderer Düngemittelarten (Tabelle 183). Auch durch Grüngutzufuhr (M) können die Mg-Werte angehoben werden. Gülle und Kalkammonsalpeter sind offenbar weniger gut geeignet, besonders auf dem Lößboden in Methau. In Spröda sind die Mg-Gehalte im Boden auch in diesen Varianten in der Tendenz etwas angehoben worden. Am Ende der Versuche war die Versorgung mit Magnesium am Ort Methau mit der konventionellen Bewertungsklasse B als ausreichend zu bezeichnen. Am Ort Spröda besteht Handlungsbedarf zur Mg-Düngung, denn die Gehalte liegen zumindest in den vieharmen Varianten in den Klassen A – B.

Tabelle 183: Lösliche Mg-Gehalte [mg/100 g Boden] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
6,86	7,38	6,29	5,63	1,92	2,64	2,46	2,66
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
7,16	8,68	6,96	6,10	1,64	2,70	2,02	2,16

4.3.6.2 Tiefenprofil

Aus den Ergebnissen der Tiefenuntersuchungen geht hervor, dass die Gehalte des Oberbodens in Methau zum ersten Termin im Jahr 2000 zwischen 7 – 10 mg Mg/100 g Boden lagen (Abbildung 68). Zum Zeitpunkt der zweiten Probenahme im Jahr 2007 waren im Oberboden leicht gesunkene Gehalte feststellbar. In den weiteren Tiefenschichten war der Unterschied weniger eindeutig ausgeprägt. Zu beiden Untersuchungszeitpunkten konnte, über die Tiefenstufen hinweg, ein ansteigender Mg-Gehalt festgestellt werden. In Methau befinden sich erhebliche Mengen an Magnesium in tieferen Bodenschichten.

Da in Methau Lehm als Bodenart vorherrscht, ist die Auswaschungsgefährdung im Gegensatz zum Vergleichsstandort eher gering einzuschätzen. Zudem sind besonders die periodisch meistens mehrjährig

angebauten tiefwurzelnden Fruchtarten (Luzerne/Klee gras) geeignet, auch die Mg-Gehalte tieferer Schichten zu nutzen. Eine Unterscheidung zwischen den beiden Anbausystemen kann in Methau nicht vorgenommen werden, da kein eindeutiger Trend zu erkennen ist. Im Vergleich zum FB-System ist die Zunahme an Magnesium anscheinend auf den MF-Varianten in tieferen Bodenschichten stärker ausgeprägt als im Oberboden.

Der Standort Spröda scheint durch den leichten Boden für einen Mg-Mangel prädestiniert. Im Oberboden wurden Mg-Gehalte von 2,5 – 3,0 mg Mg/100g Boden ermittelt. In tieferen Schichten kommt es im Gegensatz zum Standort Methau zu einer Abnahme der Mg-Gehalte. Die Bodennachlieferung an pflanzenverfügbarem Magnesium ist an diesem Standort vermutlich ebenfalls gering. Zwischen den Untersuchungs terminen haben sich die Mg-Werte besonders in tieferen Bodenschichten verringert. Die Abnahme der Mg-Gehalte war in den FB-Varianten stärker ausgeprägt als in den MF-Vergleichsvarianten.

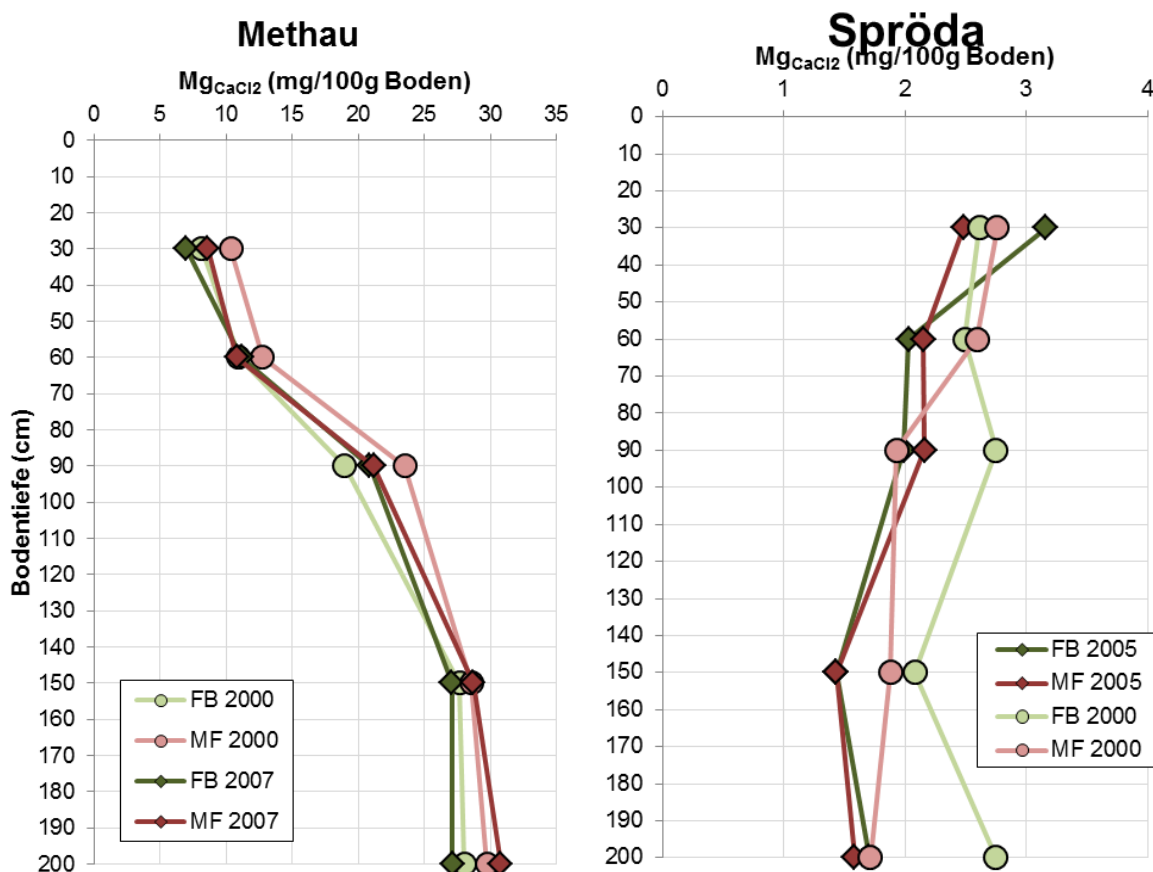


Abbildung 68: Extrahierbare Mg-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda im Jahr 2000 sowie zum Versuchsende 2005 bzw. 2007 nach Anbausystemen (ohne MIN-Düngung)

Die $CaCl_2$ -löslichen Mg-Gehalte weisen in Methau zunächst ein geringfügiges Absinken von 8,0 – 10,0 mg im Oberboden des Jahres 2000 bis auf ca. 6,5 – 8,5 mg Mg/100 g Boden in 2007 auf (Abbildung 69). Im Tiefenprofil sind mit bis zu 30 mg Mg/100 g Boden zu beiden Probenahmezeitpunkten deutlich höhere Mg-Gehalte festzustellen. Der Boden kann daher als außerordentlich reich an Magnesium und mit einem sehr hohen Nachlieferungspotenzial aus dem Unterboden angesprochen werden. Der Einfluss steigender organischer Düngung ist deshalb nur marginal ausgeprägt, die Steigerungsstufen liegen daher sehr dicht beieinander.

Auf dem Standort in Spröda sind deutlich niedrigere Gehalte und eine erhebliche Schwankung der Mg-Gehalte zwischen den Versuchsgliedern im gesamten Bodenprofil zu erkennen (Abbildung 69). Der abnehmende Trend der Gehalte im Tiefenprofil ist aber im Zeitverlauf zwischen der ersten und zweiten Untersuchung nach hoher stetiger organischer Düngung eher verringert worden als bei geringer oder gar

keiner Düngungszufuhr. Die Gehalte an Magnesium sind daher nach hoher organischer Düngung (2 DE/ha) in geringeren Umfang abgefallen als in den Varianten mit geringerer Zufuhr.

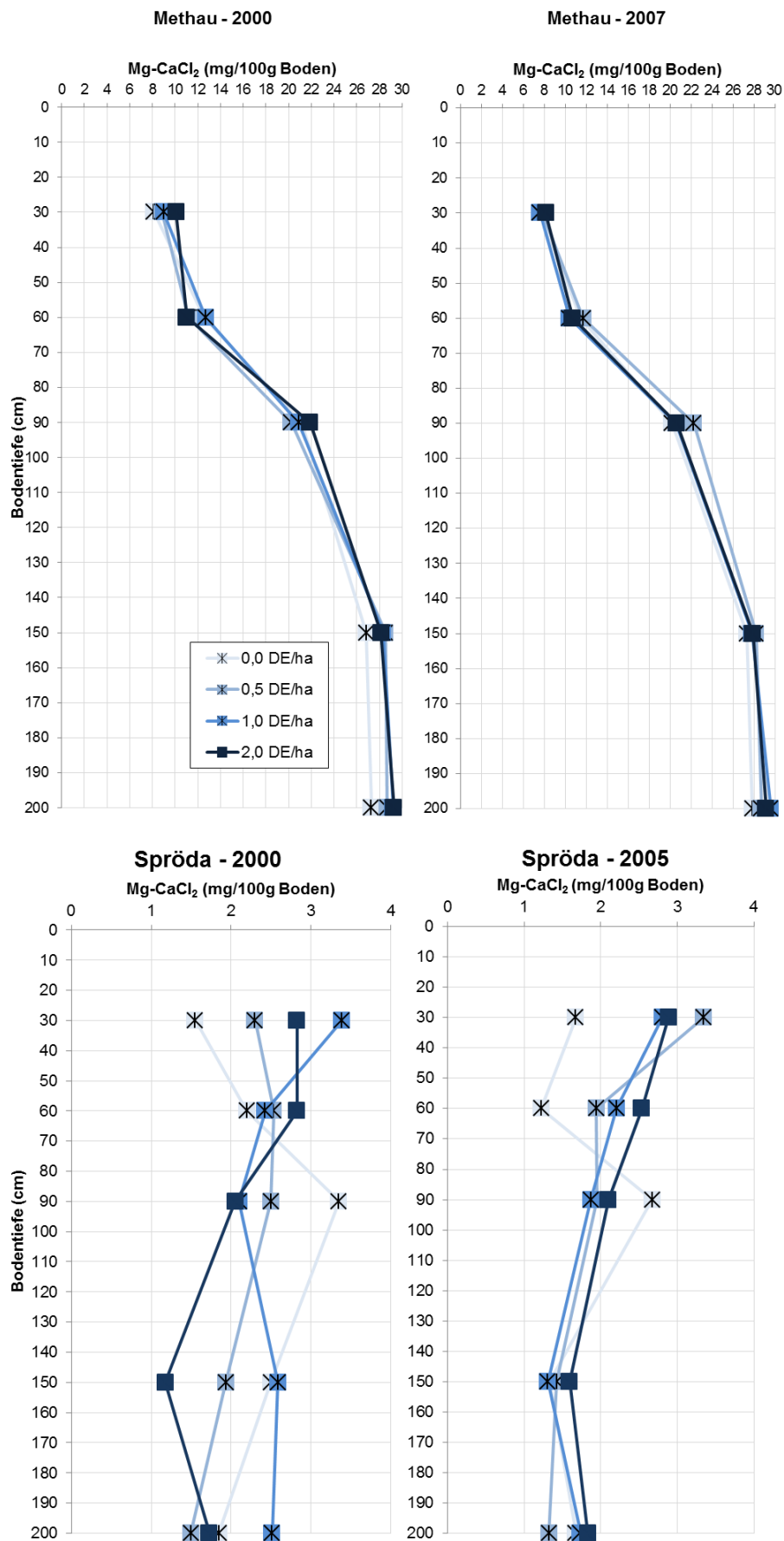


Abbildung 69: Entwicklung der Mg-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngeintensitäten (FB + MF gemittelt)

Auch ein Vergleich der Wirkung der Düngemittel ist am Ort Methau nicht einfach, da die Varianten in ihren Mg-Gehalten sehr dicht beieinander liegen (Abbildung 70). In der Tendenz ist zu erkennen, dass die Variante mit stetiger Grüngut-Zufuhr in beiden Untersuchungsjahren über alle Tiefenstufen hinweg durchschnittlich die höchsten Mg-Gehalte aufwies. Die SM-Düngung scheint dagegen den pflanzenverfügbaren Mg-Gehalt der oberen Bodenschichten anzuheben. Allgemein unterscheiden sich die Düngevarianten kaum voneinander.

In Spröda weisen ebenfalls die SM-Varianten die höchsten pflanzenverfügbaren Mg-Gehalte im Oberboden auf (Abbildung 70). In tieferen Bodenschichten ist unter Stallmist- aber auch unter Grüngut-Düngung ein weit weniger hoher Gehalt festzustellen. Die Gehalte sind etwas stärker abgesunken als bei den anderen Düngemitteln. In der Tendenz sind die Mg-Gehalte der unterschiedlich gedüngten Parzellen am zweiten Termin etwas näher zusammengerückt und in der Summe eher leicht abgesunken. Einzig die MIN-Variante weist in Spröda zwischen den zwei Probenahmezeitpunkten offenbar steigende Gehalte im Unterboden auf. Die größten Auswirkungen scheint diese Variante auf den Mg-Gehalt in 60 – 150 cm Bodentiefe ausgeübt zu haben.

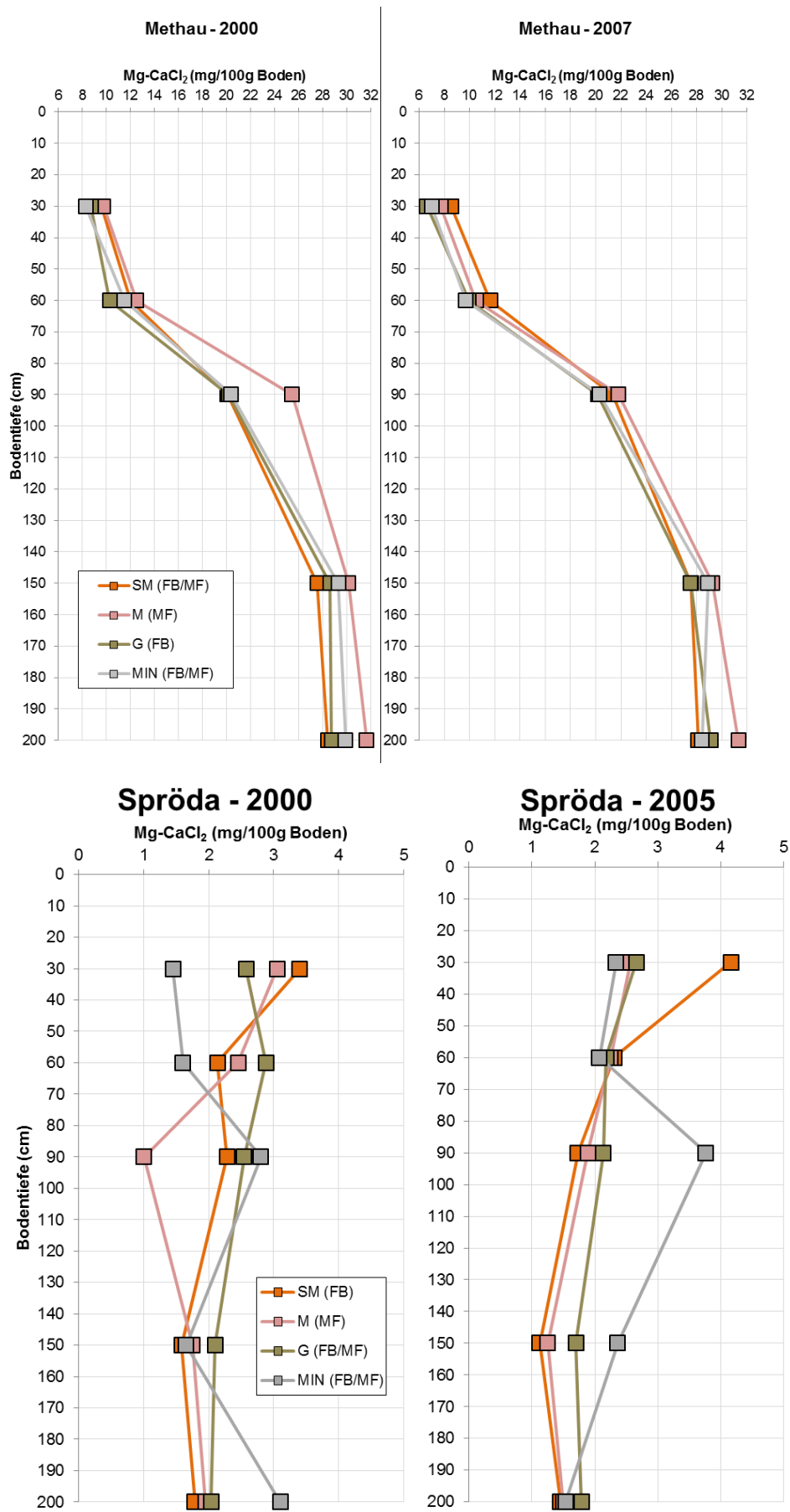


Abbildung 70: CaCl₂-extrahierbare Mg-Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngervarianten

4.3.7 Organischer Kohlenstoff - C_{org}-Gehalt

Der Humusgehalt und dessen Qualität ist insbesondere im ökologischen Landbau als ein wichtiges Merkmal der Bodenfruchtbarkeit anzusehen. Die Dokumentation der Entwicklung der Gehalte im Boden ist jedoch nicht einfach, da im Zeitverlauf nur geringe Änderungen eintreten, die oft durch die jährlich zu verzeichnenden Schwankungen übertroffen werden. Daher sind möglichst aus jedem Jahr Bodenproben zu untersuchen und die Dauer der Versuche sollte möglichst 10 Jahre betragen. In den vorliegenden Dauerversuchen treffen diese Prämissen in der Regel zu, so dass auch diese Merkmale ausführlich dargestellt werden konnten.

In der nachfolgend aufgeführten Tabelle 184, der Tabelle 185, der Tabelle 186 sowie der Tabelle 187 wurden die Einzelergebnisse jeweils aus zwei verschiedenen Erfassungszeiten zu Mittelwerten aggregiert. So gelingt es, einerseits die Entwicklung der C_{org}-Gehalte in Abhängigkeit von den untersuchten Einflussfaktoren mit hoher Sicherheit darzustellen und andererseits die exakte Höhe der Werte zum Versuchsende genauer zu dokumentieren. Wie aus der Tabelle 184, der Tabelle 185 sowie der Tabelle 186 zu entnehmen ist, waren zu Versuchsbeginn in der Regel in fast allen Varianten die niedrigsten Ausgangsgehalte an C_{org} ermittelt worden. Über die gesamte Versuchszeit haben die Einflussfaktoren so eingewirkt, dass jeweils ein Anstieg der Gehalte eingetreten ist. Es ist eindeutig zu erkennen, dass auch am Versuchsende am Standort Methau auf dem Lößboden höhere C_{org}-Gehalte nachzuweisen sind als auf dem Sandboden in Spröda.

Am Ort Methau lagen die C_{org}-Ausgangsgehalte zu Versuchsbeginn in der MF-Variante auf niedrigerem Niveau als im FB-System. Dieser Unterschied ist zwischen den Anbausystemen im Prinzip auch noch zu Versuchsende anzutreffen. Es ist jedoch zu erkennen, dass die C_{org}-Gehalte der MF-Varianten offenbar etwas stärker mit der Zeit angestiegen sind als die der Vergleichsvarianten. Am Ort Spröda werden im Durchschnitt auch geringfügig niedrigere C_{org}-Werte im MF-System ermittelt, doch waren die Ausgangsgehalte dieser Varianten bereits am Versuchsbeginn etwas höher. Mit steigender organischer Düngung sind die Gehalte an Humus an beiden Anbauorten stetig angestiegen. Das relative Ausmaß war mit 111 % am Ort Methau etwas höher im Vergleich mit 109 % am Ort Spröda.

Tabelle 184: Mittlere C_{org}-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2006 – 2007 oben; MW 2004 – 2007 unten)						Spröda (MW 2004 – 2005 oben; MW 2001 – 2005 unten)					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau											
1,044 - 1,066	1,138	1,138	1,202	1,243	-	0,638 - 0,775	0,698	0,731	0,780	0,797	-
	1,104	1,082	1,138	1,215	1,158		0,813	0,832	0,856	0,863	0,796
Marktfrucht											
0,812 - 0,951	1,110	1,160	1,178	1,262	-	0,754 - 0,775	0,717	0,721	0,756	0,794	-
	1,042	1,069	1,102	1,149	1,134		0,808	0,798	0,835	0,863	0,787
Mittelwert											
0,968	1,099	1,112	1,155	1,217	1,146	0,736	0,759	0,771	0,807	0,829	0,792

Tabelle 185: C_{org}-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
1,044 - 1,066	1,138	1,157	1,250	1,323	1,138	1,120	1,153	1,163	1,117
	1,104	1,081	1,180	1,291	1,104	1,082	1,096	1,139	1,059
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
0,812 - 0,951	1,110	1,180	1,197	1,318	1,110	1,140	1,160	1,207	1,182
	1,042	1,068	1,124	1,214	1,042	1,070	1,080	1,084	1,111

Tabelle 186: C_{org}-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
0,638 - 0,775	0,698	0,723	0,789	0,817	0,698	0,739	0,771	0,777	0,731
	0,813	0,830	0,859	0,873	0,813	0,834	0,854	0,852	0,822
Marktfrucht									
1992/93		M				G			
0,754 - 0,775	0,717	0,715	0,741	0,779	0,717	0,728	0,771	0,810	0,747
	0,808	0,792	0,839	0,839	0,808	0,803	0,831	0,888	0,801

Durch die mineralische N-Düngung erfolgten an beiden Versuchsorten die geringsten Veränderungen der C_{org}-Werte im Boden. Im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung wurden jedoch durch diese Variante jeweils etwas höhere C_{org}-Gehalte im Boden ermittelt (Tabelle 187). Es folgte die stetige Grüngutzufuhr, die sogar oft schlechter als die Mineraldüngung eingestuft werden konnte. Im Vergleich zu keiner Düngung sind die Gehalte an Humus jedoch auch in dieser Variante geringfügig angestiegen. Mit etwas besserem Potenzial zur C_{org}-Anreicherung folgten relativ eindeutig die Varianten mit stetiger Gölledüngung. Nach diesen Untersuchungen wies die Stalldüngung über die größte Wirkung auf, die C_{org}-Gehalte des Bodens an beiden Standorten zu erhöhen.

Tabelle 187: Mittlere C_{org}-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
1,138	1,243	1,145	1,117	0,698	0,776	0,763	0,731
1,104	1,184	1,106	1,059	0,813	0,854	0,847	0,822
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
1,110	1,232	1,169	1,182	0,717	0,745	0,770	0,747
1,042	1,135	1,078	1,111	0,808	0,823	0,841	0,801

Die nächste Abbildung 71 zeigt das Tiefenprofil der C_{org}-Gehalte, aufgegliedert nach Höhe der organischen Düngung an beiden Standorten. Im Oberboden ist an beiden Orten die C_{org}-Anreicherung durch eine hohe organische Düngung zu erkennen. Zwischen 30 – 60 cm Tiefe findet der größte Umfang an C_{org}-Abnahme statt, in diesem Bereich sind auch noch vereinzelt Einflüsse der Düngungsregime zu sehen. In tieferen Schichten werden sehr niedrige Gehalte an C_{org} sichtbar, besonders auf dem Sandstandort in Spröda. Ein Düngungseinfluss ist nicht gegeben. Auf die Darstellung weiterer Ergebnisse wird verzichtet, da kein Einfluss eines untersuchten Faktors vorlag.

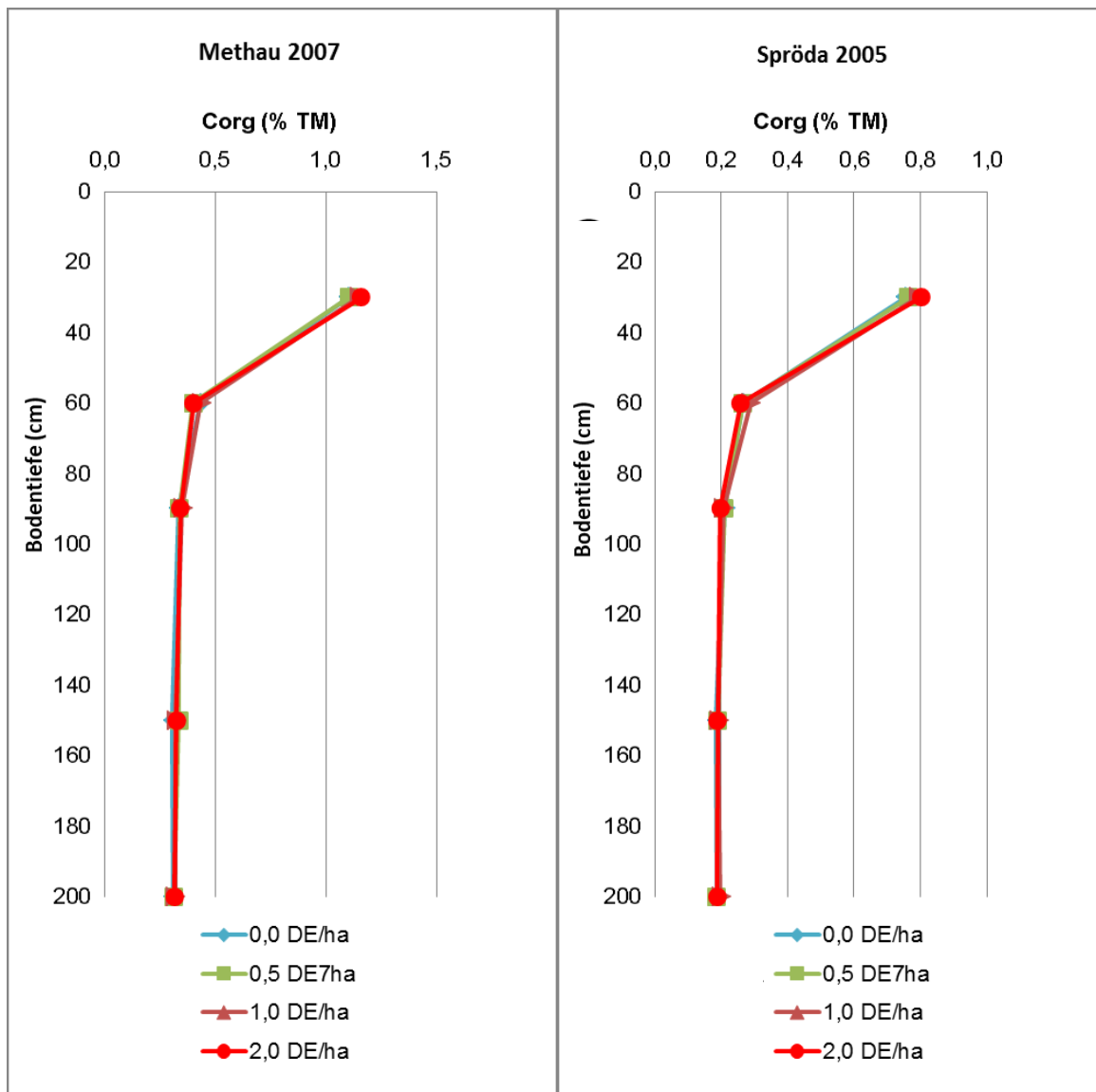


Abbildung 71: Mittlere C_{org} -Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngevarianten

4.3.8 Gesamt-N - N_t -Gehalt

Der N_t -Gehalt und das C/N-Verhältnis des Bodens können als einfache Qualitätsmerkmale für den Humus angesehen werden. In der Ackerkrume der Dauerversuche sind diese Merkmale ebenfalls fast jedes Jahr in der zweiten Phase untersucht worden. Daher konnten auch hierzu mehrjährige Mittelwerte gebildet werden, um den Einfluss der Untersuchungsfaktoren genauer aufzeigen zu können (Tabelle 188, Tabelle 189, Tabelle 190 u. Tabelle 191). So ist der Standort Methau durch deutlich höhere N_t -Werte gekennzeichnet als der Ort Spröda. Die Anbausysteme haben zu keiner deutlichen Differenzierung der Werte beigetragen, besonders am Ort Spröda sind kaum Unterschiede zu erkennen. Auf dem Lößboden sind die MF-Varianten offenbar durch etwas höhere N_t -Werte gekennzeichnet.

Aus der konventionellen Vorbewirtschaftung sind verhältnismäßig niedrige C_{org} - und relativ hohe N_t -Gehalte als Ausgangswerte im Jahr 1992 festzustellen. Im Verlauf der Versuche sind die Gehalte zumindest in den gering gedüngten Varianten an beiden Standorten abgefallen. In Folge steigender organischer Düngung kann in der Regel eine stetige Zunahme der N_t -Gehalte des Oberbodens festgestellt werden, so dass in einigen Fällen die Ausgangswerte erreicht oder sogar überschritten werden können. Die relative Zunahme war in

Methau mit ca. 120 % deutlich höher als in Spröda mit ungefähr 111 % im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung.

Tabelle 188: Entwicklung der N_t-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2006 – 2007 oben; MW 2004 – 2007 unten)						Spröda (MW 2004 – 2005 oben; MW 2001 – 2005 unten)					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau											
0,128	0,107	0,118	0,121	0,129		0,088 - 0,102	0,061	0,065	0,070	0,069	
	0,101	0,110	0,116	0,125	0,116		0,088	0,089	0,093	0,093	0,079
Marktfrucht											
0,119 - 0,122	0,116	0,123	0,125	0,134		0,088 - 0,097	0,064	0,062	0,063	0,073	
	0,101	0,112	0,118	0,121	0,119		0,088	0,085	0,088	0,095	0,077
Mittelwert											
0,124	0,106	0,116	0,120	0,127	0,117	0,100	0,075	0,075	0,079	0,083	0,078

Tabelle 189: Entwicklung der N_t-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
0,128	0,107	0,122	0,122	0,134	0,107	0,114	0,119	0,125	0,118
	0,101	0,114	0,118	0,129	0,101	0,106	0,113	0,120	0,112
Marktfrucht									
1992/93		SM				M			
0,119 - 0,122	0,116	0,124	0,126	0,140	0,116	0,123	0,123	0,129	0,130
	0,101	0,113	0,118	0,130	0,101	0,112	0,119	0,113	0,113

Tabelle 190: Entwicklung der N_t-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
1992/93		SM				G			
0,088 - 0,102	0,061	0,063	0,066	0,073	0,061	0,066	0,073	0,066	0,063
	0,088	0,086	0,092	0,095	0,088	0,091	0,093	0,091	0,090
Marktfrucht									
1992/93		M				G			
0,088 - 0,097	0,064	0,068	0,069	0,071	0,064	0,056	0,057	0,075	0,064
	0,088	0,089	0,094	0,093	0,088	0,081	0,082	0,097	0,088

Die verabreichten Düngemittel haben unterschiedlich auf die N_t-Gehalte der Böden eingewirkt (Tabelle 191). Am Ort Methau konnte durch den Stalldung im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung die höchste Anreicherung an N_t im Boden ermittelt werden. Es folgten dicht aufeinander die Varianten mit Gülle-, Grüngut- und die KAS-Düngung, deren N_t-Anreicherung etwas geringer ausgefallen ist. Am Ort Spröda haben in der Tendenz auch alle Düngemittel zur N_t-Anhebung beigetragen. Da die Werte dicht beieinander liegen, kann jedoch keine Rangfolge gebildet werden.

Tabelle 191: Entwicklung der N_t-Gehalte [% TM] im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,107	0,126	0,119	0,118	0,061	0,067	0,069	0,063
0,101	0,121	0,113	0,112	0,088	0,091	0,091	0,090
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0,116	0,130	0,125	0,130	0,064	0,069	0,063	0,064
0,101	0,120	0,114	0,113	0,088	0,092	0,086	0,088

Die Analysen der Tiefenprofile haben keine großen Differenzierungen zwischen den untersuchten Einflussfaktoren ergeben, daher kann auf eine ausführliche Darstellung verzichtet werden. Durch den Faktor Düngung wurden geringe Unterschiede im Tiefenverlauf sichtbar (Abbildung 72). Es ist an beiden Orten deutlich zu erkennen, dass am Versuchsende im Oberboden die höchsten Düngungsvarianten auch die höchsten Werte in den N_t-Gehalten aufzuweisen haben. Diese etwas höheren N_t-Gehalte werden am Ort Methau in diesen Varianten bis in eine Tiefe von 200 cm beibehalten, in deutlicherem Umfang zumindest bis in eine Tiefe von 60 cm. Durch eine hohe organische Düngung waren am Vergleichsstandort Spröda ebenfalls bis in eine Tiefe von ca. 60 cm etwas höhere N_t-Gehalte nachzuweisen. Die Unterschiede sind aber zwischen allen Varianten als relativ gering anzusehen. Der Sandboden in Spröda weist im Untergrund ab 90 cm Bodentiefe nur noch Spuren von Stickstoff auf.

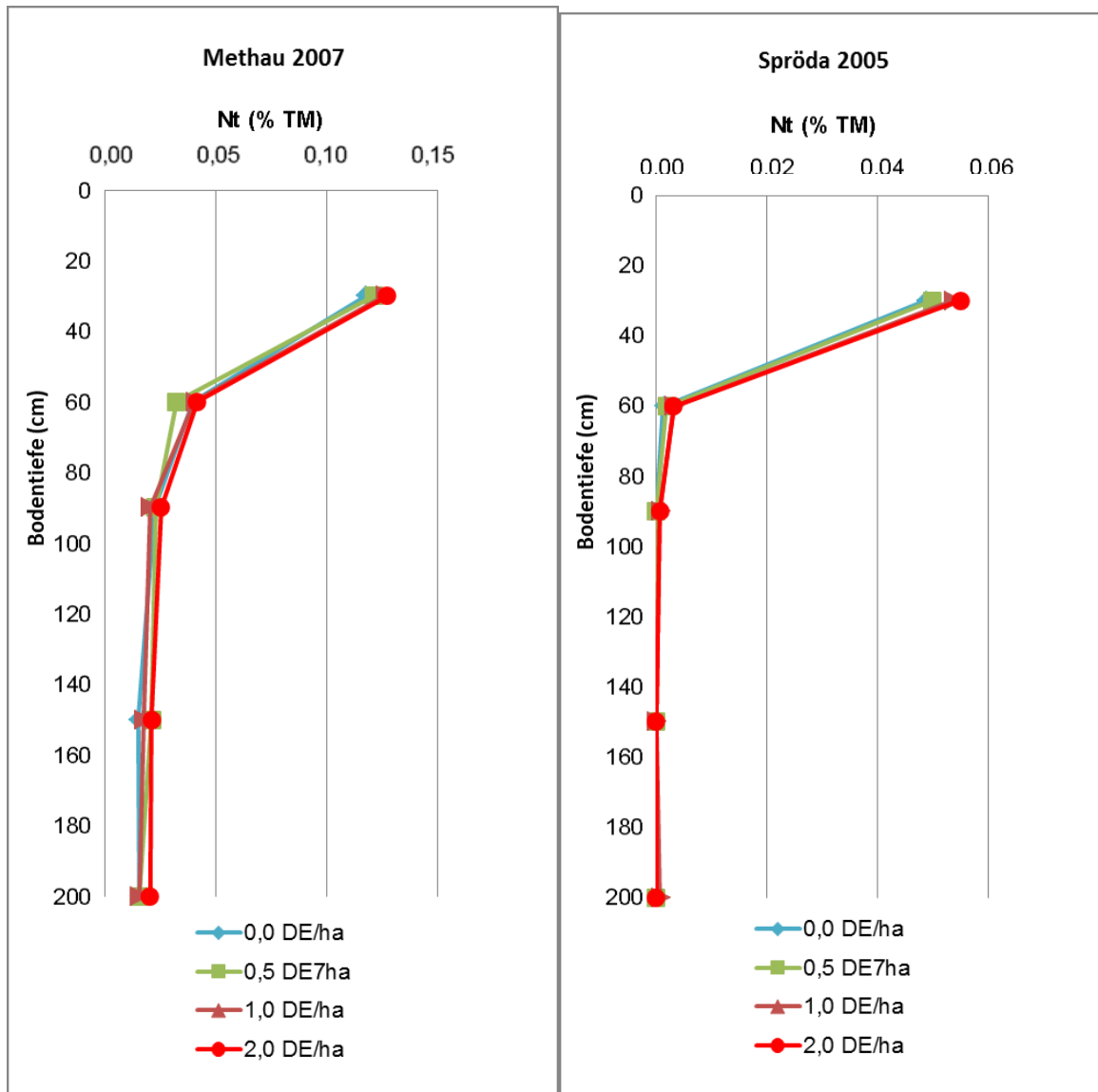


Abbildung 72: Mittlere N_t -Gehalte im Tiefenprofil in Methau und Spröda nach Düngevarianten

4.3.9 C/N-Verhältnis

Auch die berechneten C/N-Verhältnisse ($N = 1$) weisen charakteristische Veränderungen im Versuchsverlauf auf (Tabelle 192, Tabelle 193 u. Tabelle 194). Durch die konventionelle Vorbewirtschaftung wurden auf beiden Standorten sehr enge C/N-Verhältnisse vorgegeben. In Methau waren auf den MF-Varianten bereits am Beginn der Versuche engere C/N-Verhältnisse vorzufinden, die bis zum Ende der Versuche beibehalten worden sind. In Spröda sind kaum Unterschiede zwischen den Anbausystemen vorzufinden. In den Varianten ohne und mit geringer organischer Düngung haben sich die C/N-Verhältnisse im Verlauf des Versuches deutlich erweitert, indem die Humusgehalte in größerem Umfang angestiegen sind als die Zunahme der N_t -Gehalte. In Folge steigender Düngung sind dann aber die C/N-Werte des Bodens wieder enger geworden. Dieser Trend kann besonders im Boden Methaus festgestellt werden, während in Spröda mit steigender Düngung zunächst noch eine Erweiterung, bei hohem Düngungsniveau schließlich aber eine Verengung der C/N-Verhältnisse berechnet werden konnte. Die Veränderungen waren am Ort Methau etwas deutlicher ausgeprägt als in Spröda.

Tabelle 192: Entwicklung der C/N-Verhältnisse [N = 1] im Oberboden unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau (MW 2006 – 2007 oben; MW 2004 – 2007 unten)						Spröda (MW 2004 – 2005 oben; MW 2001 – 2005 unten)					
1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	1992/93	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau											
8,16	10,65	9,66	9,95	9,59		6,25 -8,81	11,19	11,33	11,18	11,49	
	10,73	9,83	10,01	9,62	10,01		9,63	9,82	9,63	9,76	10,50
Marktfrucht											
6,82	9,55	9,43	9,49	9,41		7,77 -8,81	11,23	11,65	11,93	10,69	
	10,51	9,77	9,42	9,69	9,66		9,69	9,90	10,01	9,34	10,56
Mittelwert											
7,49	10,36	9,67	9,72	9,58	9,83	7,01	10,44	10,68	10,69	10,32	10,53

Tabelle 193: Entwicklung der C/N-Verhältnisse im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau										
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	
Futterbau										
1992/93		SM				G				
8,16	10,65	9,52	10,24	9,87	10,65	9,81	9,67	9,31	9,51	
	10,73	9,71	10,31	9,89	10,73	9,95	9,71	9,36	9,47	
Marktfrucht										
1992/93		SM				M				
6,82	9,55	9,52	9,50	9,44	9,55	9,33	9,48	9,37	9,11	
	10,51	9,75	9,60	9,54	10,51	9,78	9,23	9,83	10,20	

Tabelle 194: Entwicklung der C/N-Verhältnisse im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda										
1992/93	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	
Futterbau										
1992/93		SM				G				
6,25 - 8,81	11,19	11,41	11,48	11,30	11,19	11,25	10,88	11,69	11,35	
	9,63	9,98	9,66	9,64	9,63	9,66	9,61	9,89	9,60	
Marktfrucht										
1992/93		M				G				
7,77 - 8,81	11,23	10,99	11,11	10,52	11,23	12,30	12,76	10,86	11,14	
	9,69	9,45	9,46	9,17	9,69	10,35	10,57	9,51	9,40	

Die Veränderung der C/N-Verhältnisse waren auch etwas abhängig von den eingesetzten Düngemittelarten (Tabelle 195). Im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung haben die Stallung-Varianten am Ort Methau die geringste Abnahme der C/N-Verhältnisse erfahren, gefolgt von denen der Gülle- und Grüngutdüngung, während nach N-Mineraldüngung oft die größte Verengung der C/N-Werte festzustellen war. Grüngut- und N-Mineraldüngung wiesen im Prinzip auch am Standort Spröda verhältnismäßig enge C/N-Verhältnisse auf, die Wertedifferenzierung war hier aber sehr gering, so dass die Bildung einer Rangfolge bei diesen Varianten nicht möglich war.

Tabelle 195: Entwicklung der C/N-Verhältnisse im Oberboden unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
10,65	9,88	9,60	9,51	11,19	11,40	11,27	11,35
10,73	9,97	9,67	9,47	9,63	9,76	9,72	9,60
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
9,55	9,49	9,40	9,11	11,23	10,87	11,97	11,14
10,51	9,63	9,61	10,20	9,69	9,36	10,14	9,40

4.3.10 Zusammenfassende Mittelwerte für Anbausystem und Düngung

Zum Abschluss des Kapitels werden die erlangten Ergebnisse der Bodenuntersuchung in komprimierter Form nochmals dargelegt, um einen Überblick über die Wirkung der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht (eingeschränkt gültig, da oft durch Unterschiede vor Versuchsbeginn bedingt), der organischen Düngung (Varianten ohne Düngung im Vergleich zu 2 DE/ha) und der N-Mineraldüngung (ohne im Vergleich zu KAS) zu gewährleisten. An den beiden Anbauorten haben sich die Nährstoffgehalte zwischen den Einflussfaktoren folgendermaßen entwickelt:

Standort Methau	pH	N _{min} Frühj.	N _{min} Herbst	S _{min} Frühj.	S _{min} Herbst	P CAL	K CAL	Mg	C _{org}	N _t	C/N
Anbausystem Marktfrucht											
(FB-System = 100 %)	101	99	104	90	93	110	165	112	98	103	97
■ Organ. Düngung											
(ohne = 100 %):	100	136	147	103	91	118	131	109	111	120	93
■ Min. N-Düngung											
(ohne = 100 %):	98	143	177	85	81	83	87	84	102	112	92
Standort Spröda											
	pH	N _{min} Frühj.	N _{min} Herbst	S _{min} Frühj.	S _{min} Herbst	P CAL	K CAL	Mg	C _{org}	N _t	C/N
Anbausystem Marktfrucht											
(FB-System = 100 %):	102	102	97	75	69	125	94	91	99	98	101
■ Organ. Düngung											
(ohne = 100 %):	103	112	117	96	108	125	147	140	109	111	99
■ Min. N-Düngung											
(ohne = 100 %):	101	130	226	85	80	102	88	135	105	102	99.

Bei den Anbausystemen ist die bessere Versorgung der Böden durch Verbleib der Nebenprodukte und der Kleeerasaufwüchse über das Marktfrucht-System zu erwähnen. Hierdurch werden höhere Gehalte mit N, P, K und teilweise auch mit Mg sowie höhere pH-Werte im Boden erzielt. Eine hohe organische Düngung bewirkt gegenüber keiner Düngung einen Anstieg der Gehalte bei vielen untersuchten Bodenmerkmalen. Hierzu zählen u.a der pH-Wert, die N_{min} -Gehalte, eingeschränkt auch die S_{min} -Werte, Gehalte an allen Grundnährstoffen, C_{org} , N_t und eine Verengung der C/N-Verhältnisse im Boden. Die dauerhafte Anwendung leicht löslicher N-Dünger in Form des Kalkammonsalpeters hat demgegenüber die stärkste Erhöhung der N_{min} -Werte zum Frühjahr und besonders nach der Ernte bewirkt. Folgende Bodenmerkmale wurden z.T standortabhängig in ihren Gehalten reduziert: S_{min} , P, K und Mg. Dagegen wurden die Gehalte an C_{org} und besonders an N_t angehoben und das C/N-Verhältnis gegenüber keiner Düngung verengt.

Zum Versuchsende wurde an beiden Standorten ein erweitertes Programm der Bodenuntersuchung über die Gesamtgehalte an den Hauptnährstoffen, pflanzenverfügbaren Spurennährstoffen und heißwasserlöslichem Kohlenstoff und Stickstoff analysiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle A 2 sowie in der Tabelle A 3 im Anhang einsehbar. An den beiden Anbauorten haben sich diese Merkmale zwischen den Einflussfaktoren folgendermaßen entwickelt (. = kein Unterschied, + = positive, - = negative Wirkung gegenüber Vergleichsvariante = 100):

Methau	C_{hwl}	P_t	K_t	Mg_t	S_t	B_{hwl}	Cl	Cu	Mn	Na	Zn
■ Anbausystem Marktfrucht (FB = 100 %)	-	.	+	+	.	.	+	-	-	+	-
■ Organ. Düngung (ohne = 100 %):	+	+	.	-	.	+	+	+	+	+	+
■ Min. N-Düngung. (ohne = 100 %):	.	.	-	-	.	+	+	-	-	+	-
Spröda	C_{hwl}	N_{hwl}	P_t	K_t	Mg_t	S_t	B_{hwl}	Cu	Mn	Zn	
■ Anbausystem Marktfrucht (FB = 100 %):	-	-	+	.	.	-	-	-	-	-	
■ Organ. Düngung (ohne = 100 %):	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	
■ Min. N-Düngung (ohne = 100 %):	.	.	.	+	.	+	+	-	+	.	

Es ist zu erkennen, dass die Gehalte an Gesamtnährstoffen und pflanzenverfügbaren Spurenelementen z.T. durch die andauernde hohe organische Düngung, insbesondere auf dem Sandstandort, angehoben werden konnten. Die N-Mineraldüngung hatte dagegen kaum eine Wirkung auf diese Elemente zur Folge, nur die Gehalte an B und Cl wurden in der Tendenz angehoben. Die Düngemittel hatten auch Auswirkungen auf die heißwasserlöslichen Kohlestoff- und Stickstoffmengen. Im Durchschnitt der Anbausysteme wird deutlich, dass mit langjährig angewendeter organischer Düngung die Werte an löslichem Kohlenstoff und an Stickstoff des Bodens erhöht werden können, KAS-Düngung zeigt diese Fähigkeit gegenüber keiner Düngung nicht. Die Ergebnisse zeigen eindrucksvoll, dass die organische Düngung ein sehr breites Wirkungsspektrum aufweist, wodurch über die Veränderung der Humusreserven sowohl die Umsetzungsaktivität als auch die Versorgung mit Stickstoff, anderen Makronährstoffen und vielen Mikronährstoffen des Bodens gleichzeitig verbessert werden können.

4.4 Nährstoffbilanzen und -effizienzen

Methoden der Nährstoffbilanzierung werden eingesetzt, um das Nährstoffmanagement genauer und tiefergehend untersuchen zu können. Hierzu werden die Komponenten der Zufuhren und Abfuhren an Nährstoffen einer Flächeneinheit oder von ganzen Betrieben genau erfasst und über die Saldierung dieser beiden Größen können sowohl Hinweise zur Effizienz der eingesetzten Recourcen und der untersuchten Anbauverfahren als auch Kenntnisse über wichtige Umweltwirkungen gewonnen werden. Ein weiterer Aspekt auf diesem Gebiet ist die Herausarbeitung des Zusammenhangs zwischen dem Ergebnis der Bilanzierung auf der Fläche und den Veränderungen dieser Stoffe im Boden auf Grund der Ergebnisse der wiederholten Bodenuntersuchung. Nährstoffbilanzen und Bodenuntersuchung sind daher wichtige Bestandteile des Nährstoffmanagements.

Für die Nährstoffbilanzierung stehen mehrere Methoden zum Einsatz, die sich in ihren Zielstellungen und auch in ihrer Genauigkeit stark unterscheiden können. Zur Kennzeichnung von ökologischen Anbauverfahren hat sich bewährt, eine möglichst vollständige Bilanzierung als sogen. Brutto-Schlagbilanzierung anzuwenden (HÜLSBERGEN, 2003; KOLBE & KÖHLER, 2008; siehe Kap. 3.11). Auf Basis dieser Methoden werden zunächst in diesem Kapitel Bilanzierungen vorgenommen. Einerseits besteht die Absicht, die Situation in den durchgeführten Versuchen möglichst genau von Anfang bis Ende zu erfassen. Dies ist erforderlich, um in späteren Arbeiten den Einfluss der Nährstoffbilanzen auf die Veränderungen im Boden incl. weiterer Umweltwirkungen aufzeigen zu können.

Auf der anderen Seite geht es darum, die untersuchten Anbauverfahren, Düngungsregime und Intensitätsstufen auf Schlagebene möglichst genau zu beschreiben, um letztlich wichtige Hinweise für die landwirtschaftliche Praxis zu gewinnen. Hierfür ist es aber erforderlich, die Untersuchungen möglichst genau für eine Fruchtfolgerotation vorzunehmen, um Fruchtfolgeabschnitte mit z.T. extremen positiven (z.B. Anbau von Leguminosen, Humusmehrern) und negativen Bereichen (Nichtleguminosen, Humuszehrnern) zur Nutzung der Bodenfruchtbarkeit auszugleichen, damit verlässliche Aussagen überhaupt erst ermöglicht werden können.

Zur Beschreibung des Zufuhrbereichs der Bilanzierung werden in den hier vorgestellten Versuchen zunächst mehrere Komponenten aufgeführt. So ist z.B. im Kapitel 3.6 der Düngungsplan mit den genau zugeführten Düngemitteln und der verabreichten Gesamtnährstoff-Höhe aufgeführt (vgl. Tabelle 8 u. Tabelle 9). Es ist zu beachten, dass mit zunehmender Düngung von Stufe zu Stufe jeweils eine Verdopplung des Düngungsniveaus eingeplant war. Da im Versuchsplan die ausgewiesenen Abstufungen im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit ausgelegt waren, mussten in den Düngungsjahren höhere Mengen eingeplant werden, um die Versuchsjahre ohne Düngung (z.B. Klee-grasanbau) entsprechend auszugleichen. Diese Ziele waren daher bei der praktischen Versuchsdurchführung nicht einfach zu realisieren und konnten dadurch insgesamt nicht vollständig erreicht werden.

Die mit der Düngung zugeführte organische Substanz ist von entscheidender Bedeutung für die später zu behandelnde Wirkung auf die Humusgehalte und den Nährstoff-Umsatz im Boden. Wie aus der Abbildung 73 und der Tabelle 196 hervorgeht, stammt die aktiv zugeführte Trockenmasse (TM) nicht nur aus der Düngung, sondern auch aus Unterschieden in der Behandlung der Anbausysteme, wobei in den Marktfruchtvarianten durch Belassen des Strohs und der Klee-grasaufwüchse auf den Flächen z.T. deutlich höhere Mengen an Trockenmasse verabreicht worden sind. Da im Futterbau diese Komponenten jeweils abgeerntet worden sind, tragen diese Anbausysteme zu einer erheblichen Differenzierung in der Nährstoffdynamik und -höhe bei. Bei den Düngungsvarianten sind die deutlich reduzierte TM-Zufuhr über Gülle und die sehr geringe Zufuhr in der MIN-Variante durch die verabreichten KAS-Mengen zu bedenken.

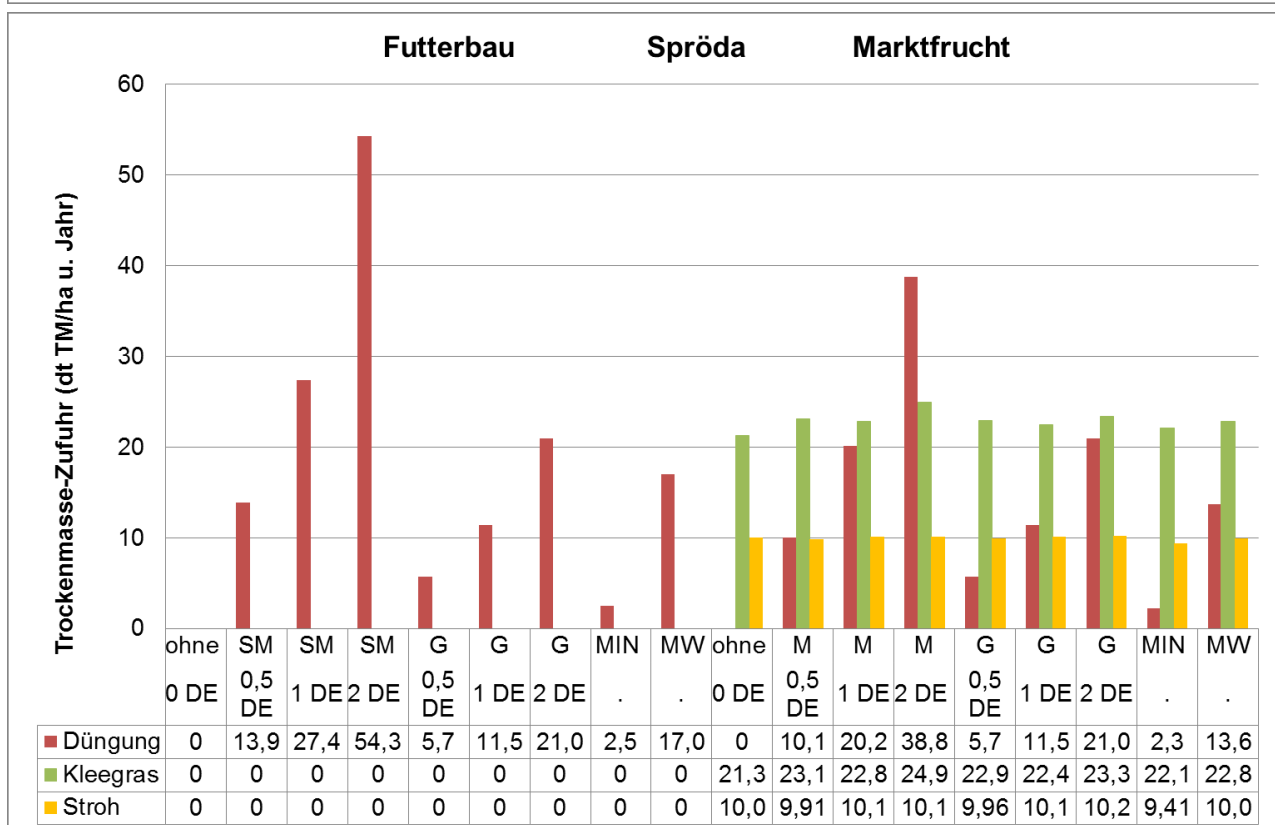
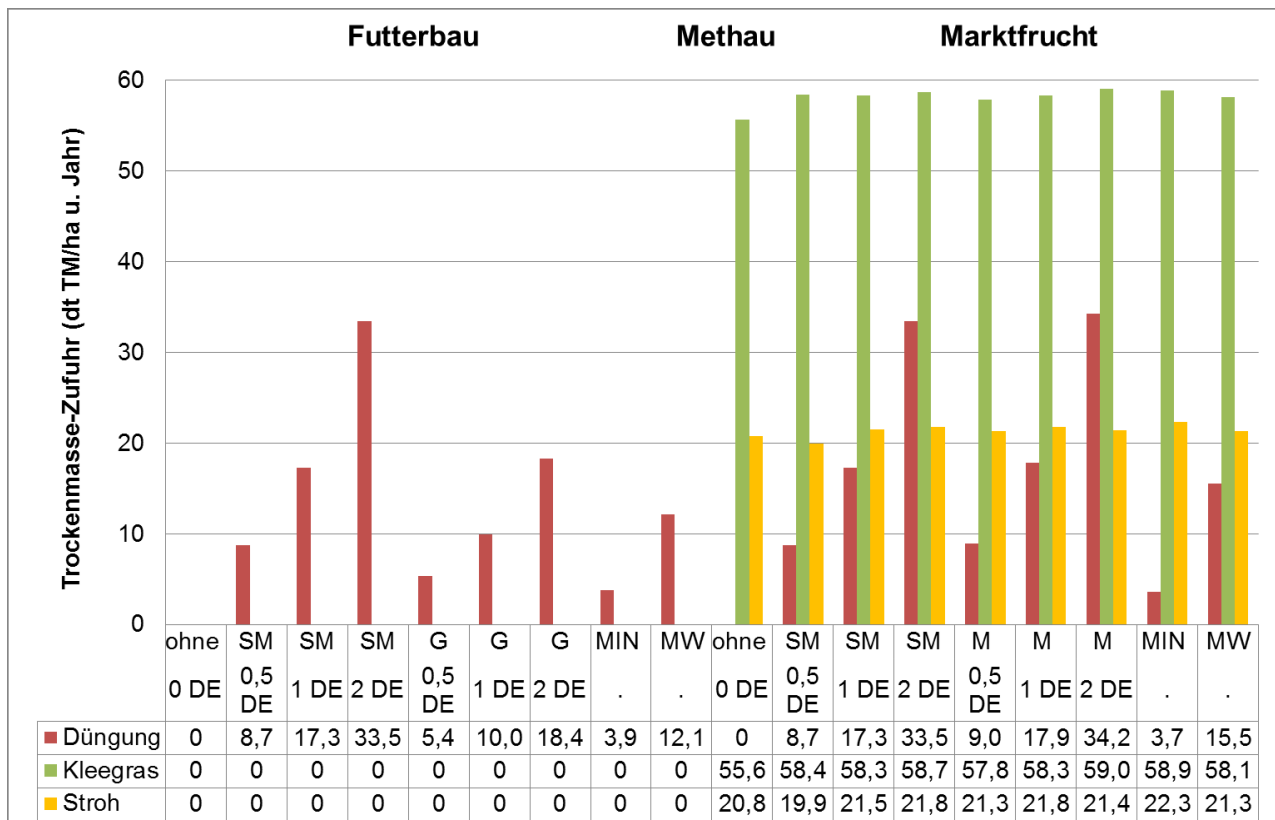


Abbildung 73: Unterschiede in der aktiven Zufuhr von Trockenmasse durch Düngung und Anbausystem in den Düngungsvarianten am Standort Methau (oben) und Spröda (unten)

Tabelle 196: Aktive Zufuhr von Trockenmasse [dt TM/ha u. Jahr] durch Düngung (oben), Klee-gras-aufwüchse (Mitte) und Stroh (unten) im Durchschnitt der Anbausysteme und Düngemittelarten am Standort Methau und Spröda

Methau (Versuchsdauer 15 Jahre)				Spröda (Versuchsdauer 13 Jahre)			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0	19,8	11,3	3,9	0	31,9	12,7	2,5
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
0	19,8	20,4	3,7	0	23,0	12,7	2,3
55,7	58,5	58,4	58,9	21,3	23,7	22,9	22,1
20,8	21,2	51,5	22,3	10,0	10,1	10,1	9,4

Als weitere wichtige Zufuhrkomponente ist die N₂-Bindung durch die periodisch angebauten Leguminosenbestände anzusehen, die mit Hilfe von angepassten Berechnungsverfahren ermittelt worden sind (vgl. Tabelle 81, Tabelle 82, Tabelle 83 u. Tabelle 84). Die auf die gesamte Versuchszeit bezogenen N₂-Mengen haben am Standort Methau im Futterbau zwischen 62 – 141 kg (MW = 121 kg N/ha u. Jahr), im Marktfrucht-System zwischen 47 – 111 kg (MW = 94 kg N/ha u. Jahr) sowie am Ort Spröda im Futterbau zwischen 46 – 70 kg (MW = 64 kg N/ha u. Jahr) und im System Marktfrucht zwischen 44 – 62 kg N/ha (MW = 58 kg N/ha u. Jahr) betragen. Neben den Standortunterschieden sind vor allem die verringerten N₂-Bindungswerte durch die mineralische N-Düngung zu beachten.

Zur Bewertung ökologische Anbauverfahren ist es wichtig, dass bei den Zufuhrkomponenten mindestens die N-Deposition, besser auch die Zufuhr durch nicht-legume N₂-Bindung und die Zufuhr über Saat- und Pflanzgut berücksichtigt werden. Die nasse und trockene N-Deposition wurde im Zeitraum der Versuche durch Messungen berücksichtigt. Die Werte wurden durch Addition eines bestimmten Anteils, der aus der atmosphärischen Deposition stammt, korrigiert und beträgt in der jährlichen Summe am Ort Methau 45 kg N/ha und in Spröda 30 kg N/ha. Die nicht-legume N₂-Bindung wurde pauschal mit 10 kg N/ha (KAS-Varianten 5 kg N/ha) an beiden Orten angesetzt. Die N-Zufuhr über Saat- und Pflanzgut wurde nicht ermittelt. Bei den anderen Nährstoffen wurden keine Werte an Deposition (Ausnahme S-Bilanzierung: um 12 kg S/ha) berücksichtigt.

Bei den Komponenten der Abfuhr wurden die in den Versuchsvarianten geernteten Haupt- und Nebenprodukte sowie die in den geringen Zwischenfrucht-Aufwüchsen enthaltenen experimentell ermittelten Nährstoffe entsprechend der Ausrichtung der Anbausysteme angerechnet. Durch den relativ hohen Klee-grasanteil und den Strohernten ergaben sich in den abgeernteten Erträgen der Fruchtarten große Unterschiede zwischen den Anbausystemen (siehe Kap. 4.1).

Der Nährstoffsaldo wird schließlich gebildet, indem die Summe der Nährstoff-Zufuhren von den -Abfuhr abgezogen werden. Die Zusammensetzung der Bilanzkomponenten und die erhaltenen Salden werden in diesem Kapitel einerseits jeweils im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit und andererseits im Durchschnitt für eine bestimmte Fruchtfolgezusammensetzung für jeden untersuchten Nährstoff ermittelt und getrennt aufgeführt.

4.4.1 Stickstoff

Der Stickstoffeintrag aus Wirtschaftsdüngern (Gesamtstickstoff-Düngermenge) ist nach EU-Öko-VO auf 170 kg N/ha und Jahr limitiert. Diese Menge entspricht in etwa 2 DE/ha. Einige Anbauverbände mit großer Verbreitung, wie Bioland und Demeter, haben geringere Werte, z.B. 112 kg N/ha als Obergrenze festgelegt. Es war Absicht, dass in den hier vorgestellten Versuchen möglichst der gesamte Intensitätsbereich abgedeckt und darüber hinaus auch Varianten enthalten sind, in denen übliche Höchstmengen möglichst auch überschritten worden sind.

Die im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit verabreichten N-Mengen haben am Ort Methau in der Variante 2 DE/ha 88 – 101 kg N/ha und in Spröda 97 – 120 kg N/ha betragen (siehe Tabelle 8 u. Tabelle 9). Das o.a. Niveau der Verbände wurde daher bei diesem Versuchsansatz meistens knapp erreicht. Auf der Bezugsbasis einer repräsentativen Fruchtfolge mit Schwerpunkt auf die zweite Versuchsphase ist dieses Niveau allerdings in den meisten 2 DE-Varianten erreicht und z.T. auch deutlich überschritten worden (siehe Tabelle 197, Tabelle 198 u. Tabelle 199).

Wie aus der Abbildung 74 sowie der Abbildung 75 zur N-Bilanzierung der Gesamtversuche entnommen werden kann, ist die Düngungszufuhr an beiden Orten nur ein Anteil, der in Methau in den höchsten Düngungsstufen insbesondere im FB-System sogar unter 50 % und in Spröda auf Grund der geringeren pflanzenbaulichen Leistungsfähigkeit der N₂-Bindung etwas über 50 % der gesamten N-Zufuhr beträgt. Im Einzelnen wurde im Mittel aller Versuchsjahre in Methau eine jährliche N-Zufuhr in der ungedüngten Variante von insgesamt bereits 182 kg N/ha im FB-System und von 153 kg N/ha und Jahr im MF-System erzielt (Abbildung 74).

Durch die Düngung wurden dann in der höchsten Stufe von 2 DE/ha im FB-System Werte um 286 kg und in der MF-Variante von 244 kg N/ha erreicht. Die Zufuhr lag generell im Futterbau um etwas über 30 kg höher als im Vergleichssystem. Auf Grund der unterschiedlichen Bewirtschaftung zwischen FB- und Marktfrucht-Systemen wurden mit einer Differenz von fast 160 kg N/ha deutlich unterschiedlich hohe N-Abfuhr berechnet. In Folge steigender organischer Düngung wurde zunächst eine deutliche Erhöhung der N-Abfuhr erzielt. Nach weiter steigender Düngung haben die Zunahmen der Abfuhr dann aber immer deutlicher abgenommen. Im FB-System wurden die höchsten N-Abfuhr in der 2 DE-Variante und in der KAS-Variante gefunden, während im MF-System das höchste Ertragsniveau und damit auch die höchsten N-Abfuhr in der KAS-Variante ermittelt worden sind.

Durch Verrechnung von Zufuhr und Abfuhr wurden N-Salden am Ort Methau erzielt, die in den FB-Varianten über deutlich niedrigere Werte aufwiesen als in den MF-Vergleichsvarianten. Im Durchschnitt hat der Unterschied etwas weniger als 130 kg N/ha betragen. Mit steigender organischer Düngung sind die Werte im FB-System von ausgangs negativen Beträgen bis auf 64 kg N/ha in der höchsten Düngungsvariante angestiegen. In den MF-Varianten wurden demgegenüber bereits ohne Düngung Saldowerte von über 100 kg N/ha und in der höchsten Düngungsvariante sogar Werte um 190 kg N/ha berechnet. Die Ergebnisse zeigen eindrucksvoll auf, was passieren kann, wenn im Marktfrucht-System bei einem sehr hohen Leguminosenanteil von 50 % in der Anbauabfolge des gesamten Versuches mit z.T. vielfachem Anbau hintereinander (siehe Tabelle 5) die Aufwüchse und Koppelprodukte jeweils zusätzlich auf den Flächen verbleiben.

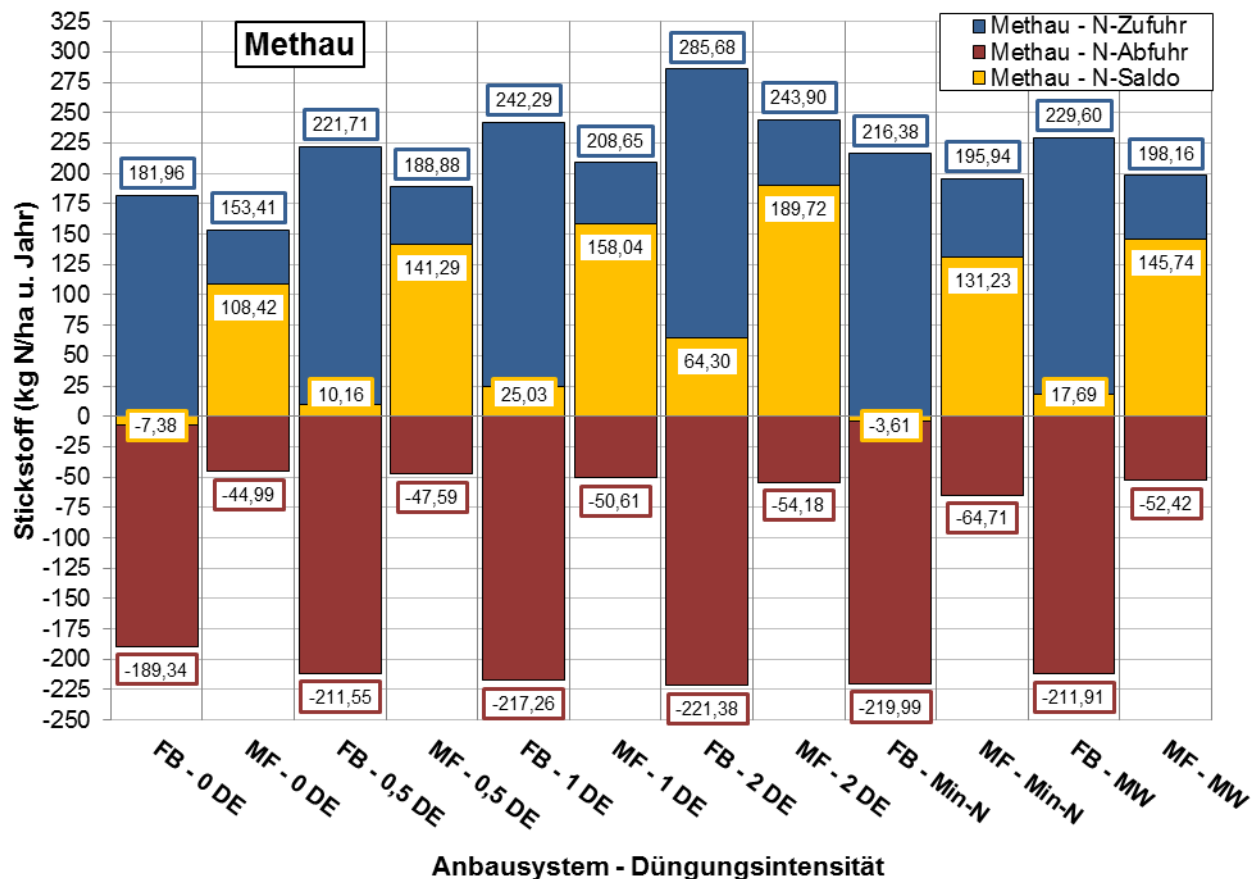


Abbildung 74: Gesamt-Zufuhr, -Abfuhr und -Saldo für Stickstoff zwischen den Jahren 1993 – 2007 in Bezug auf die Anbausysteme und die Düngungsvarianten am Standort Methau

Auf Basis eines Kleeerasanteils von 42 % in der Anbauabfolge des Versuches (siehe Tabelle 5) unterscheiden sich auch am Standort Spröda die über die Jahre gemittelten Stickstoffbilanzen der FB- und MF-Varianten stark voneinander (Abbildung 75). Das liegt nicht zuletzt daran, dass auf den FB-Flächen alle Ernte- und Koppelprodukte abgeerntet wurden, in den MF-Varianten aber nur die Ernteprodukte abgefahren, die Koppelprodukte jedoch inklusive Gründüngungsaufwüchse auf der Fläche belassen wurden.

Im Vergleich zu den MF-Varianten ist die N-Zufuhr der FB-Variante um ca. 6 – 7 % höher, die N-Abfuhr hat sich um den Faktor 4 erhöht. Der N-Saldo ist dadurch in den FB-Varianten um ca. 70 – 80 kg N/ha niedriger als in den MF-Varianten. Die durchschnittlichen Salden weisen in beiden Anbausystemen am Standort Spröda, bis auf die ungedüngte FB-Variante, positive Werte auf, so dass keine Stickstoffunterversorgung in der Fruchtfolge auftrat. Ein positiver Saldo entspricht einem N-Überhang, der nicht mit der wirklichen Höhe der Nitratauswaschung, sondern mit einer potenziellen Stickstoffbelastung gleichzusetzen ist (BACH et. al., 1991).

Der hohe Stickstoffüberhang von über 100 kg N/ha in der vieharmen MF-Variante (0,5 DE) ist zunächst als eine Ursache der sich akkumulierenden N-Menge infolge stetiger Zufuhr der Strohneprodukte bzw. Mulchung der Kleeerasaufwüchse anzusehen. Im FB-System ist der Saldo bei 0,5 DE/ha mit 24 kg N/ha weit geringer. Die steigende Düngung zeigt darüber hinaus große Unterschiede in den berechneten N-Bilanzen auf. Die Stickstoffzufuhr auf den ungedüngten Varianten setzt sich zunächst neben der Düngung auch aus der legumigen N₂-Bindung und der N-Deposition der Anbauabfolge zusammen. Die Variante ohne Düngung wies im FB-System im Durchschnitt der Jahre einen negativen Saldo auf. Zur Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen N-Bilanz würde nach diesen Ergebnissen die N-Zufuhr in Höhe von 0,5 DE/ha im Futterbau ausreichen, im Marktfruchtbau wäre nach den bisherigen Erkenntnissen von einer zusätzlichen Düngung außer der legumigen Stickstoffbindung abzuraten.

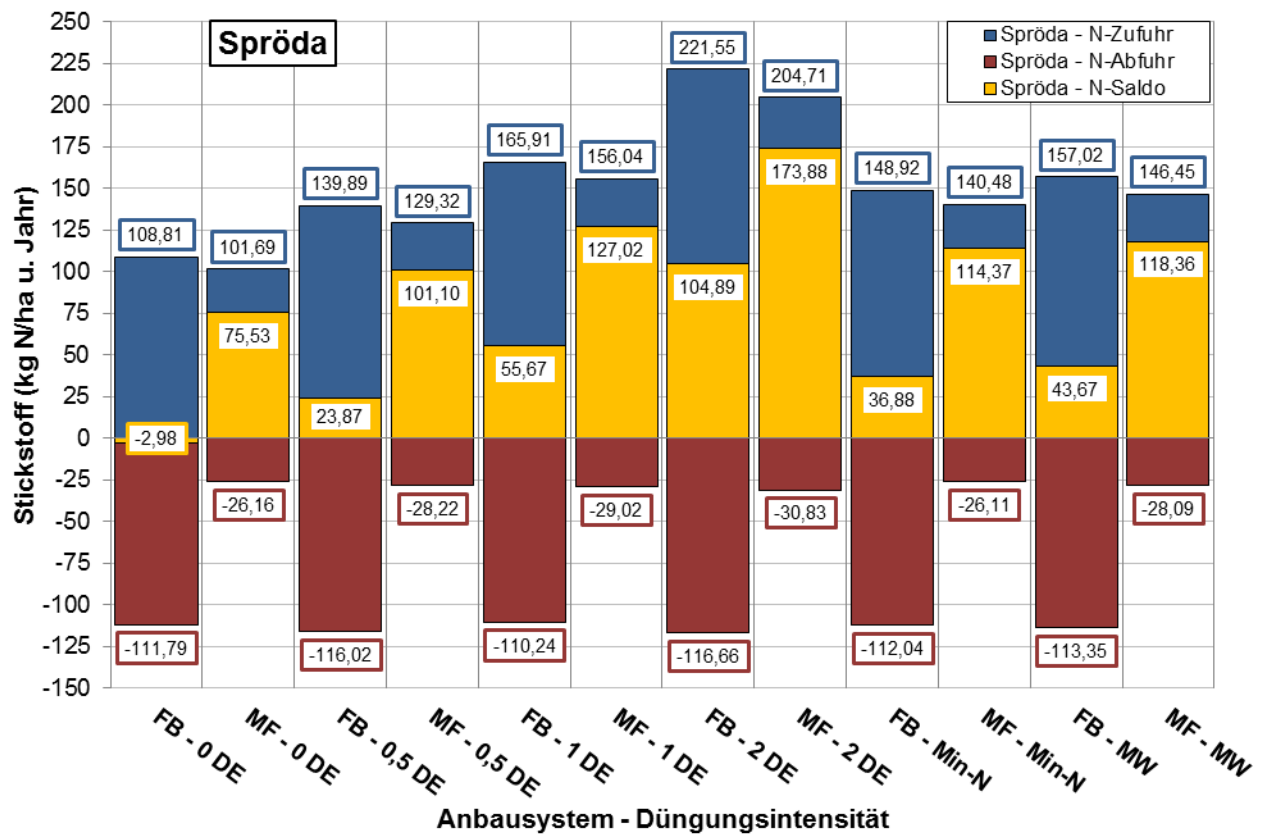


Abbildung 75: Gesamt-Zufuhr, -Abfuhr und -Saldo für Stickstoff zwischen den Jahren 1993 – 2005 in Bezug auf die Anbausysteme und die Düngungsvarianten am Ort Spröda

Die nachfolgende Tabelle 197, die Tabelle 198, die Tabelle 199 sowie die Tabelle 200 zeigen die Ergebnisse der N-Bilanzierung mit Schwerpunkt auf die zweite Versuchshälfte auf, die genau für eine Fruchtfolge mit jeweils 33,3 %-Anteilen an Klee gras, Getreidearten (Weizen, Triticale) und Hackfrüchten (Mais, Kartoffeln) berechnet worden sind. Durch die Kalkulation mit Bezug auf eine definierte Fruchtfolge können die untersuchten Anbausysteme genauer dargestellt werden und die erhaltenen Ergebnisse sind besser vergleichbar mit der Situation in der landwirtschaftlichen Praxis.

Der Lößboden am Standort Methau charakterisiert die besseren Böden, auf denen im Vergleich zu den Sandböden in Spröda bei vergleichbarem Düngungsniveau höhere Werte sowohl in der legumen N₂-Bindung als auch in den N-Abfuhr auf Grund der deutlich höheren Fruchtartenerträgen erlangt werden. Die erhaltenen Ergebnisse insbesondere zwischen 0 – 1 DE/ha im Futterbau und bei 0 DE/ha im System Marktfrucht zeigt eine Spannweite zwischen günstigen und ungünstigen Anbaugebieten auf, wie sie in der Praxis weit verbreitet sind. Die erhaltenen Brutto-N-Salden (Nährstoffeffizienzen) liegen hierbei im Futterbau zwischen -24 – 48 kg N/ha (118 – 69 %) und im Marktfruchtbau zwischen 14 – 80 kg N/ha (86 – 47 %) (Tabelle 197, Tabelle 198, Tabelle 199 u. Tabelle 200). Auch die N₂-Effizienzen der Leguminosen weisen in diesem Bereich relativ hohe Werte auf (N-Abfuhr = 100 %).

Das Düngungsniveau der Varianten von 2 DE/ha weist bei diesem Ansatz Werte auf, die in der Zufuhrhöhe jetzt z.T. weit über den von den Anbauverbänden akzeptierten Werten hinausgehen. Das trifft besonders auf die MF-Varianten zu, dessen Düngerhöhe nur über Zukauf realisiert werden kann. Eine derart hohe Düngung hat aber darüber hinaus kaum noch zu einem Ertragsanstieg geführt, da in der Regel kaum höhere N-Entzüge im Vergleich zur Variante mit 1 DE/ha mehr erreicht worden sind. Ein noch höheres Zufuhrniveau würde also zu keiner weiteren Verbesserung der Ertragssituation beitragen. Auf Grund der insgesamt zugeführten N-Mengen und dem stagnierenden Erträgen werden dann Brutto-N-Salden erreicht, die im FB-System zwischen

80 – 100 kg N/ha und im MF-System nach diesem Bilanzierungsansatz von über 160 kg N/ha und Jahr betragen können. Diese Salden und die daraus abgeleiteten Nährstoffeffizienzen zwischen 20 – 70 % weisen dann auf Werte hin, wie sie durchaus bereits im konventionellen Landbau üblich sind. Die N₂-Bindungsanteile der N-Abfuhr bleiben auf relativ hohem Niveau oder sinken besonders auf dem leichten Boden etwas ab.

Werden die Netto-Salden herangezogen, wie dies auch im Prinzip bei der Berechnung von Nährstoffvergleichen zur Erfüllung der Düngeverordnung vorgesehen ist, so ergeben sich deutlich niedrigere Werte, weil die Zufuhrgrößen der N-Deposition und andere weitere Quellen nicht berücksichtigt werden (Tabelle 197, Tabelle 198, Tabelle 199 u. Tabelle 200). Dadurch werden im Praxisbereich des Ökolandbaus in weiten Anbaubereichen dann oft negative N-Salden erzielt, wie dies ebenfalls in den hier präsentierten Ergebnissen des Futterbaus mit Werten zwischen -79 – +8 kg/ha zwischen 0 – 1 DE/ha der Fall ist. Die daraus abgeleiteten Beratungsempfehlungen treffen jedoch meistens nicht die Wirklichkeit, wie die Ergebnisse zur Brutto-Bilanzierung aufzeigen. Eine N-Schlagbilanzierung auf Netto-Ebene ist im Ökolandbau ungeeignet und sollte daher nicht mehr durchgeführt werden.

Tabelle 197: Ergebnisse der N-Schlagbilanzierung [kg N/ha u. Jahr] einer Fruchtfolge zur zweiten Versuchsphase unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau Fruchtfolge						Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Düngung	0,0	36,9	70,6	133,7	60,3	0,0	31,9	63,2	122,0	54,3
N ₂ -Bindung	78,3	87,8	85,5	86,4	84,5	55,4	56,0	52,2	53,9	54,4
Sonstige Zufuhr	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Abfuhr	156,9	179,5	186,2	191,4	178,5	108,1	114,4	107,5	114,7	111,2
Saldo brutto	-23,6	0,3	24,9	83,7	21,3	-12,7	13,5	48,0	101,3	37,5
Saldo netto	-78,6	-54,7	-30,2	28,7	-33,7	-52,7	-26,5	8,0	61,3	-2,5
Effizienz [%]	117,7	99,9	88,2	69,6	93,9	113,3	89,4	69,1	53,1	81,2
Effizienz N ₂ -Bindg. [%]	49,9	48,9	45,9	45,1	47,3	51,3	49,0	49,0	47,0	48,9
Marktfrucht										
Düngung	0,0	32,7	65,0	125,6	55,8	0,0	29,5	59,0	110,9	49,9
N ₂ -Bindung	58,5	66,8	66,0	63,0	63,6	55,4	56,0	52,2	53,9	54,5
Sonstige Zufuhr	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40
Abfuhr	62,5	67,6	71,6	76,5	69,6	33,4	37,7	38,1	40,5	37,4
Saldo brutto	51,0	86,9	114,3	167,0	104,8	57,5	82,8	111,3	162,1	103,4
Saldo netto	-4,0	31,9	59,3	112,0	49,8	17,5	42,8	71,3	122,1	63,4
Effizienz [%]	55,1	43,8	38,5	31,4	42,2	36,7	31,3	25,5	20,0	28,4
Effizienz N ₂ -Bindg. [%]	93,6	98,8	92,2	82,4	91,4	116	149	137	133	146

Tabelle 198: Ergebnisse der N-Schlagbilanzierung [kg N/ha u. Jahr] einer Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	33,4	66,3	128,7	0,0	40,4	74,8	138,7	122,8
N ₂ -Bindung	78,3	86,6	85,8	83,0	78,3	89,0	85,3	89,8	40,6
Sonstige Zufuhr	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	50,0
Abfuhr	156,9	176,5	183,2	188,9	156,9	182,4	189,3	193,9	198,1
Saldo brutto	-23,6	-1,5	23,9	77,8	-23,6	2,0	25,8	89,6	15,3
Saldo netto	-78,6	-56,5	-31,1	22,8	-78,6	-53,0	-29,2	34,6	-34,7
Effizienz [%]	117,7	100,8	88,5	70,8	117,7	98,9	88,0	68,4	92,8
Effizienz N ₂ -Bindg. [%]	49,9	49,1	46,8	43,9	49,9	48,8	45,1	46,3	20,5
Marktfrucht									
		SM				M			
Düngung	0,0	33,4	66,3	128,7	0,0	31,9	63,6	122,4	116,5
N ₂ -Bindung	58,5	66,5	63,7	58,4	58,5	67,1	68,3	67,5	30,9
Sonstige Zufuhr	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	50,0
Abfuhr	62,5	64,9	69,4	73,5	62,5	70,3	73,8	79,6	92,7
Saldo brutto	51,0	90,0	115,6	168,7	51,0	83,7	113,1	165,3	104,7
Saldo netto	-4,0	35,0	60,6	113,7	-4,0	28,7	58,1	110,3	54,7
Effizienz [%]	55,1	41,9	37,5	30,4	55,1	45,7	39,5	32,5	47,0
Effizienz N ₂ -Bindg. [%]	93,6	103	91,8	79,5	93,6	95,5	92,6	84,8	33,3

In Tabelle 200 sind die mittleren Ergebnisse der geprüften Düngemittelarten zur N-Schlagbilanzierung zusammengefasst worden. Wie die Ergebnisse zeigen, sind zwischen den organischen Düngemitteln ähnlich hohe N-Zufuhren in allen Varianten erreicht worden, so dass ein guter Vergleich der Wirkungen möglich ist. Nach ungefähr 10 Jahren der Versuchsdurchführung werden auf den Stalldung-Varianten nur noch geringfügig niedrigere Erträge und N-Abfuhr als auf den anderen Varianten erzielt. Es folgen die Grüngut- und Gülle-Varianten mit noch etwas höheren Werten und die N-Mineraldüngung, die in der Tendenz in den meisten Fällen die höchsten N-Abfuhr erreicht hat.

Tabelle 199: Ergebnisse der Fruchtfolge-Schlagbilanzierung für Stickstoff [kg N/ha u. Jahr] unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	31,7	62,1	126,9	0,0	32,1	64,3	117,1	74,0
N₂-Bindung	55,4	56,4	52,2	54,4	55,4	55,6	52,3	53,5	36,7
Sonstige Zufuhr	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	35,0
Abfuhr	108,1	112,4	105,8	114,9	108,1	116,4	109,2	114,5	113,5
Saldo brutto	-12,7	15,7	48,5	106,3	-12,7	11,3	47,4	96,2	32,2
Saldo netto	-52,7	-24,3	8,5	66,3	-52,7	-28,7	7,4	56,2	-2,8
Effizienz [%]	113,3	87,7	68,5	51,9	113,3	91,2	69,7	54,3	77,9
Effizienz N₂-Bindg. [%]	51,3	50,2	49,3	47,4	51,3	47,8	47,9	46,7	32,3
Marktfrucht									
		M				G			
Düngung	0,0	26,8	53,7	104,6	0,0	32,1	64,3	117,1	68,8
N₂-Bindung	50,9	51,8	52,4	54,1	50,9	50,2	48,5	49,4	35,5
Sonstige Zufuhr	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	35,0
Abfuhr	33,4	35,9	36,8	37,4	33,4	39,6	39,5	43,7	33,6
Saldo brutto	57,5	82,8	109,4	161,3	57,5	82,7	113,3	162,8	105,7
Saldo netto	17,5	42,8	69,4	121,3	17,5	42,7	73,3	122,8	70,7
Effizienz [%]	36,7	30,2	25,2	18,8	36,7	32,3	25,8	21,2	24,1
Effizienz N₂-Bindg. [%]	152	144	142	145	152	127	123	113	106

Im Vergleich zu keiner Düngung werden auf den Methauer Versuchen fast 20 % höhere N-Entzüge in den Düngungsvarianten erzielt und auf den Sprödaer Flächen meistens nur geringfügig höhere N-Abfuhr berechnet. Die N-Salden liegen auf den nicht gedüngten Flächen auf z.T. deutlich niedrigerem Niveau, sie sind aber in den Varianten der organischen Düngemittel auch höher als in den mineralisch gedüngten Varianten beider Feldversuche. Daher wurden auf den nicht gedüngten Parzellen und auch in den KAS-Varianten, die meistens zudem über eine höhere N-Zufuhr aufwiesen, meistens bessere N-Effizienzen erzielt als nach langjähriger organischer Düngung. Es sind Ergebnisse, wie sie oft unter konventionellen Bedingungen auch erzielt worden sind, wonach die Ausnutzung der N-Mineraldüngung höher anzusetzen ist als die der organischen Düngemittel (GUTSER et al., 2005).

Ob diese Ergebnisse auch unter den ökologischen Anbaubedingungen bei dauerhaftem Einsatz zutreffen, werden weitere Auswertungen zeigen. Es fällt jedoch auf, dass nach dem jetzigen Kenntnisstand der Versuchsauswertung die KAS-Varianten über deutlich höhere N_{min}-Gehalte im Herbst und auch über ein deutlich höheres N-Verlagerungspotenzial aufweisen als die Varianten mit vergleichbar hoher organischer Düngung (siehe Kap. 4.3.2). Es ist zu bedenken, dass der direkte Vergleich der N-Salden zwischen den

organischen und den mineralisch gedüngten Varianten dadurch erschwert wird, weil in den KAS-Varianten die legume N₂-Bindung z.T. deutlich reduziert worden ist (Tabelle 200). So zeigen diese Varianten ebenfalls immer die niedrigsten N₂-Effizienzen auf. In den meisten Fällen sind in den Gülle- und Grüngutvarianten deutlich höher N₂-Anteile und in den Stallung- und nicht gedüngten Varianten jeweils nochmals etwas höhere Werte durch die legume N-Bindung im Vergleich zu den Gesamt-Abfuhr berechnet worden.

Tabelle 200: Ergebnisse der N-Schlagbilanzierung [kg N/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

	Methau				Spröda			
Futterbau								
	ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
Düngung	0,0	76,2	84,7	122,8	0,0	73,6	71,2	74,0
N₂-Bindung	78,3	85,1	88,0	40,6	55,4	54,3	53,8	36,7
Sonstige Zufuhr	55,0	55,0	55,0	50,0	40,0	40,0	40,0	35,0
Abfuhr	156,9	182,8	188,5	198,1	108,1	111,0	113,4	113,5
Saldo brutto	-23,6	33,4	39,2	15,3	-12,7	56,9	51,6	32,2
Saldo netto	-78,6	-21,6	-15,9	-34,7	-52,7	16,9	11,6	-2,8
Effizienz [%]	117,7	86,7	85,1	92,8	113,3	69,4	71,7	77,9
Effizienz N₂-Bindg. [%]	49,9	46,6	46,7	20,5	51,3	48,9	47,4	32,3
Marktfrucht								
	ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
Düngung	0,0	76,2	84,7	116,5	0,0	61,7	71,2	68,8
N₂-Bindung	58,8	62,9	67,6	30,9	50,9	52,8	49,4	35,5
Sonstige Zufuhr	55,0	55,0	55,0	50,0	40,0	40,0	40,0	35,0
Abfuhr	62,5	69,3	74,6	92,7	33,4	36,7	40,9	33,6
Saldo brutto	51,0	124,8	120,7	104,7	57,5	117,8	119,6	105,7
Saldo netto	-4,0	69,8	65,7	54,7	17,5	77,8	79,6	70,7
Effizienz [%]	55,1	36,0	39,2	47,0	36,7	24,7	26,4	24,1
Effizienz N₂-Bindg. [%]	94,1	90,8	90,6	33,3	152	144	121	106

4.4.2 Phosphor

Bei der gewöhnlichen Schlagbilanzierung für Phosphor werden bei den Zufuhren keine weiteren Komponenten aufgeführt, da auch z.B. die Deposition über die Atmosphäre bei diesen Nährstoffen nur sehr geringe Beträge aufweist. Es wird deutlich, dass im Mittel aller Jahre im Bereich der landwirtschaftlichen Praxis von 0 – 1 DE/ha fast durchgehend negative Salden vorzufinden sind. Am Standort Methau trifft dies vor allem auf die FB-Varianten zu, bei denen nach keiner Düngung ein Wert von -25 kg P/ha berechnet wurde (Abbildung 76). Mit steigender organischer Düngung kann dieser negative Saldo nur bis zu Werten von -3 kg P/ha in der Stufe mit 2 DE/ha verbessert werden. Im MF-System betragen die Werte immerhin noch -10 kg P/ha in der niedrigsten und +10 kg P/ha und Jahr in der höchsten Stufe.

Bei niedrigerer Ertragserwartung werden am Standort Spröda nicht ganz so extreme Werte in den P-Salden erreicht. Hier liegen die vergleichbaren Werte zwischen -14 kg und +4 kg P/ha in den FB-Varianten und im MF-System zwischen -5 kg bis +10 kg P/ha und Jahr. Die berechneten durchschnittlichen P-Salden pro Jahr variieren nicht nur zwischen den Steigerungsvarianten sondern unterscheiden sich erheblich in den erhaltenen Werten zwischen den beiden untersuchten Betriebssystemen Futterbau und Marktfrucht. Die Abstände zwischen den Systemen in den jeweiligen Steigerungsstufen differieren im Minimum um etwa 13 und im Maximum um 16 kg P/ha. In Spröda beträgt die Variationsbreite zwischen den durchschnittlichen P-Salden pro Jahr zwischen den Systemen etwa 6 – 9 kg P/ha und Jahr (Abbildung 76).

In der veranschlagten Fruchtfolge der zweiten Versuchsphase liegen die Bilanzkomponenten auf ähnlich hohem Niveau (Tabelle 201, Tabelle 202 u. Tabelle 203). Auch hier befinden sich die P-Salden meistens im negativen Bereich, auf eine gesonderte Beschreibung wird daher verzichtet. In den meisten Fällen ist somit mehr Phosphor aus dem System entfernt als beispielsweise durch Düngemittel und Koppelprodukte verabreicht worden ist. Diese Situation trifft auch auf viele Betriebe in der landwirtschaftlichen Praxis zu. Es ist bemerkenswert, dass auch mit den gewöhnlichen organischen Düngemitteln nur verhältnismäßig wenig Phosphat zugeführt wird, da erst in der höchsten Stufe von 2 DE/ha erst positive Salden erreicht werden. Die Gründe hierfür liegen in den erhöhten P-Abfuhr. Insbesondere getreidereiche Fruchtfolgen exportieren mit den P-reichen Körnern erhebliche Mengen mit den Ernten von den Flächen. Auf der anderen Seite enthalten die gewöhnlichen organischen Dünger nur relativ geringe Gehalte an Phosphor, was in diesen Versuchen besonders auf das Grüngut in abgeschwächter Form auch auf die Rindergülle zutrifft (siehe Tabelle 9).

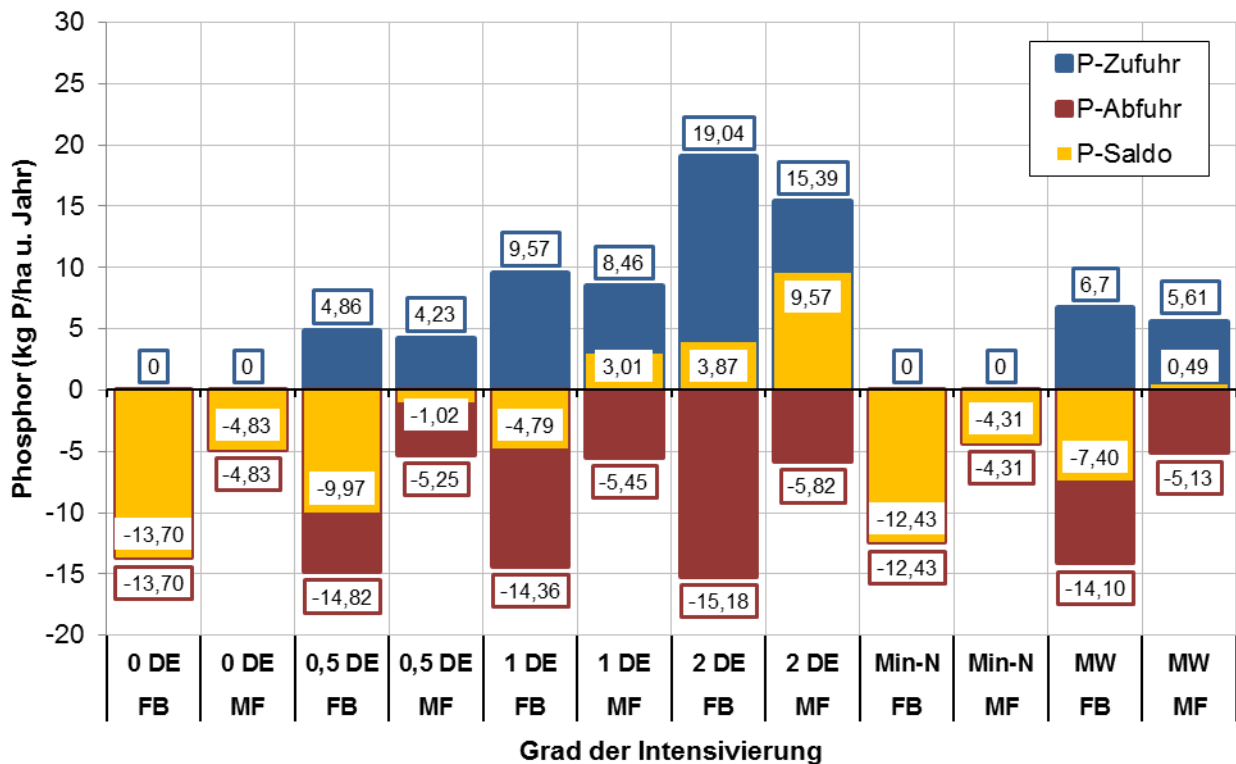
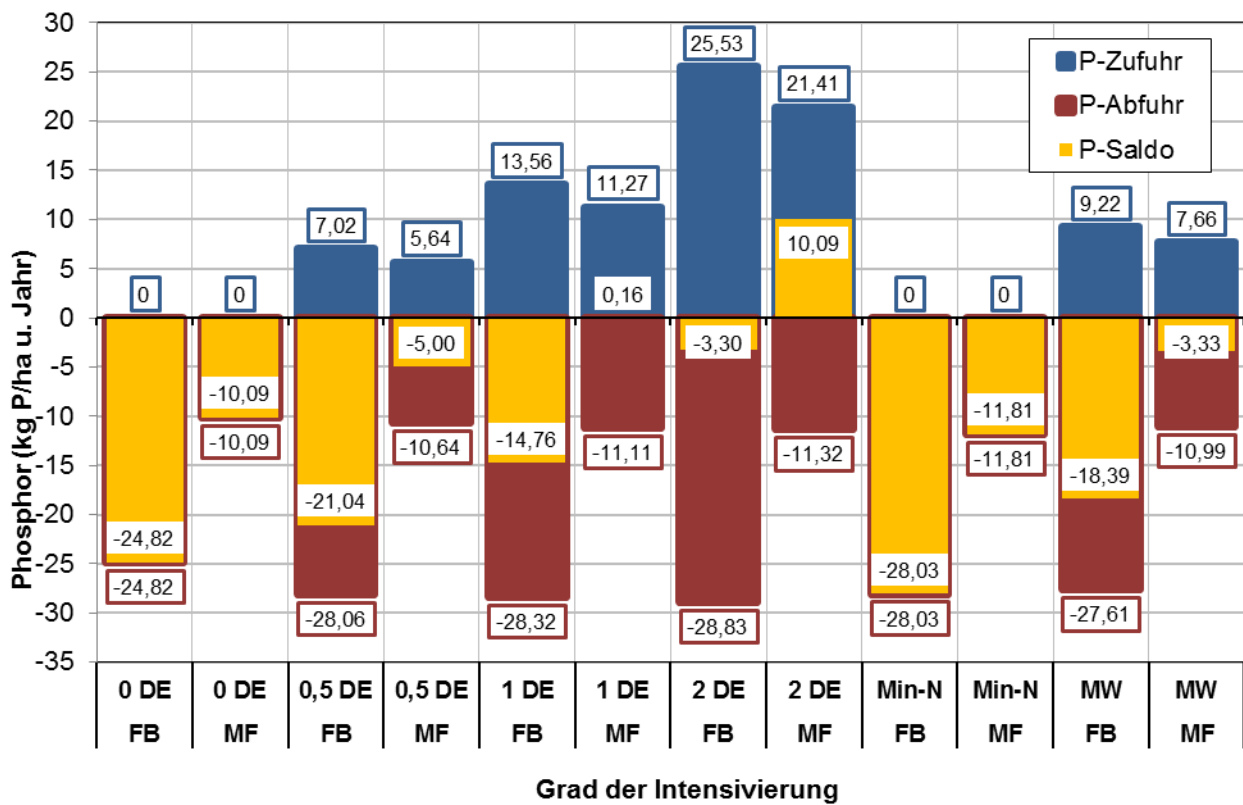


Abbildung 76: Zufuhr, Abfuhr und Saldo an Phosphor im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit in den Anbausystemen und Düngungsvarianten an den Standorten Methau (oben) und Spröda (unten)

Tabelle 201: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] einer definierten Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau Fruchtfolge						Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Düngung	0,0	9,8	19,0	36,1	16,2	0,0	5,1	10,0	20,6	8,9
Abfuhr	23,2	26,5	27,0	27,6	26,1	14,1	15,4	14,9	15,9	15,1
Saldo	-23,2	-16,7	-8,0	8,5	-9,9	-14,1	-10,3	-5,0	4,7	-6,2
Effizienz [%]	-	270,4	142,1	76,5	161,1	-	302,0	149,0	77,2	169,7
Marktfrucht										
Düngung	0,0	8,0	16,0	30,5	13,6	0,0	4,4	8,8	16,2	7,4
Abfuhr	13,6	14,6	15,2	15,4	14,7	6,0	6,7	6,8	7,3	6,7
Saldo	-13,6	-6,6	0,8	15,1	-1,1	-6,0	-2,3	2,0	8,9	0,7
Effizienz [%]	-	182,5	95,0	50,5	88,6	-	152,3	77,3	45,1	90,5

Tabelle 202: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	12,2	24,4	47,0	0,0	7,4	13,7	25,2	0,0
Abfuhr	23,2	26,6	26,6	27,9	23,2	26,5	27,4	27,4	26,8
Saldo	-23,2	-14,3	-2,2	19,1	-23,2	-19,1	-13,8	-2,2	-26,8
Marktfrucht									
		SM				M			
Düngung	0,0	12,2	24,4	47,0	0,0	3,8	7,5	14,0	0,0
Abfuhr	13,6	14,3	15,0	15,5	16,6	14,9	15,3	15,4	15,9
Saldo	-13,6	-2,1	9,4	31,5	-13,6	-11,2	-7,8	-1,3	-15,9

Tabelle 203: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	4,4	8,4	20,4	0,0	5,7	11,5	20,9	0,0
Abfuhr	14,1	15,6	15,1	16,6	14,1	15,3	14,7	15,1	12,8
Saldo	-14,1	-11,1	-6,7	3,7	-14,1	-9,5	-3,2	5,7	-12,8
Marktfrucht									
		M				G			
Düngung	0,0	3,1	6,2	11,6	0,0	5,7	11,5	20,9	
Abfuhr	6,0	6,4	7,2	7,2	6,0	7,0	6,4	7,4	5,3
Saldo	-6,0	-3,3	-1,0	4,4	-6,0	-1,2	5,1	13,5	-5,3

Durch die verschiedenen hohen P-Gehalte der Düngemittel kommt es zu deutlichen Unterschieden in der P-Zufuhr in den untersuchten Versuchen an beiden Standorten (Tabelle 204). Am deutlichsten wird das in den KAS-Varianten sichtbar, da durch diesen Dünger, außer dem Stickstoff, so gut wie keine weiteren Nährstoffe zugeführt werden. Hierdurch wurden in diesen Varianten auf Grund des höheren Ertrags- und P-Abfuhrniveaus die am stärksten negativen P-Salden ermittelt. Außer den Varianten ohne Zufuhr folgen auf Grund der geringen P-Gehalte die Versuchsglieder mit Grüngut- und die der Güllezufuhr an beiden Standorten. Die höchsten vergleichbaren Werte in der P-Zufuhr weisen jeweils die Varianten mit Stalldung auf.

Während die Höhe der P-Abfuhr zwischen den organischen Düngemitteln in etwa auf gleichem Niveau liegt, kommt es so zu deutlichen Unterschieden in den berechneten P-Salden zwischen den untersuchten Düngemitteln. Da die Düngierzufuhr oft auf Basis der N-Zufuhr berechnet wird, was auch in diesen Versuchen so geschehen ist, sind die geprüften Düngemittel in folgender Rangfolge für die P-Zufuhr geeignet: Grüngut < Rindergülle < Stalldung.

Tabelle 204: Ergebnisse der P-Schlagbilanzierung [kg P/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

	Methau				Spröda			
Futterbau								
	ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
Düngung	0,0	27,9	15,4	0,0	0,0	11,1	12,7	0,0
Abfuhr	23,2	27,0	27,1	26,8	14,1	15,8	15,0	12,8
Saldo	-23,2	0,9	-11,7	-26,8	-14,1	-4,7	-2,3	-12,8
Effizienz [%]	-	96,8	175,9	-	-	143,3	118,1	-
Marktfrucht								
	ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
Düngung	0,0	27,9	8,4	0,0	0,0	7,0	12,7	0,0
Abfuhr	13,6	14,9	15,2	15,9	6,0	6,9	6,9	5,3
Saldo	-13,6	13,0	-6,8	-15,9	-6,0	0,0	5,8	-5,3
Effizienz [%]	-	53,4	180,9	-	-	98,6	54,3	-

4.4.3 Kalium

Zum Nährstoff Kalium werden ebenfalls deutlich unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Varianten erzielt (Abbildung 77, Tabelle 205, Tabelle 206, Tabelle 207 u. Tabelle 208). Da zwischen den beiden Berechnungsansätzen keine großen Unterschiede bestehen, werden die Ergebnisse am Beispiel der Gesamterhebung der Versuche erläutert (Abbildung 77). Es ist deutlich zu erkennen, dass durch die Grüngut-, Gülle- und Stallmistgaben die sehr hohen Kaliumabfuhr, die durch die Entnahme der Koppelprodukte und Kleeerasaufwüchse im Anbausystem Futterbau entstehen, in keiner Variante ausgeglichen werden können. Die viehlosen Düngewarianten im MF-System erfahren dagegen diese Nährstoffverluste nicht, so dass die K-Abfuhr deutlich verringert sind und die K-Salden entsprechend geringere negative bzw. auch z.T. positive Salden aufweisen können. Zu diesen deutlichen Unterschieden kommt es, da durch die Beerntung der FB-Flächen erhebliche K-Entzüge aus dem System vor allem durch die K-reichen vegetativen Materialien (Stroh, Klee gras, Kartoffeln) entstehen.

Insgesamt ist die Kaliumabfuhr am Standort Methau weit stärker ausgeprägt als in Spröda. So kam es in Methau am Beispiel der 2-DE/ha-Varianten auf Grund höherer K-Abfuhr zu einem 9-fach negativeren Saldo als am Ort Spröda. Da im MF-System alle Koppelprodukte auf der Fläche belassen werden, ist ein weit weniger negativer Saldo entstanden, obwohl ein K-Export aus dem Betriebskreislauf über den Marktfruchtverkauf stattfindet. Im anderen Extrem sind an beiden Standorten auf den MF-Varianten in der höchsten Düngungsstufe von 2,0 DE/ha in Methau mit 79 kg K und in Spröda mit 68 kg K/ha und Jahr zum Teil erhebliche Überhänge in Form von Positivsalden an Kalium entstanden (Abbildung 77).

Unter Einbeziehung der Tabelle 176, der Tabelle 177 sowie der Tabelle 178 (im Vergleich zu Tabelle 205, Tabelle 206 u. Tabelle 207) können die mittleren K-Salden den pflanzenverfügbaren K-Gehalten in 0 – 30 cm Bodentiefe gegenübergestellt werden. Vor allem in Methau ist eine verhältnismäßig enge Beziehung zwischen den Werten der Bodenuntersuchung und den berechneten K-Salden zu erkennen. Mit steigendem K-Saldo

steigt in Methau der mittlere K-Gehalt des Bodens deutlich an. In Spröda ist dieser Zusammenhang weniger stark ausgeprägt, da die K-Salden keine so extremen Unterschiede zwischen den Intensitätsstufen zeigen.

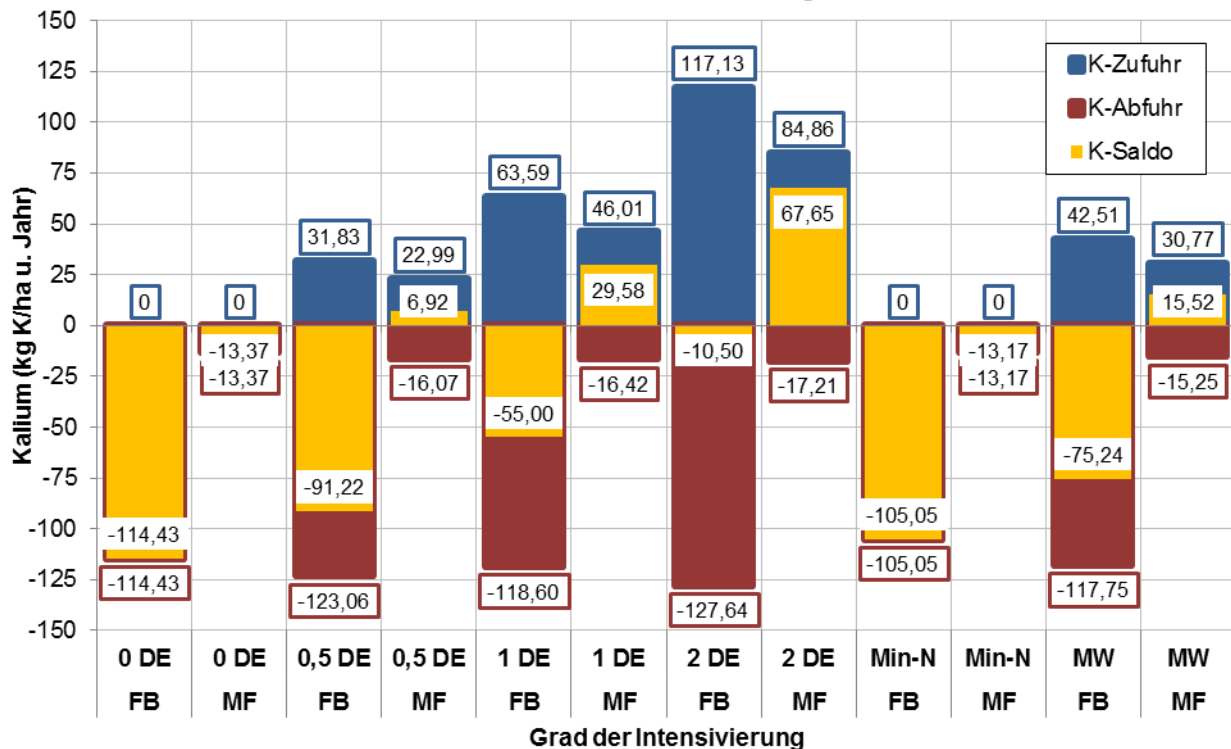
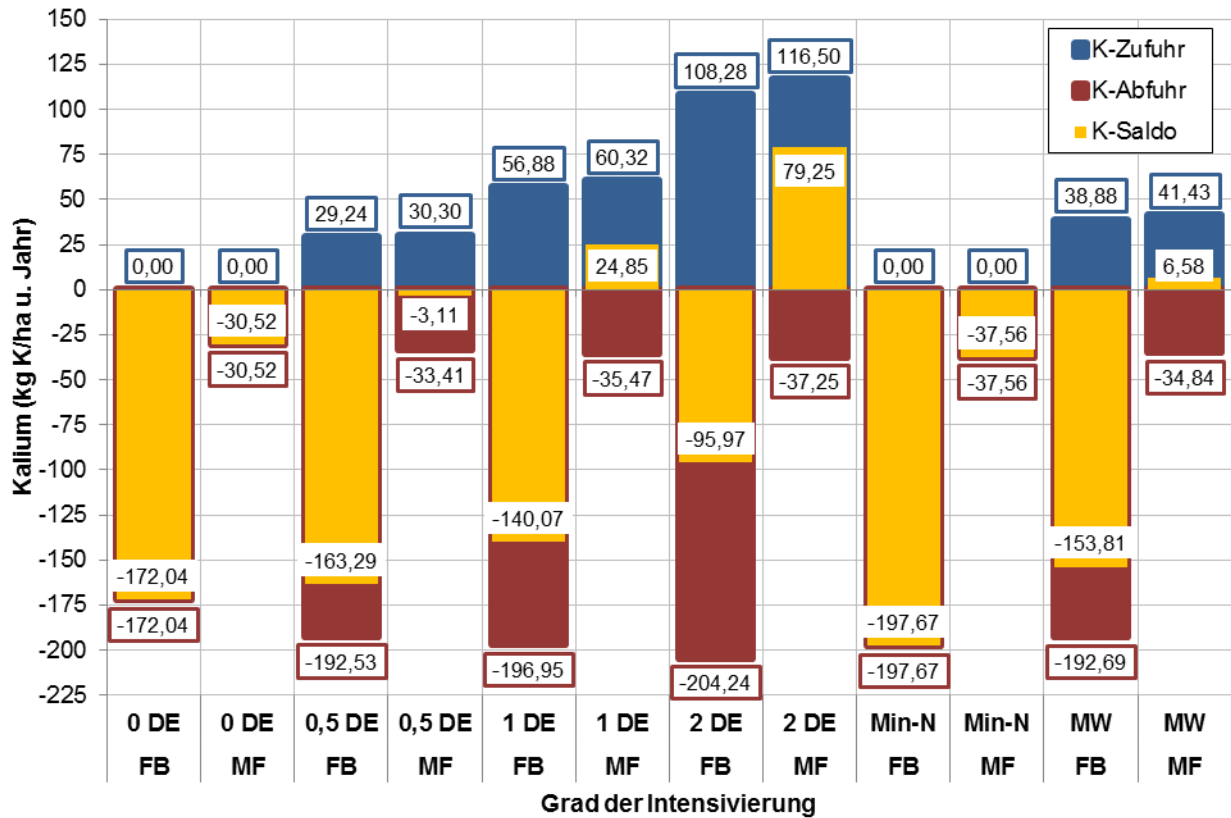


Abbildung 77: Zufuhr, Abfuhr und Saldo an Kalium im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit in Bezug auf die Anbau- und Düngungsvarianten am Standort Methau (oben) und Spröda (unten)

Tabelle 205: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der veranschlagten Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

	Methau Fruchtfolge					Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Düngung	0,0	42,6	83,2	159,5	71,3	0,0	32,9	65,7	123,1	55,4
Abfuhr	140,6	163,0	170,2	177,6	162,9	110,8	121,6	116,6	127,0	119,0
Saldo	-140,6	-120,4	-87,1	-18,1	-91,6	-110,8	-88,7	-51,0	-3,9	-63,6
Effizienz [%]	-	382,6	204,6	111,3	228,5	-	369,6	177,5	103,2	214,8
Marktfrucht										
Düngung	0,0	44,5	88,7	172,2	76,4	0,0	24,1	48,2	89,5	40,5
Abfuhr	52,0	58,0	61,4	64,9	59,1	20,1	25,0	25,7	26,8	24,4
Saldo	-52,0	-13,5	27,2	107,3	17,3	-20,1	-0,9	22,5	62,7	16,1
Effizienz [%]	-	130,3	69,2	37,7	77,4	-	103,7	53,3	29,9	60,3

Tabelle 206: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	55,8	111,0	216,3	0,0	29,4	55,4	102,6	0,0
Abfuhr	140,6	162,8	171,5	182,1	140,6	163,1	169,0	173,1	168,2
Saldo	-140,6	-107,0	-60,5	34,2	-140,6	-133,8	-113,6	-70,5	-168,2
Marktfrucht									
		SM				M			
Düngung	0,0	55,8	111,0	216,3	0,0	33,3	66,4	128,0	0,0
Abfuhr	52,0	56,7	61,7	66,3	52,0	59,4	61,2	63,4	63,8
Saldo	-52,0	-0,9	49,3	150,0	-52,0	-26,1	5,2	64,6	-63,8

Tabelle 207: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	44,1	88,0	168,4	0,0	21,6	43,3	77,8	0,0
Abfuhr	110,8	121,6	120,1	131,9	110,8	121,7	113,2	122,1	102,4
Saldo	-110,8	-77,4	-32,0	36,5	-110,8	-100,1	-69,9	-44,3	-102,4
Marktfrucht									
		M				G			
Düngung	0,0	26,5	53,1	101,2	0,0	21,6	43,3	77,8	0,0
Abfuhr	20,1	21,1	23,2	23,5	20,1	28,9	28,3	30,1	18,7
Saldo	-20,1	5,5	29,9	77,7	-20,1	-7,3	15,0	47,7	-18,7

Auch durch die Anwendung verschiedener organischer Düngemittel gibt es Unterschiede in der K-Zufuhr (Tabelle 208). Neben der KAS-Variante ohne K-Zufuhr, wird unter den organischen Düngemitteln folgende Rangfolge der K-Zufuhr durch die Düngung sichtbar: Rindergülle < Grüngut < Stalldung. Gerade die Stalldung-Varianten, deren hohe Zufuhren nicht nur auf den K-Gehalten in dem festen Dünger beruhen, sondern auch auf der nicht unerheblichen K-Zufuhr durch die teilweise durchgeführte Jauchedüngung. Hierdurch können die stark negativen Salden der FB-Varianten deutlich verringert werden.

Tabelle 208: Ergebnisse der K-Schlagbilanzierung [kg K/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

	Methau				Spröda			
Futterbau								
	ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
Düngung	0,0	127,7	62,5	0,0	0,0	100,2	47,6	0,0
Abfuhr	140,6	172,2	168,4	168,2	110,8	124,5	119,0	102,4
Saldo	-140,6	-44,5	-105,9	-168,2	-110,8	-24,3	-71,4	-102,4
Effizienz [%]	-	134,9	296,4	-	-	124,3	250,0	-
Marktfrucht								
	ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
Düngung	0,0	127,7	75,9	0,0	0,0	60,3	47,6	0,0
Abfuhr	52,0	61,6	61,3	63,8	20,1	22,6	29,1	18,7
Saldo	-52,0	66,1	14,6	-63,8	-20,9	37,7	18,5	-18,7
Effizienz [%]	-	48,2	80,8	-	-	37,5	61,1	-

4.4.4 Magnesium

Das Magnesium ist ein weiterer Nährstoff, dessen Versorgungsniveau besonders auf den leichten Böden Beachtung finden muss. Es werden in beiden Berechnungseinheiten vergleichbare Bilanzierungs-Ergebnisse erzielt. Da auch im Prinzip zwischen den untersuchten Anbauverfahren und Düngungsregime ähnliche Ergebnisse erzielt worden sind, wird an dieser Stelle auf eine nähere Beschreibung verzichtet (Abbildung 78, Tabelle 209, Tabelle 210, Tabelle 211 u. Tabelle 212). Die Unterschiede zwischen den Anbausystemen sind nicht so stark ausgeprägt. Eine steigende organische Düngung führt ebenfalls von ausgangs deutlich negativen Mg-Salden in den Varianten ohne Düngung bis zu hohen positiven Salden nach extrem hoher Düngung, insbesondere am Ort Methau. Die Rangfolge der Mg-Zufuhr durch die Düngungsmaßnahmen war folgender Maßen aufgetreten: Grüngut < Gülle < Stalldung.

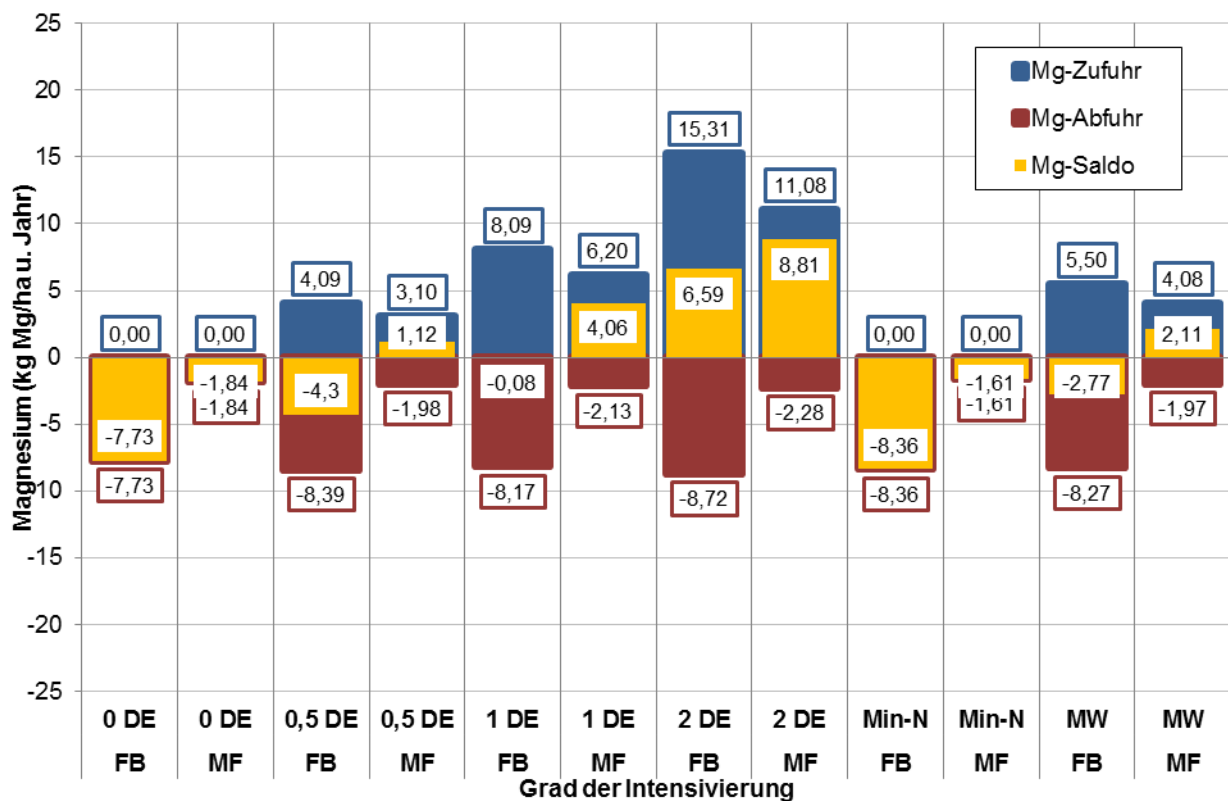
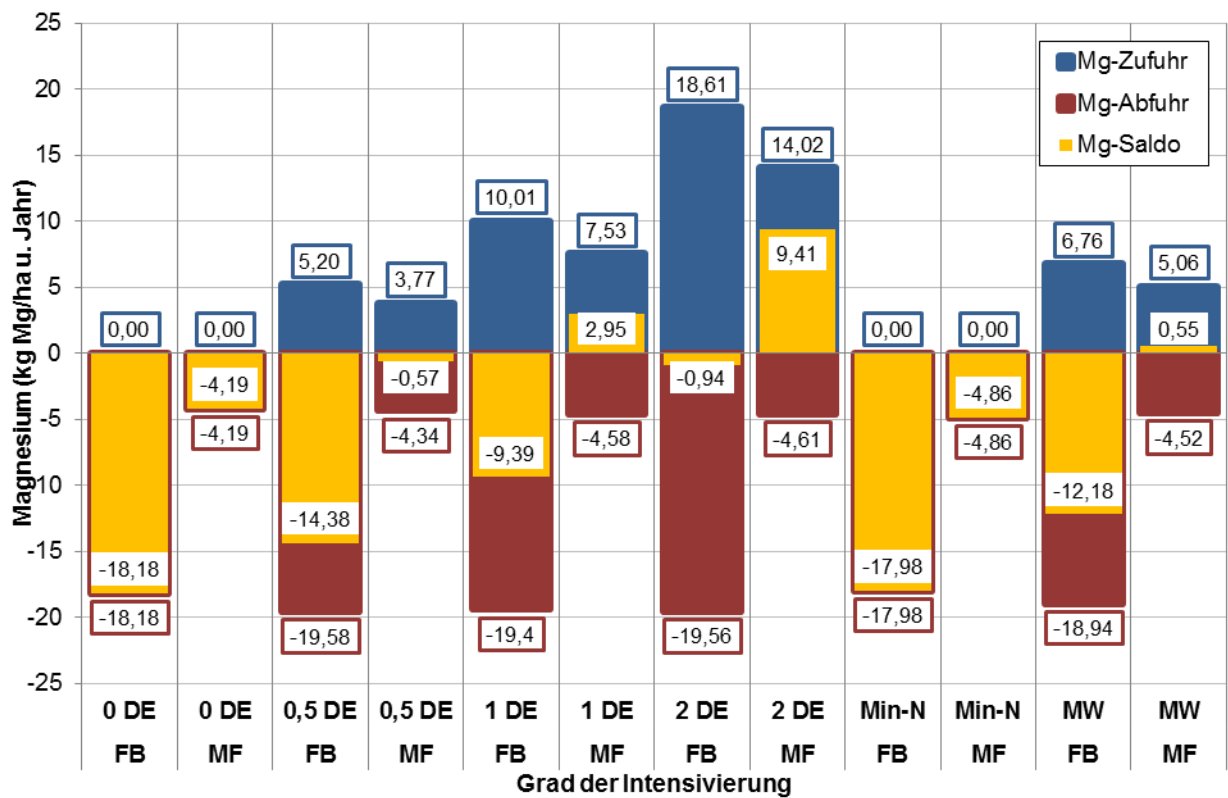


Abbildung 78: Zufuhr, Abfuhr und Saldo an Magnesium im Durchschnitt der gesamten Versuchszeit in den Anbau- und Düngungssystemen am Standort Methau (oben) und Spröda (unten)

Tabelle 209: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau Fruchtfolge						Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Düngung	0,0	7,3	14,1	26,5	12,0	0,0	4,2	8,3	16,0	7,1
Abfuhr	15,3	17,0	16,8	17,1	16,6	7,6	8,4	8,1	8,7	8,2
Saldo	-15,3	-9,7	-2,7	9,4	-4,6	-7,6	-4,2	0,2	7,3	-1,1
Effizienz [%]	-	232,9	119,2	64,5	138,3	-	200,0	97,6	54,4	115,5
Marktfrucht										
Düngung	0,0	5,3	10,7	20,1	9,0	0,0	3,2	6,4	11,5	5,3
Abfuhr	5,7	6,1	6,4	6,4	6,2	2,2	2,6	2,7	2,9	2,6
Saldo	-5,7	-0,8	4,3	13,6	2,9	-2,2	0,6	3,7	8,6	2,7
Effizienz [%]	-	115,1	59,8	31,8	68,9	-	81,3	42,2	25,2	49,1

Tabelle 210: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	8,2	16,3	31,1	0,0	6,4	11,9	21,9	0,0
Abfuhr	15,3	17,0	16,7	16,8	15,3	16,9	16,9	17,4	16,1
Saldo	-15,3	-8,9	-0,3	14,3	-15,3	-10,4	-5,0	4,5	-16,1
Marktfrucht									
		SM				M			
Düngung	0,0	8,2	16,3	31,1	0,0	2,5	5,0	9,1	0,0
Abfuhr	5,7	6,0	6,4	6,5	5,7	6,3	6,4	6,4	6,7
Saldo	-5,7	2,2	9,9	24,5	-5,7	-3,7	-1,4	2,7	-6,7

Tabelle 211: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten und Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	4,4	8,4	17,8	0,0	4,0	8,1	14,2	0,0
Abfuhr	7,6	8,3	8,3	9,1	7,6	8,6	7,9	8,4	8,2
Saldo	-7,6	-3,9	0,1	8,7	-7,6	-4,6	0,2	5,8	-8,2
Marktfrucht									
		M				G			
Düngung	0,0	2,4	4,7	8,8	0,0	4,0	8,1	14,2	0,0
Abfuhr	2,2	2,4	2,7	2,8	2,2	2,7	2,7	2,9	2,0
Saldo	-2,2	0,0	2,0	6,0	-2,2	1,3	5,4	11,2	-2,0

Tabelle 212: Ergebnisse der Mg-Schlagbilanzierung [kg Mg/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

	Methau				Spröda			
Futterbau								
	ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
Düngung	0,0	18,5	13,4	0,0	0,0	10,2	8,8	0,0
Abfuhr	15,3	16,8	17,1	16,1	7,6	8,6	8,3	8,2
Saldo	-15,3	1,7	-3,7	-16,1	-7,6	1,7	0,5	-8,2
Effizienz [%]	-	90,8	127,6	-	-	84,3	94,3	-
Marktfrucht								
	ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
Düngung	0,0	18,5	5,5	0,0	0,0	5,3	8,8	0,0
Abfuhr	5,7	6,3	6,3	6,7	2,3	2,6	2,8	2,0
Saldo	-5,7	12,2	-0,8	-6,7	-2,3	2,7	6,0	-2,0
Effizienz [%]	-	34,1	114,6	-	-	49,1	31,8	-

4.4.5 Schwefel

Der Nährstoff Schwefel wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen, daher wurden in diesen Versuchen erste Berechnungen zur Schlagbilanzierung auf der Grundlage von Tabellenwerten der Inhaltsstoffe der angebauten Pflanzenarten vorgenommen. Es liegen Ergebnisse für die gesamte Versuchszeit sowie für die kalkulierte Fruchtfolge vor, deren Ergebnisse hier dokumentiert werden sollen. Da beim Schwefel immer noch deutliche Zufuhren über die Atmosphäre während der Versuchszeit entstanden sind, werden die S-Depositionen bei der Bilanzierung berücksichtigt, wodurch es auch ermöglicht wurde, einen Saldo auf Brutto- und Nettoebene zu berechnen (Tabelle 213, Tabelle 214, Tabelle 215 u. Tabelle 216). Durch die Werte in der S-Deposition um 12 kg S/ha und Jahr sind die entstandenen S-Salden auch in den FB-Varianten ohne Düngung nur leicht negativ. In der überwiegenden Anzahl an Behandlungsvarianten sind daher an beiden Orten immer noch z.T. deutlich positive S-Salden auszuweisen.

Die Unterschiede zwischen den FB- und MF-Varianten werden zwar ebenfalls sichtbar, sind aber von der Größenordnung nicht von besonderer Bedeutung. Die Differenzen zwischen den Systemen treten in Spröda kaum in Erscheinung und betragen hier nur 1 – 6 kg S/ha und Jahr. Im Zufuhrpotenzial gibt es kaum Unterschiede zwischen dem Grüngut und der Rindergülle. Der Stalldung trägt zu einer deutlicheren Zufuhr an Schwefel durch die Düngungsmaßnahmen bei, so dass die S-Salden öfter als bei den anderen Düngemitteln positive Werte erreicht haben.

Tabelle 213: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau Fruchtfolge						Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Düngung	0,0	3,4	6,4	12,2	5,5	0,0	3,5	6,9	13,3	5,9
Sonstige Zufuhr	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Abfuhr	13,8	15,5	15,9	16,2	15,4	8,5	8,9	8,6	9,0	8,8
Saldo brutto	-2,1	-0,4	2,2	7,7	1,9	3,8	6,8	10,6	16,6	9,5
Saldo netto	-13,8	-12,1	-9,5	-4,0	-10,0	-8,5	-5,5	-1,7	4,3	-2,9
Effizienz [%]	118,0	102,7	87,9	67,8	89,5	69,1	56,3	44,8	33,8	48,4
Marktfrucht										
Düngung	0,0	3,1	6,3	12,2	5,4	0,0	2,3	4,5	8,3	3,8
Sonstige Zufuhr	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Abfuhr	6,1	6,6	6,8	7,0	6,6	2,5	2,7	2,8	2,9	2,7
Saldo brutto	5,6	8,3	11,2	16,8	10,5	9,8	11,8	14,0	17,7	13,3
Saldo netto	-6,1	-3,4	-0,5	5,1	-1,2	-2,5	-0,5	1,7	5,4	1,0
Effizienz [%]	52,1	44,6	37,8	29,3	38,6	20,3	18,5	16,7	14,1	16,8

Tabelle 214: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	3,9	7,8	15,2	0,0	2,8	5,1	9,3	0,0
Sonstige Zufuhr	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
Abfuhr	13,8	15,4	15,7	16,1	13,8	15,6	16,2	16,3	16,0
Saldo brutto	-2,1	0,3	3,9	10,8	-2,1	-1,1	0,5	4,7	-4,3
Saldo netto	-13,8	-11,4	-7,8	-0,9	-13,8	-12,8	-11,2	-7,0	-16,0
Effizienz [%]	118,0	98,7	80,5	59,9	118,0	107,6	96,4	77,6	136,8
Marktfrucht									
		SM				M			
Düngung	0,0	4,0	8,0	15,5	0,0	2,3	4,6	8,8	0,0
Sonstige Zufuhr	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
Abfuhr	6,1	6,4	6,7	7,1	6,1	6,7	6,8	7,0	7,4
Saldo brutto	5,6	9,3	12,9	20,1	5,6	7,2	9,5	13,5	4,3
Saldo netto	-6,1	-2,4	1,2	8,4	-6,1	-4,5	-2,2	1,8	-7,4
Effizienz [%]	52,1	40,8	34,0	26,1	52,1	47,9	41,7	34,2	63,3

Tabelle 215: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Dünge­stufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda									
	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau									
		SM				G			
Düngung	0,0	4,6	9,1	18,3	0,0	2,3	4,6	8,4	0,0
Sonstige Zufuhr	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Abfuhr	8,5	8,9	8,7	9,1	8,5	9,0	8,4	8,9	8,1
Saldo brutto	3,8	8,0	12,8	21,5	3,8	5,6	8,5	11,8	4,3
Saldo netto	-8,5	-4,3	0,5	9,1	-8,5	-6,7	-3,8	-0,5	-8,1
Effizienz [%]	69,1	52,7	40,7	29,7	69,1	61,6	49,7	43,0	65,9
Marktfrucht									
		M				G			
Düngung	0,0	2,2	4,4	8,3	0,0	2,3	4,6	8,4	0,0
Sonstige Zufuhr	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Abfuhr	2,5	2,6	2,8	2,8	2,5	2,9	2,9	3,1	2,1
Saldo brutto	9,8	11,9	13,9	17,8	9,8	11,8	14,1	17,6	10,2
Saldo netto	-2,5	-0,4	1,6	5,5	-2,5	-0,5	1,8	5,3	-2,1
Effizienz [%]	20,3	17,9	16,8	13,6	20,3	19,9	17,2	15,0	17,1

Tabelle 216: Ergebnisse der S-Schlagbilanzierung [kg S/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

	Methau				Spröda			
Futterbau								
	ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
Düngung	0,0	9,0	5,7	0,0	0,0	10,7	5,1	0,0
Sonstige Zufuhr	11,7	11,7	11,7	11,7	12,3	12,3	12,3	12,3
Abfuhr	13,8	15,7	16,0	16,0	8,5	8,9	8,8	8,1
Saldo brutto	-2,1	5,0	1,4	-4,3	3,8	14,1	8,6	4,3
Saldo netto	-13,8	-6,7	-10,3	-16,0	-8,5	1,8	-3,7	-8,1
Effizienz [%]	118,0	75,9	92,0	136,8	69,1	38,7	50,6	65,9
Marktfrucht								
	ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
Düngung	0,0	9,2	5,2	0,0	0,0	5,0	5,1	0,0
Sonstige Zufuhr	11,7	11,7	11,7	11,7	12,3	12,3	12,3	12,3
Abfuhr	6,1	6,7	6,9	7,4	2,5	2,7	2,9	2,1
Saldo brutto	5,6	14,1	10,1	4,3	9,8	14,6	14,5	10,2
Saldo netto	-6,1	2,4	-1,6	-7,4	-2,5	2,3	2,2	-2,1
Effizienz [%]	52,1	32,1	40,8	63,3	20,3	15,6	16,7	17,1

4.4.6 Zusammenfassende Anmerkungen

In diesem Kapitel wurden die Ergebnisse weitverbreiteter Formen der Nährstoffbilanzierung auf Flächen bzw. Schlagebene präsentiert. Es konnte aufgezeigt werden, dass die untersuchten Versuchsvarianten der Düngerarten und Steigerungsstufen und auch besonders die Anbausysteme deutliche Unterschiede in der Höhe der Nährstoffsalden aufwiesen. Es wurden nochmals die Vorteile der sogen. Brutto-Bilanzierung beim Einsatz im praktischen Ökolandbau aufgeführt, da deren Ergebnisse wesentlich realistischer erscheinen als die sonst auch unter konventionellen Anbauverfahren übliche Netto-Bilanzierung, auch in Form der Nährstoffvergleiche. Darüber hinaus konnte aber auch aufgezeigt werden, dass durch Anwendung der Bruttoformen nicht alle Bilanzierungsergebnisse gleichermaßen sachlogisch erklärt werden konnten, was insbesondere auf die Ergebnisse der MF-Systeme zutraf, worauf auch schon am Ende der ersten Versuchsphase hingewiesen worden ist (siehe BECKMANN et al., 2001, 2002).

4.5 Ermittlung von zeitlichen Veränderungsraten an Humus und Bodennährstoffen in Relation zur Veränderung der Fruchtartenerträge

Wie in dem Kapitel 4.3 über die Nährstoffgehalte bereits für beide Standorte ausführlich dargelegt worden ist, wurden zwischen den Düngungsstufen und den Anbausystemen z.T. deutliche Unterschiede in den Gehalten fast aller erhobenen Nährstoffe im Boden analysiert. Es konnte angenommen werden, dass es mit fortschreitender Versuchsdauer zu deutlichen Veränderungen gekommen ist, die in diesem Kapitel näher untersucht werden sollen. Hierzu wurden die entsprechenden Daten in chronologischer Folge zwischen Versuchsbeginn und -ende gegenüber gestellt, mit Hilfe der linearen oder quadratischen Regressionsanalyse Anfangs- und Endwerte oder die entsprechenden mathematisch-statistischen Gleichungen gebildet, so dass schließlich jährliche Veränderungsraten von einer Reihe wichtiger Merkmale berechnet werden konnten (siehe Kap. 3.11).

4.5.1 Humus- und N_t-Gehalt des Bodens

Durch die verschiedenen Bewirtschaftungsmaßnahmen haben sich die Gehalte an Humus verändert. Das trifft in besonderem Maße für die C_{org}- und N_t-Gehalte des Bodens an beiden Standorten zu. Durch genaue Erfassung des Veränderungsprozesses zwischen Versuchsbeginn und -ende hat die über die Düngung, das Mulchen der Kleeerasaufwüchse und das Strohaufkommen zugeführte organische Substanz zwischen den Orten und Systemen zu einer weitgehend gleichsinnigen und deutlichen Veränderung der C_{org}-Gehalte bzw. der C_{org}-Mengen des Bodens geführt (Abbildung 79, Tabelle 217; Umrechnungsfaktor zwischen C_{org}-Gehalt in % TM auf C_{org}-Menge in kg C/ha: Methau: 38100, Spröda: 50100).

Bereits die Varianten ohne organische Düngung weisen auf beiden Standorten eine leichte Erhöhung der Gehalte auf. Steigende Düngung führte zu einer deutlichen Anhebung der Gehalte an C_{org} im Boden um umgerechnet über 315 – 327 kg C_{org}/ha in Methau und von 320 – 350 kg C_{org}/ha und Jahr in Spröda zwischen keiner organischen Düngung und den Varianten mit der höchsten Zufuhr. Das Mulchen von Kleeeras und die Belassung der anfallenden Zwischenfrucht- und Strohaufwüchse auf den Flächen hat zu einer weiteren linearen Anhebung der C_{org}-Gehalte von durchschnittlich 145 kg C_{org}/ha in Spröda und entsprechend den höheren Aufwuchsmengen von annähernd 275 kg C_{org}/ha und Jahr am Versuchsort in Methau beigetragen. Durch niedrigere Zufuhren, insbesondere der Variante mit 0,5 DE/ha, wurde an beiden Orten eine etwas bessere Gehaltserhöhung an C_{org} bewirkt als in den Varianten mit vergleichsweise hohen Zufuhren an organischer Substanz (leicht degressive Wirkung).

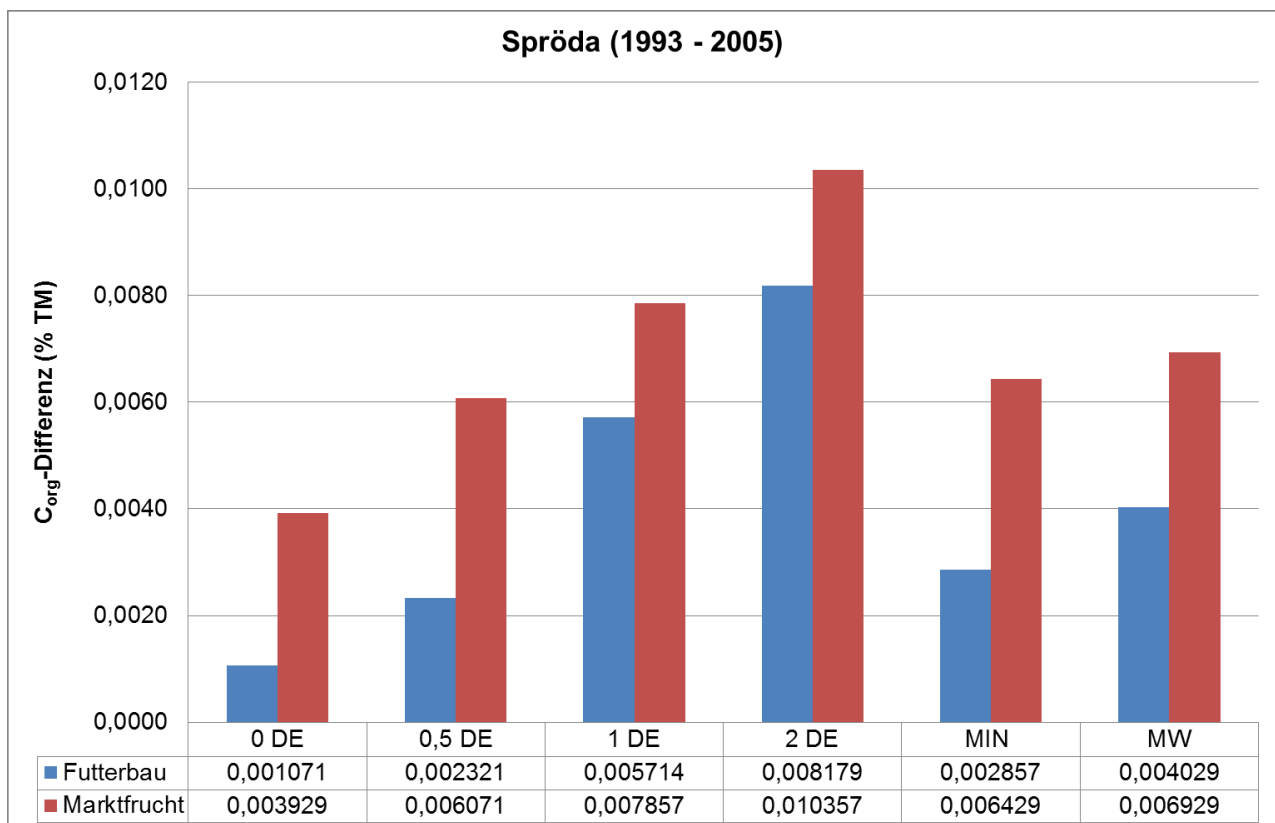
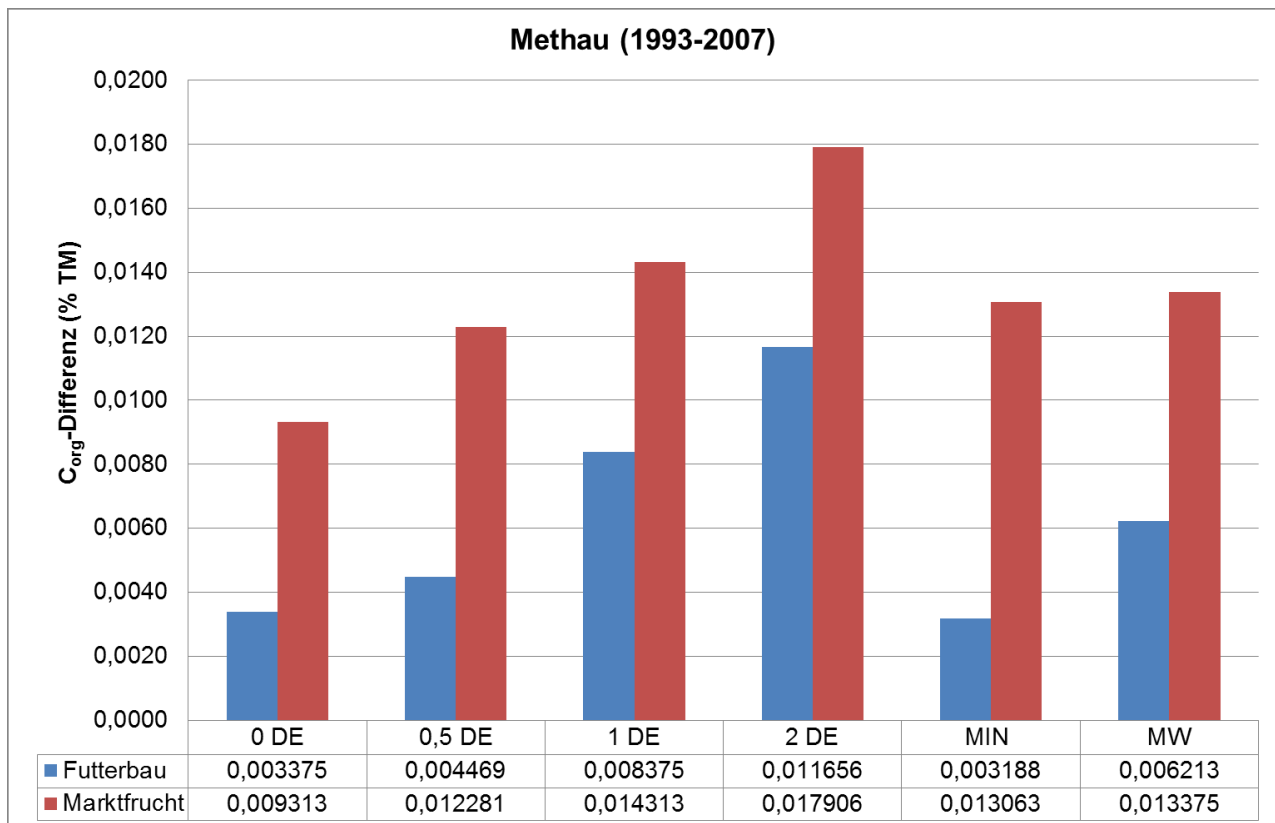


Abbildung 79: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der C_{org} -Gehalte im Oberboden im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Im Durchschnitt der Varianten brachte Stallmist, gefolgt von Grüngut, die höchste C_{org} -Anreicherung. Durch Gülle- und KAS-Zufuhr wurden dagegen geringere Zunahmen der C_{org} -Mengen je Versuchsjahr ermittelt (Tabelle 217). Die C_{org} -Anreicherung ist nach mineralischer N-Düngung besser als bei den Vergleichsvarianten ohne Düngung, da durch die höheren Erträge an Fruchtarten auch höhere Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen im Boden verbleiben. Folge Rangfolge kann formuliert werden: Stalldung > Grüngut > Gülle > N-Mineraldüngung > ohne Düngung. Die umgerechneten Werte der C_{org} -Differenzen in Humussalden führen zu dem Ergebnis, dass fast alle Varianten der Versorgungsstufe C zuzuordnen sind. Lediglich die MF-Varianten des Methauer Standortes liegen bereits in Stufen D und E.

Tabelle 217: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der C_{org} -Mengen [kg C/ha u. Jahr] im Oberboden im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme am Versuchsort Methau und Spröda (A – E = Humus-Versorgungsgruppen)

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
129 C	410 D	212 C	121 C	54 C	315 C	227 C	143 C
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
355 D	625 E	506 D	498 D	197 C	406 C	406 C	322 C

Diese Düngungs- und Anbauregime haben sich auch deutlich auf die N_t -Gehalte des Bodens ausgewirkt (Abbildung 80; Umrechnungsfaktor auf kg N/ha, Methau: 38100, Spröda: 50100). Zwar haben sich die N_t -Gehalte und -mengen durch steigende Düngung und Mulchverbringung erhöht, jedoch in einer anderen Weise, als es bei den C_{org} -Gehalten beschrieben worden ist (vgl. Abbildung 79 u. Abbildung 80). An beiden Versuchsorten sind die N_t -Werte des Bodens im Verlauf des Versuches besonders in den Varianten mit keiner oder geringer Zufuhr an organischen Materialien z.T. deutlich abgefallen. So erfolgte in der Variante 0 DE/ha ein Abfall der N_t -Gehalte im Durchschnitt der Versuche von umgerechnet 27 kg N in Methau und von über 32 kg N/ha und Jahr am Ort Spröda.

Mit steigender Zufuhr an organischen Materialien durch Düngung und Anbau sind dann die negativen Werte besonders am Ort Methau zunächst geringer geworden. In den Varianten mit höherer Düngung hat dann ein Anstieg der N_t -Gehalte des Bodens stattgefunden, während am Ort Spröda nur nach 2 DE/ha ein positiver N_t -Wert zu verzeichnen war. Die Mulchbelassung des Marktfruchtensystems führte ungefähr zu einer Reduzierung des Abfalls bzw. zu einer Anhebung der Werte um durchschnittlich 24 kg N/ha am Standort Methau und von 14 kg N/ha in Spröda, besonders in den Varianten mit geringer Düngungshöhe.

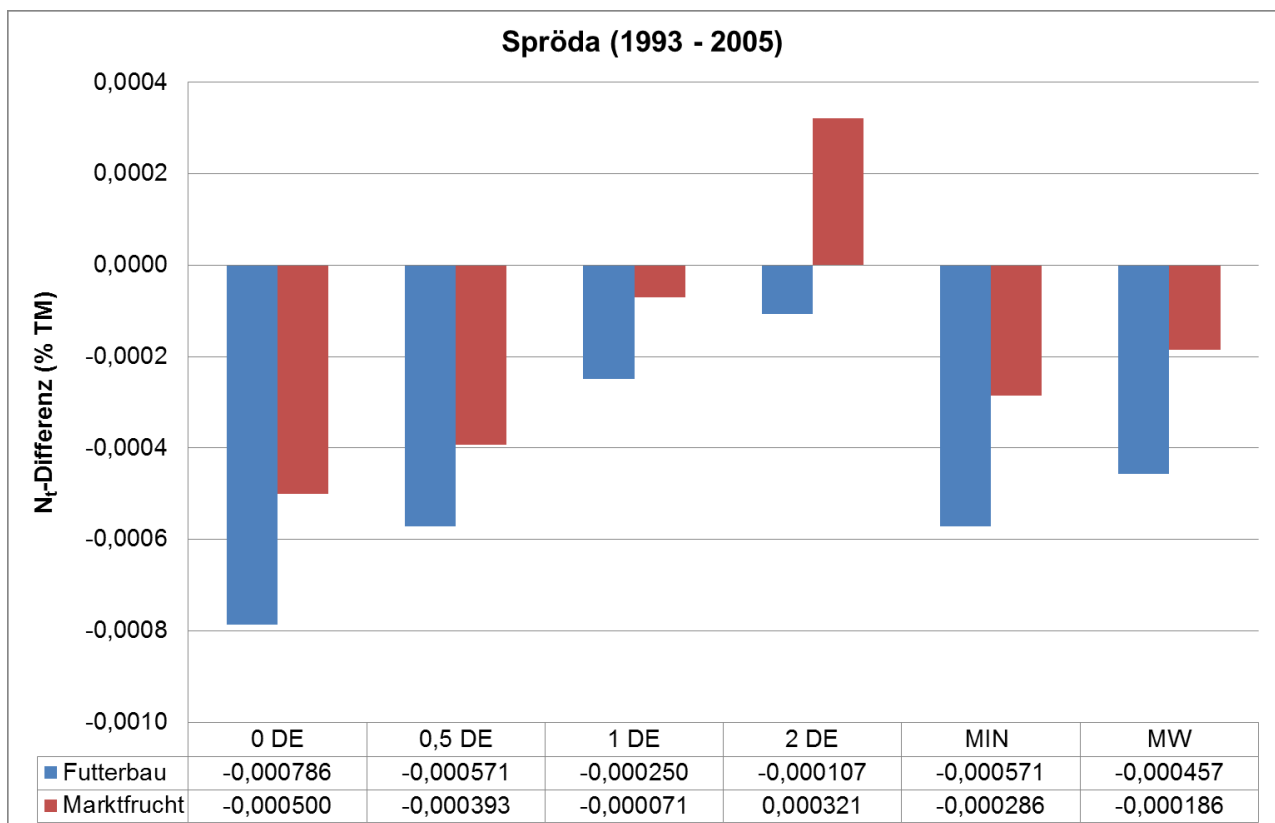
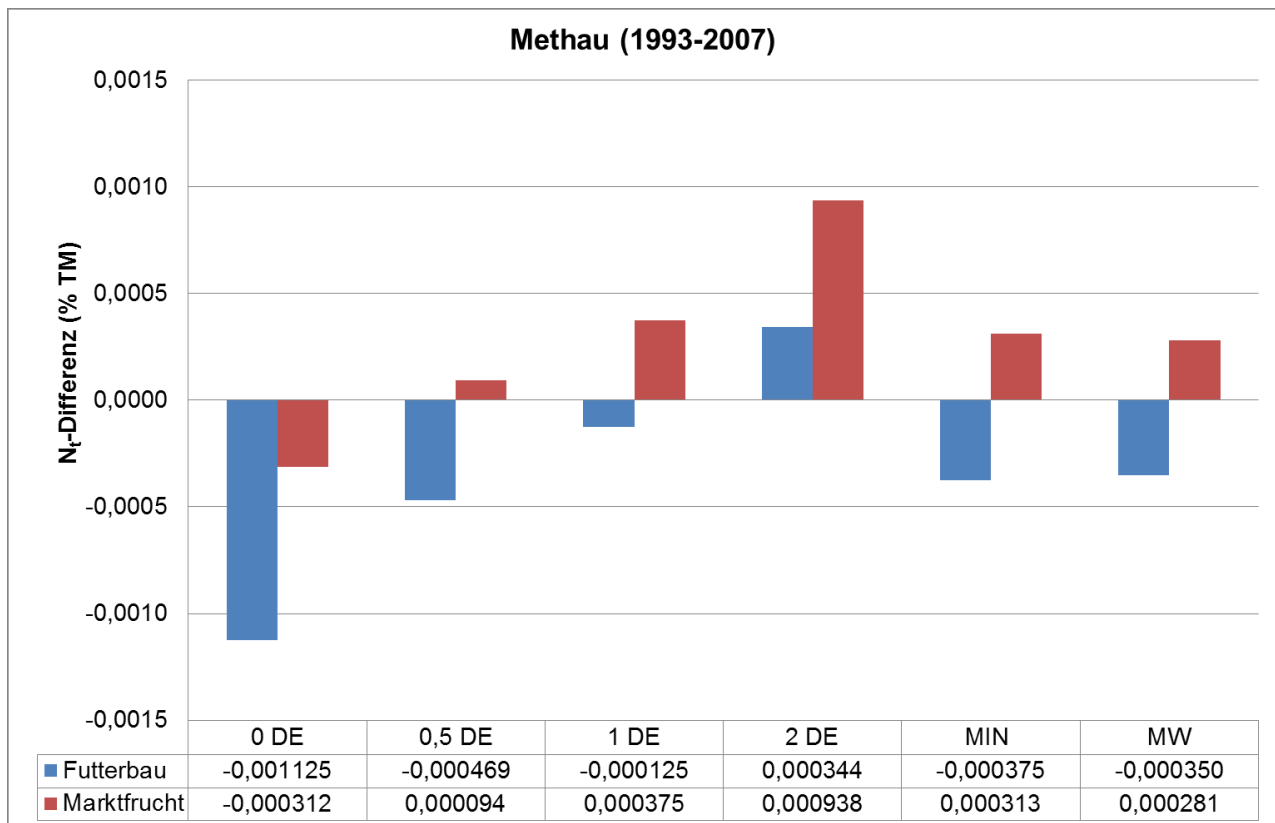


Abbildung 80: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der N_t -Gehalte des Bodens im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Im Durchschnitt der verwendeten Düngemittelarten erfolgte nach stetiger Stalldunganwendung, z.T. auch nach Grüngütdüngung, die geringste Abnahme bzw. sogar ein Anstieg der N-Reserven des Bodens, während die Abnahme in den Gülle- und KAS-Varianten deutlicher ausgefallen ist. Die stärkste Reduzierung der N_t-Gehalte des Bodens wurde in den Versuchsgliedern ohne Düngungsanwendung gefunden (Tabelle 218). Es konnte ungefähr folgende Rangfolge ermittelt werden: Grüngut, Stalldung > Gülle > N-Mineraldüngung > ohne Düngung.

Tabelle 218: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der N_t-Mengen [kg N/ha u. Jahr] im Oberboden im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme am Versuchsort Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
-42,9	2,4	-8,7	-14,3	-39,4	-11,9	-19,1	-28,6
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
-11,9	15,1	20,6	11,9	-25,1	-1,2	-3,6	-14,3

4.5.2 N-Mineralisation und N_{min}-Gehalte des Bodens

Eine wichtige Komponente des Humusumsatzes ist die N-Mineralisation (siehe Kap. 4.7). Da die jährliche Menge an freigesetztem Stickstoff nicht direkt im Boden chemisch-analytisch gemessen werden kann, wurden der Humusumsatz und die N-Mineralisation mit Hilfe des Prozessmodells CCB berechnet. Die hier dokumentierten Werte sind zunächst als maximale Mengen an N-Mineralisation anzusehen, da z.B. Nährstoffverluste bei Ausbringung der Düngemittel sowie auch der rezyklierte N-Anteil im Klee-gras-Glied der Fruchtfolgen nicht berichtet worden sind.

In Folge der stetigen Zufuhren der organischen und mineralischen Dünger sind die Mineralisationsraten auf den Varianten unterschiedlich verändert worden (Abbildung 81). Am Ort Methau waren, ähnlich der Veränderung der C_{org}-Gehalte, alle Varianten von Jahr zu Jahr angestiegen. Auf den Prüfgliedern ohne Zufuhr an zusätzlicher organischer Substanz über die Düngung wurden die geringsten Veränderungen erzielt, mit steigender organischer Düngung haben die Mineralisationsraten deutlich zugenommen. Entsprechend den hohen Zufuhren an organischer Substanz im Marktfruchtssystem durch den Verbleib des Strohaufkommens und der Klee-gras-mulchung auf den Flächen liegen die durchschnittlichen Raten in der N-Mineralisation in den Futterbau-Varianten um 1,4 kg N/ha und in den Marktfrucht-Varianten um 10,9 kg N/ha und Jahr.

Am Anbauort Spröda wurden im Marktfruchtssystem zwischen den Steigerungsvarianten vergleichbare Unterschiede in der jährlichen N-Mineralisation berechnet. Im Durchschnitt lagen die Werte aber mit lediglich 2,5 kg N/ha und Jahr auf deutlich niedrigerem Niveau. Die Zufuhr an organischer Substanz über die Ernte- und Wurzelrückstände der Varianten ohne organische Düngung hat aber bei weitem nicht ausgereicht, um positive N-Mineralisationswerte zu erreichen. Besonders auf diesen Varianten kam es im Laufe des Versuches zu einer Aushagerung an Nährstoffen, so dass die N-Mineralisation durch deutlich negative Werte immer geringer geworden ist. Auch eine hohe organische Düngung hat an diesem leichten Standort nicht ausgereicht, damit die N-Mineralisation sich im Verlauf des Versuches auf einem niedrigen Niveau stabilisieren konnte. Dies ist geschehen, obwohl die Humusgehalte auch in Spröda auf allen Varianten von Jahr zu Jahr angestiegen sind und die N_t-Gehalte sich gleichzeitig z.T. deutlich verringert haben (siehe Abbildung 79 u. Abbildung 80).

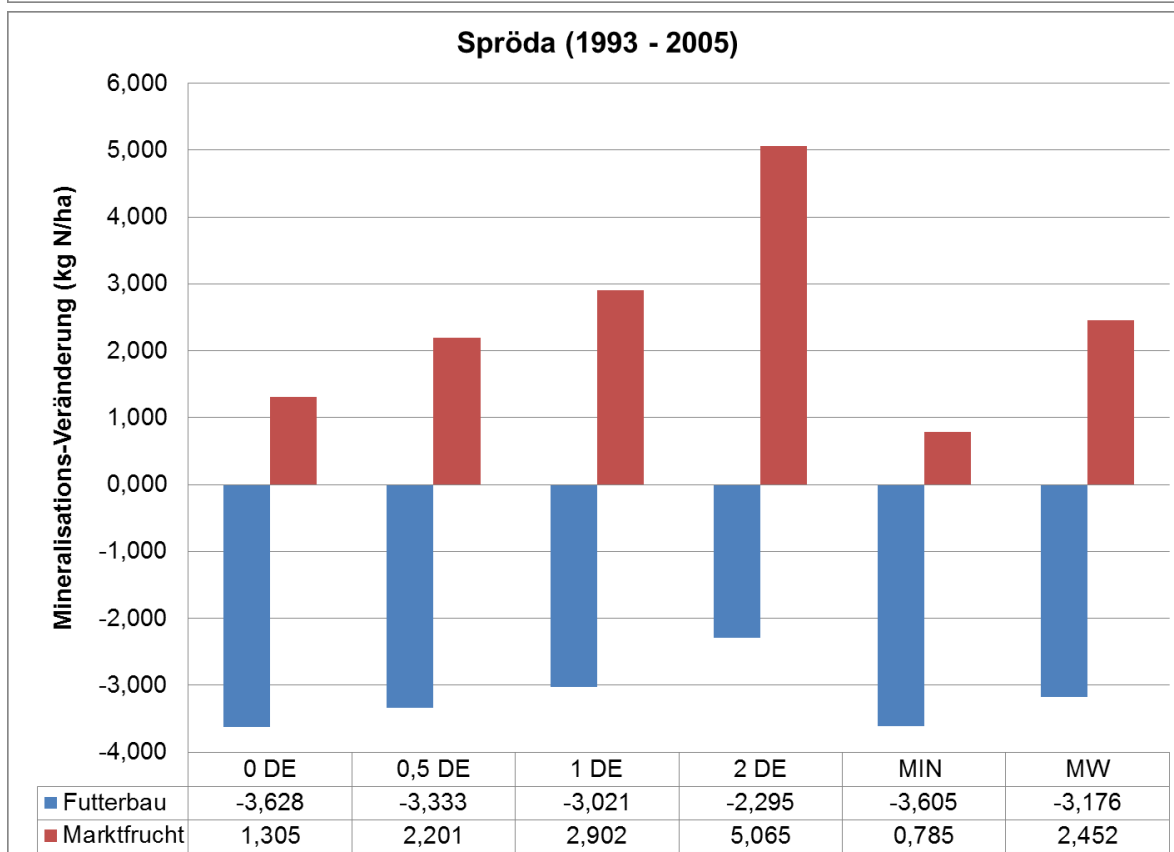
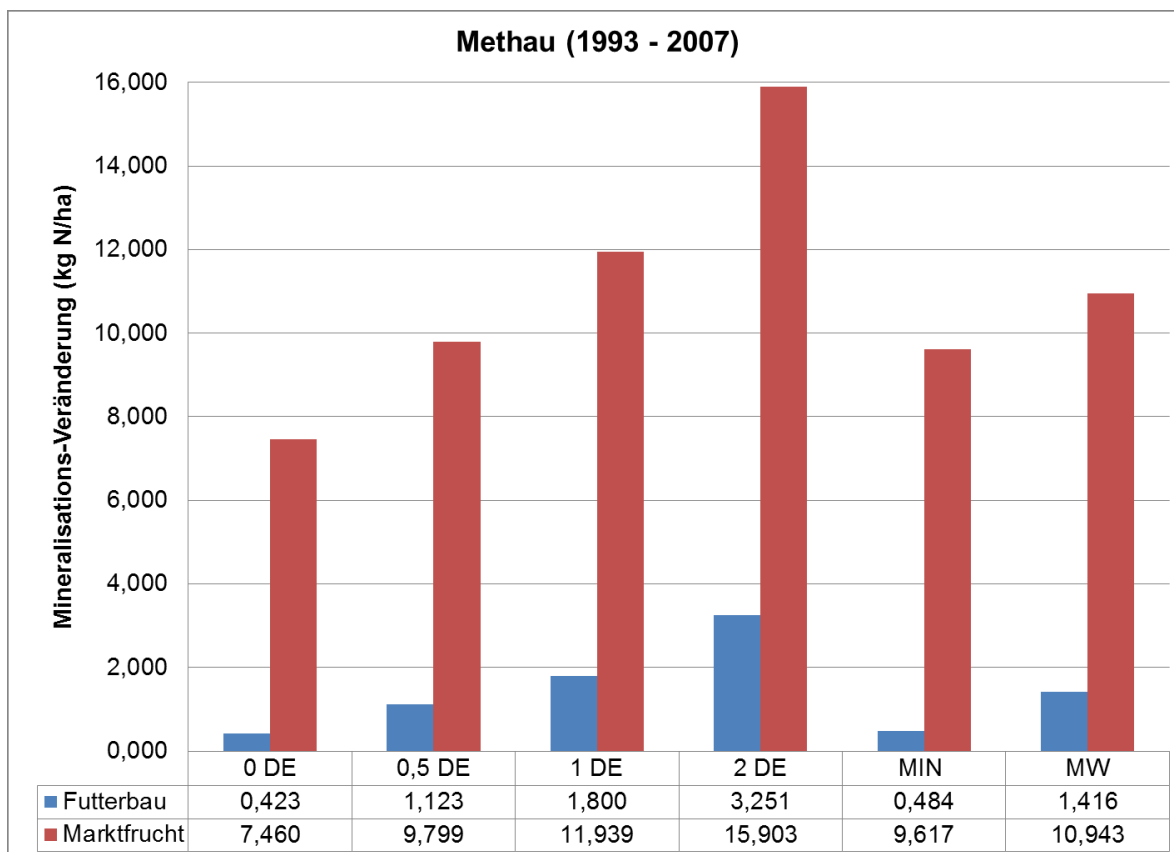


Abbildung 81: Jährliche Veränderung der N-Mineralisation [kg N/ha u. Jahr] im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Beim Vergleich der untersuchten Düngemittel weisen die Varianten ohne Düngung und die N-Mineraldüngung jeweils die niedrigsten Werte in der jährlichen Veränderung der N-Mineralisation auf (Tabelle 219). Die Stallmist- und Grüngutvarianten verfügen über die höchsten Werte und die Güllevarianten liegen zwischen diesen extremen Positionen. Von den organischen Varianten sind die Flächen mit Gülleversorgung durch die geringsten Mineralisationsraten gekennzeichnet. Hieraus kann folgende Rangfolge formuliert werden: Grüngut > Stallung > Gülle > N-Mineraldüngung, ohne Düngung.

Tabelle 219: Jährliche Veränderung der N-Mineralisation [kg N/ha u. Jahr] an den Versuchsorten Methau und Spröda im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme (oben: MW 0,5 – 2,0 DE, unten 2,0 DE/ha)

Methau (1993 – 2007)				Spröda (1993 – 2005)			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,423	3,317 5,440	0,799 1,060	0,484	-3,628	-2,397 -1,381	-3,370 -3,211	-3,605
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
7,460	10,999 13,588	14,093 18,219	9,617	1,305	5,112 8,085	1,655 2,012	0,785

Eine weitere wichtige Stickstoffkomponente stellen die N_{\min} -Gehalte des Bodens dar. In den nachfolgenden berechneten Veränderungsrate wurden die Frühjahrs- und Herbstwerte der N_{\min} -Mengen von 0 – 90 cm Bodentiefe über die gesamte Versuchszeit verwendet. Die geringsten Veränderungen zeigten am Ort Methau die Varianten ohne oder mit nur geringer Zufuhr an organischen Düngern, während die höchsten zeitlichen Veränderungen nach kontinuierlicher hoher organischer Düngung aufgetreten sind. Noch höhere Werte an N_{\min} -Veränderung konnten an beiden Orten jedoch eindeutig durch die Varianten der N-Mineraldüngung ermittelt werden (Abbildung 82 u. Abbildung 83).

Im Vergleich zur zugeführten Gesamt-N-Menge und der berechneten N-Mineralisation fällt bei den N_{\min} -Werten insbesondere des Frühjahrs auf, dass bei den Varianten mit steigender organischer Düngung am Ort Methau nur eine relativ verhaltene jährliche Anreicherung der pflanzenverfügbaren N-Mengen im Boden stattgefunden hat, während im Vergleich hierzu, eine hohe Anreicherung bei stetiger N-Mineraldüngung im Boden zu verzeichnen war. Am Ort Spröda führte dieser Effekt sogar dazu, dass mit steigender Zufuhr von organischen Materialien sowohl nach Düngung und sogar in den Marktfruchtvarianten eine Tendenz zu abnehmenden Werten bei der langfristigen Entwicklung der N_{\min} -Gehalte zu beobachten war. Die starke zeitliche Erhöhung der Werte der Futterbauvarianten fällt besonders nach N-Mineraldüngung am Ort Spröda auf (Abbildung 83).

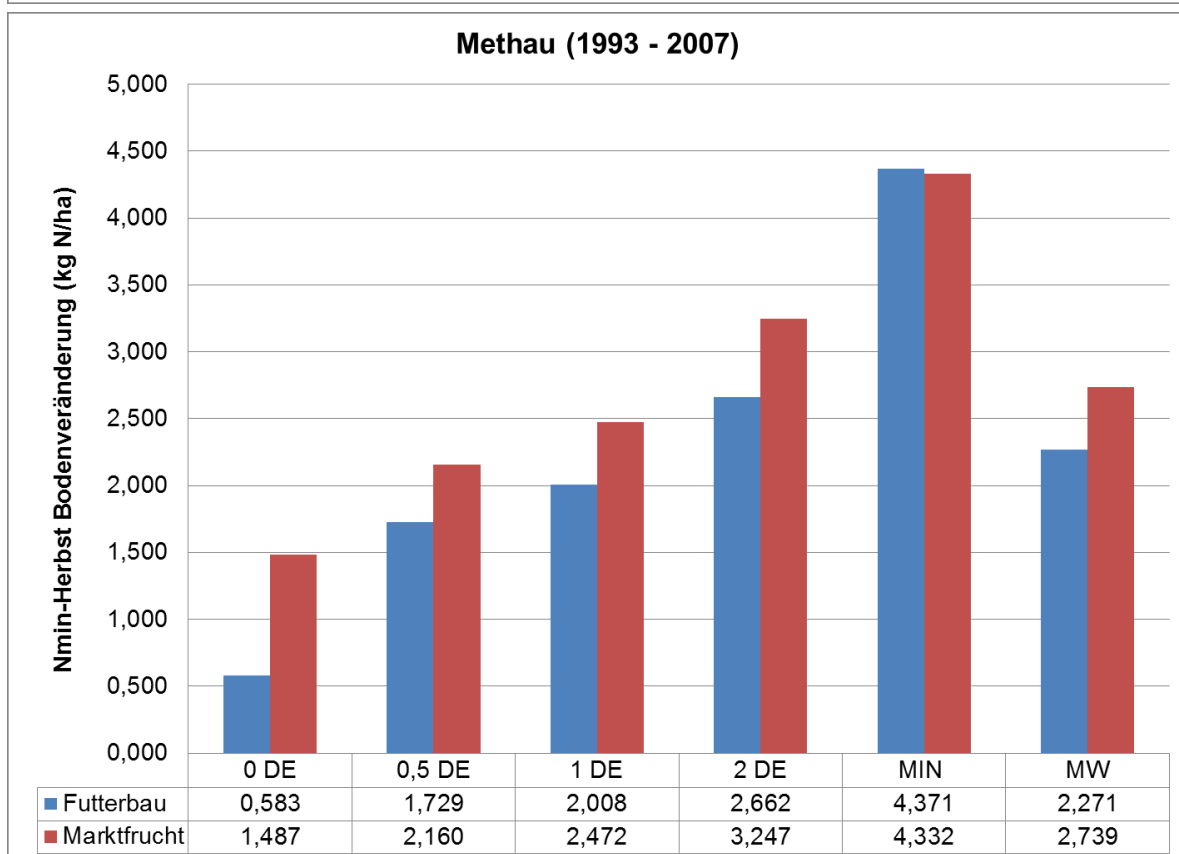
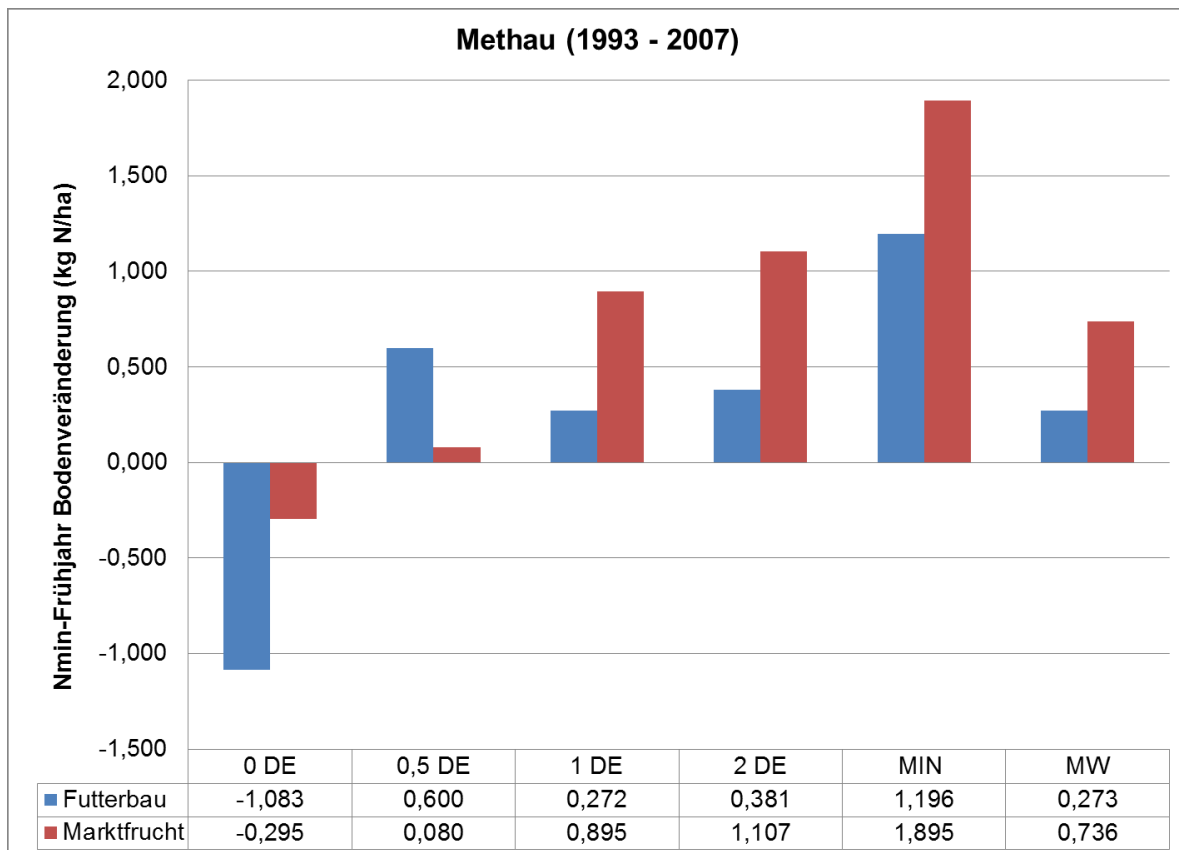


Abbildung 82: Jährliche Veränderung der N_{min}-Gehalte [kg N/ha u. Jahr] im Frühjahr (oben) und im Herbst (unten) im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Methau

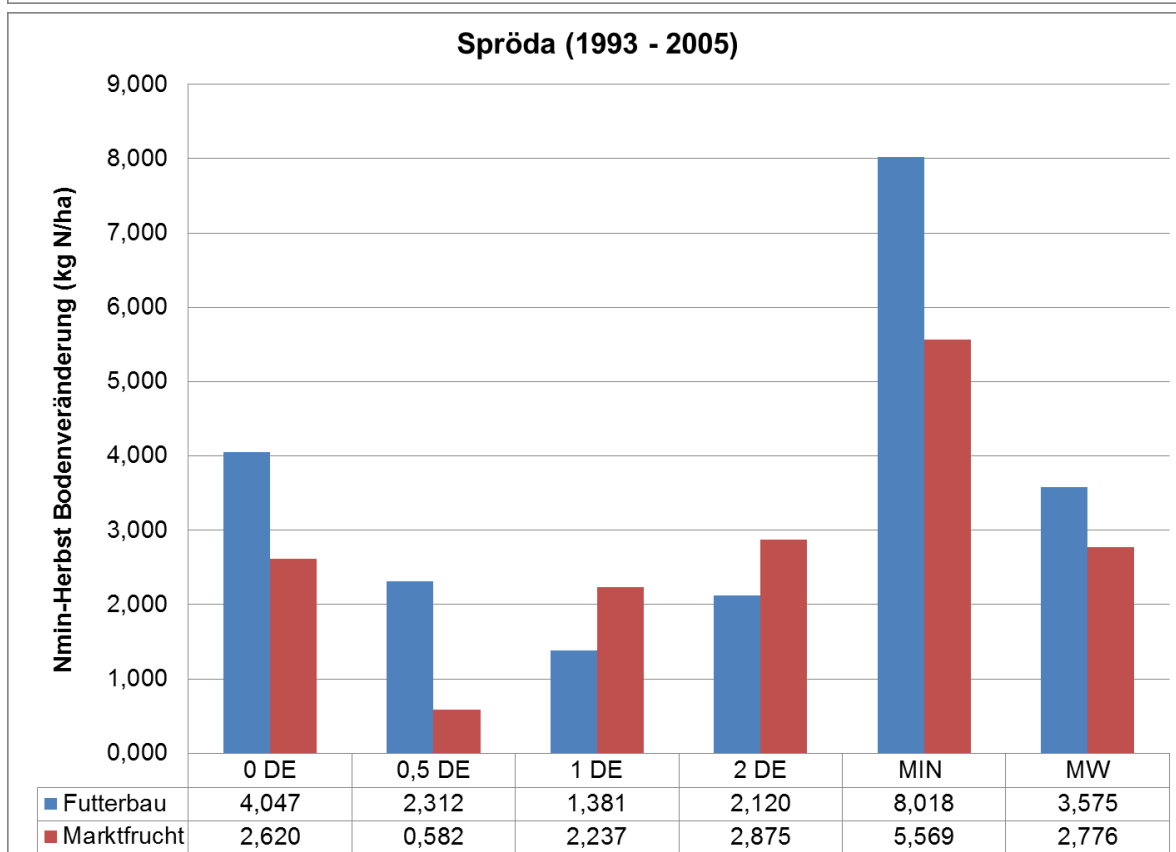
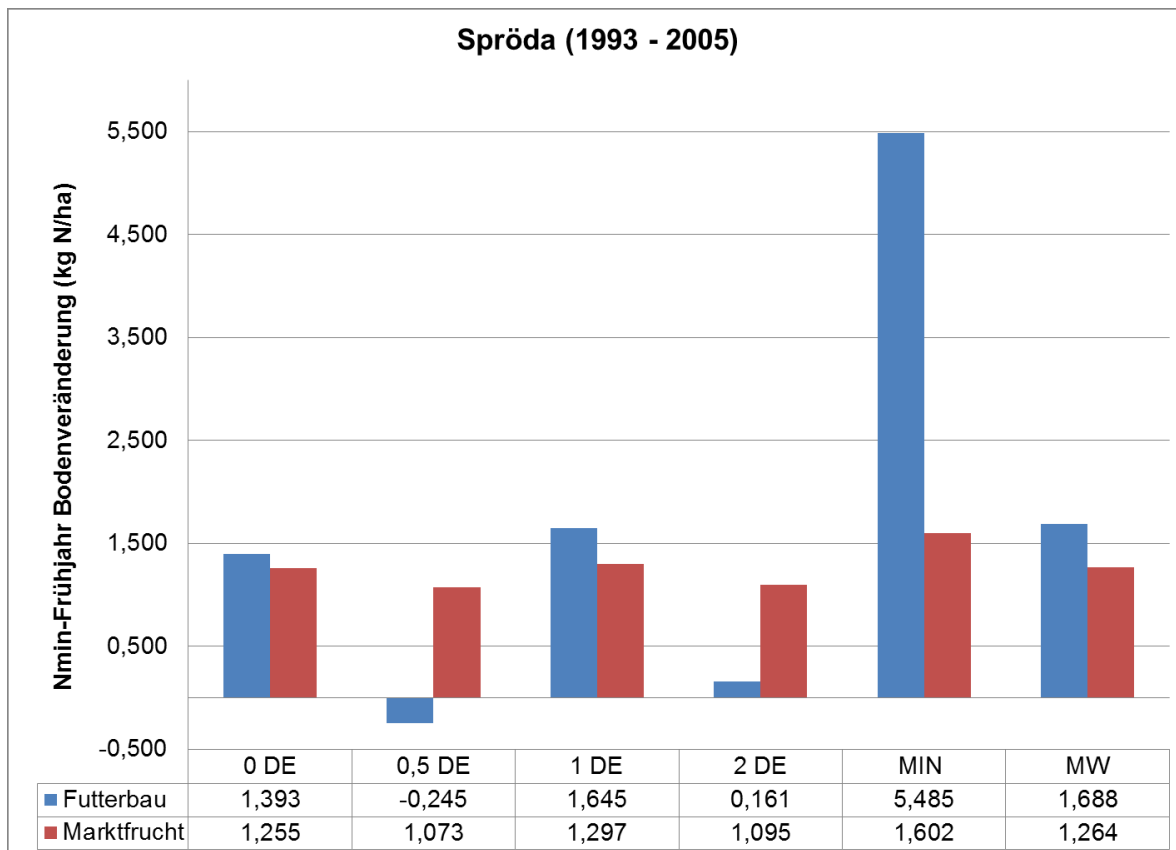


Abbildung 83: Jährliche Veränderung der N_{\min} -Gehalte [kg N/ha u. Jahr] im Frühjahr (oben) und im Herbst (unten) im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Spröda

In Tabelle 220 wurden die entsprechenden Ergebnisse der Frühjahrs- und Herbsttermine der N_{\min} -Veränderung während der Versuchszeiten für die untersuchten Düngemittel zusammengefasst. Zwischen den Varianten können z.T. deutliche Unterschiede in folgender Rangfolge erkannt werden: Stallmist < Gülle < Grüngut < N-Mineraldüngung. Die Varianten ohne Düngung weisen in Methau noch kleinere Veränderungs-raten auf als Stallung und größere Raten als Grüngut in Spröda. Insgesamt sind die Düngemittel, die mit einer erheblichen Trockenmassezufuhr verbunden sind, durch die geringsten Anreicherungs-raten an N_{\min} und die Düngemittel, die ohne zusätzliche TM-Zufuhr versehen sind, durch die höchsten Raten charakterisiert (N-Mineraldüngung).

Tabelle 220: Jährliche Veränderung der N_{\min} -Gehalte [kg N/ha u. Jahr] im Frühjahr (oben) und im Herbst (unten) am Versuchsort Methau und Spröda im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme (oben: MW 0,5 – 2,0 DE, unten 2,0 DE/ha)

Methau (1993 – 2007)				Spröda (1993 – 2005)			
Futterbau-Frühjahr							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
1,083	0,256 0,688	0,219 0,075	1,196	1,393	0,638 0,392	0,402 -0,070	5,485
Marktfrucht-Frühjahr							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
-0,295	0,048 -0,156	1,031 2,368	1,895	1,255	0,699 0,833	1,610 1,419	1,602
Futterbau-Herbst							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,583	2,058 2,093	2,168 2,168	4,371	4,047	1,436 1,528	2,440 2,712	8,440
Marktfrucht-Herbst							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
1,487	1,707 2,374	2,592 3,156	4,332	2,620	2,989 4,047	0,836 1,702	5,569

4.5.3 Phosphat

Die Düngungs- und Anbauregime haben dazu beigetragen, dass sich auch die mit Hilfe von Extraktionsmitteln erfassten Gehalte an löslichen Grundnährstoffen im Boden im Verlauf der Versuchszeit in bedeutendem Maße verändert haben. Die Differenzen zwischen Versuchsbeginn und -ende zeigt am Beispiel der DL-löslichen P-Gehalte des Bodens die Abbildung 84 für beide Versuchsstandorte. Es bestehen Ähnlichkeiten mit den Veränderungen der N_T - und C_{org} -Gehalte des Bodens (vgl. Abbildung 79 u. Abbildung 80), woran die allgemeine große Bedeutung des Humusumsatzes bei der Dynamik der Bodennährstoffe im Ökolandbau erkannt werden kann.

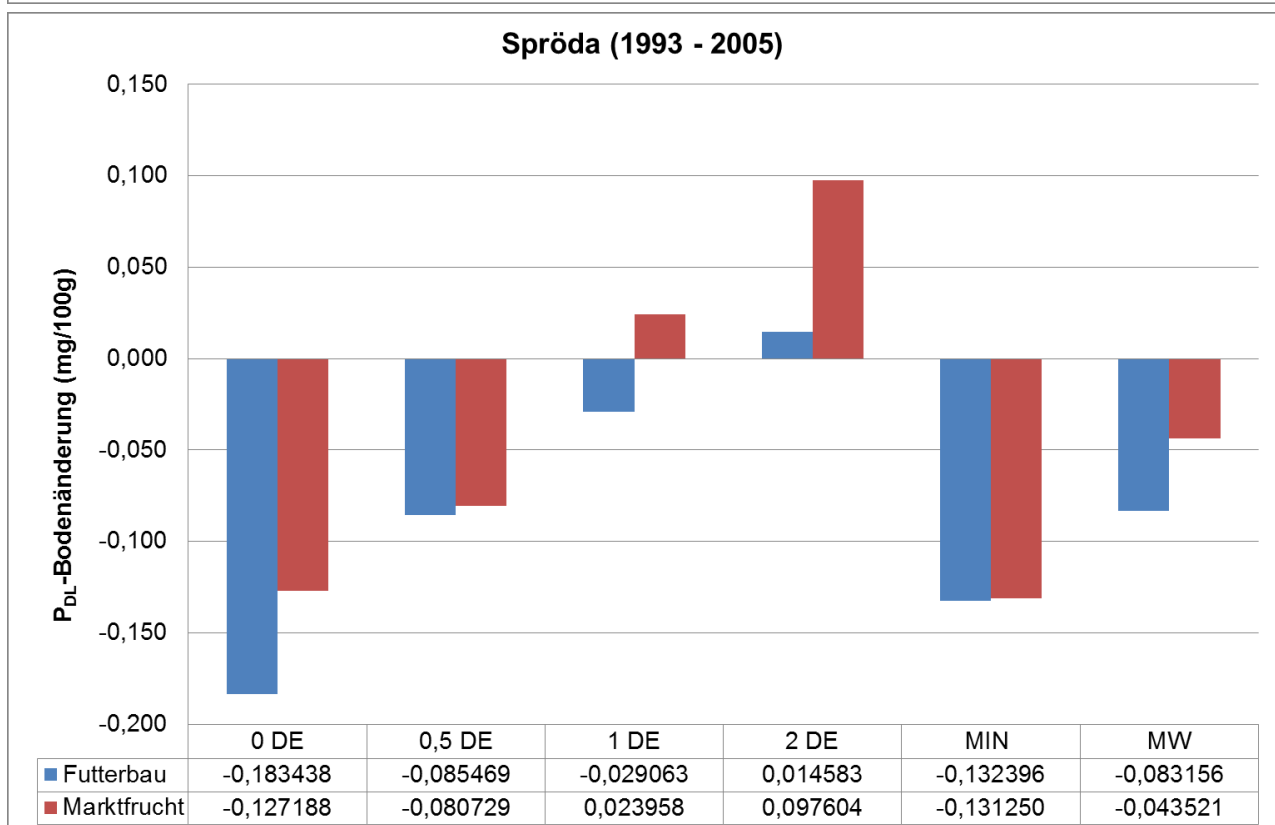
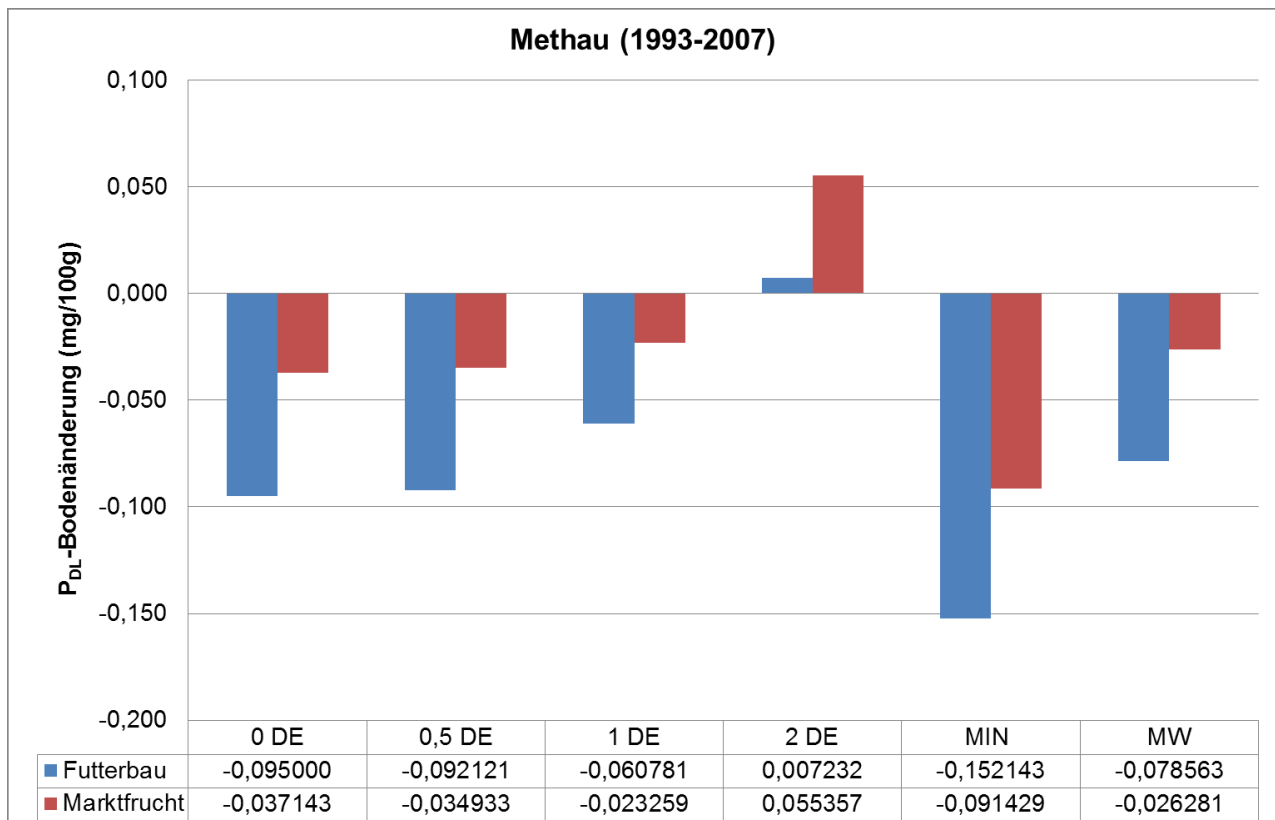


Abbildung 84: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der löslichen P_{DL} -Gehalte im Boden im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

In den Versuchsgliedern der Anbausysteme an beiden Orten sind deutliche Unterschiede in den DL-löslichen P-Gehalten im Boden zu erkennen. In den Varianten ohne Düngung (und der Variante mit singulärer mineralischer N-Düngung) haben die löslichen P-Gehalte des Bodens mit der Zeit dagegen deutlich abgenommen. In den Varianten mit Abfuhr aller Koppelprodukte (Futterbau) ist dieser Prozess wesentlich stärker ausgeprägt als in den Marktfruchtvarianten mit Mulchung und Belassung aller Koppelprodukte auf den Parzellen.

Ebenfalls ist eine deutlichere Abnahme auf dem Sandboden als auf dem schweren Boden in Methau zu erkennen. Mit steigender organischer Düngung erfolgt eine stetige Verringerung der P-Abnahme im Boden bis nach ca. 1 DE/ha Zufuhr das Ausgangsniveau der P-Gehalte am Versuchsanfang erreicht oder bereits überschritten wird. Nach hoher Düngung ist es zu einer jährlichen Zunahme an löslichen P-Gehalten im Boden gekommen, besonders ausgeprägt nach dem Mulchbelassen im Marktfruchtssystem (Abbildung 84).

Auch im Durchschnitt der untersuchten Düngemittel werden deutliche Unterschiede zwischen den Varianten sichtbar (Tabelle 221; 1 mg P/100 g Boden = 38,1 kg P/ha in Methau u. 50,1 kg P/ha in Spröda). Am Ort Methau fallen die P-Gehalte nach KAS-Düngung entsprechend den höheren Entzügen deutlicher ab als in den Varianten ohne Düngung. Nach stetiger Zufuhr von Gülle und Grüngut ist jeweils der Abfall geringer, während nach Stallung bereits ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist. Am Standort Spröda kann der Abfall an löslichem Phosphat im Boden am besten durch Zufuhr von festen und flüssigen organischen Düngern aufgehalten werden. Nach singulärer mineralischer N-Düngung erfolgt ein deutlicher Abfall, während in den Varianten ohne Düngung nur ein noch deutlicherer Abbau der P-Reserven auf den nicht gedüngten Vergleichsparzellen des FB-Systems stattgefunden hat. Die Veränderung der P-Gehalte kann ungefähr nach folgender Rangfolge geordnet werden: Stallung > Gülle > Grüngut > ohne Düngung > N-Mineraldüngung.

Tabelle 221: Jährliche Veränderung der löslichen P-Mengen [kg P/ha] in der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
-3,62	0,07	-3,77	-5,80	-9,19	-2,22	-1,12	-6,63
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
-1,42	1,11	-2,04	-3,48	-6,37	-0,94	2,30	-6,58

4.5.4 Kalium

Auch durch die über die organischen Düngemittel zugeführten K-Mengen kam es zu deutlichen Veränderungen der K_{DL} -Gehalte des Bodens im Verlauf der Versuchsjahre an beiden Versuchsorten. Wiederum waren die Veränderungen am Ort Spröda z.T. deutlich größer als auf dem bindigeren Lößboden in Methau (Abbildung 85). Durch die erheblichen Abfuhrungen auf den Futterbauvarianten nahm der lösliche K-Gehalt in Methau auf allen Varianten ab, besonders nach keiner oder nur geringer Düngung. Auf den Marktfruchtvarianten erfolgten insgesamt z.T. deutlich geringere Abnahmen (Spröda) oder auch eine ebenso deutliche jährliche Zunahme der K-Gehalte des Bodens. Ansteigende K-Gehalte waren sogar auf Parzellen ohne Düngung und besonders in Folge steigender Düngung zu beobachten (Versuchsort Methau).

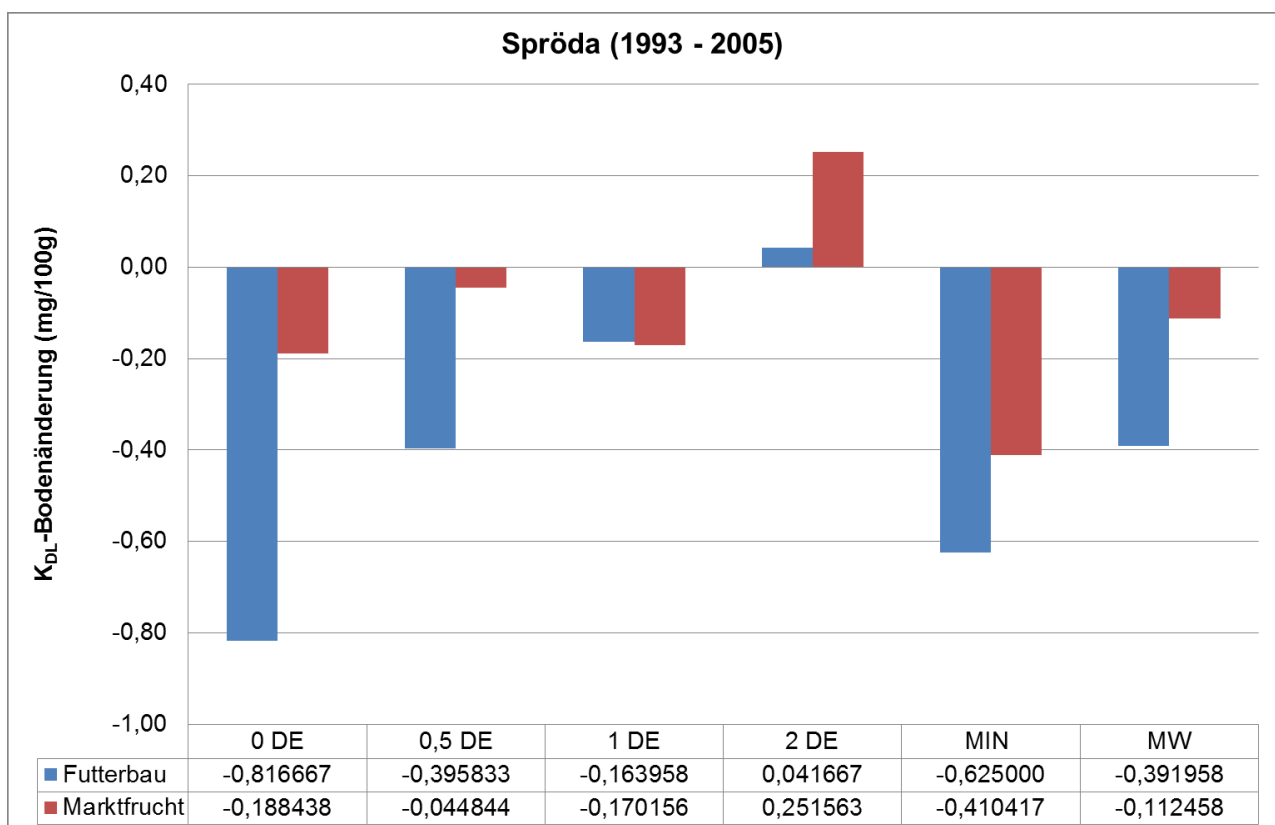
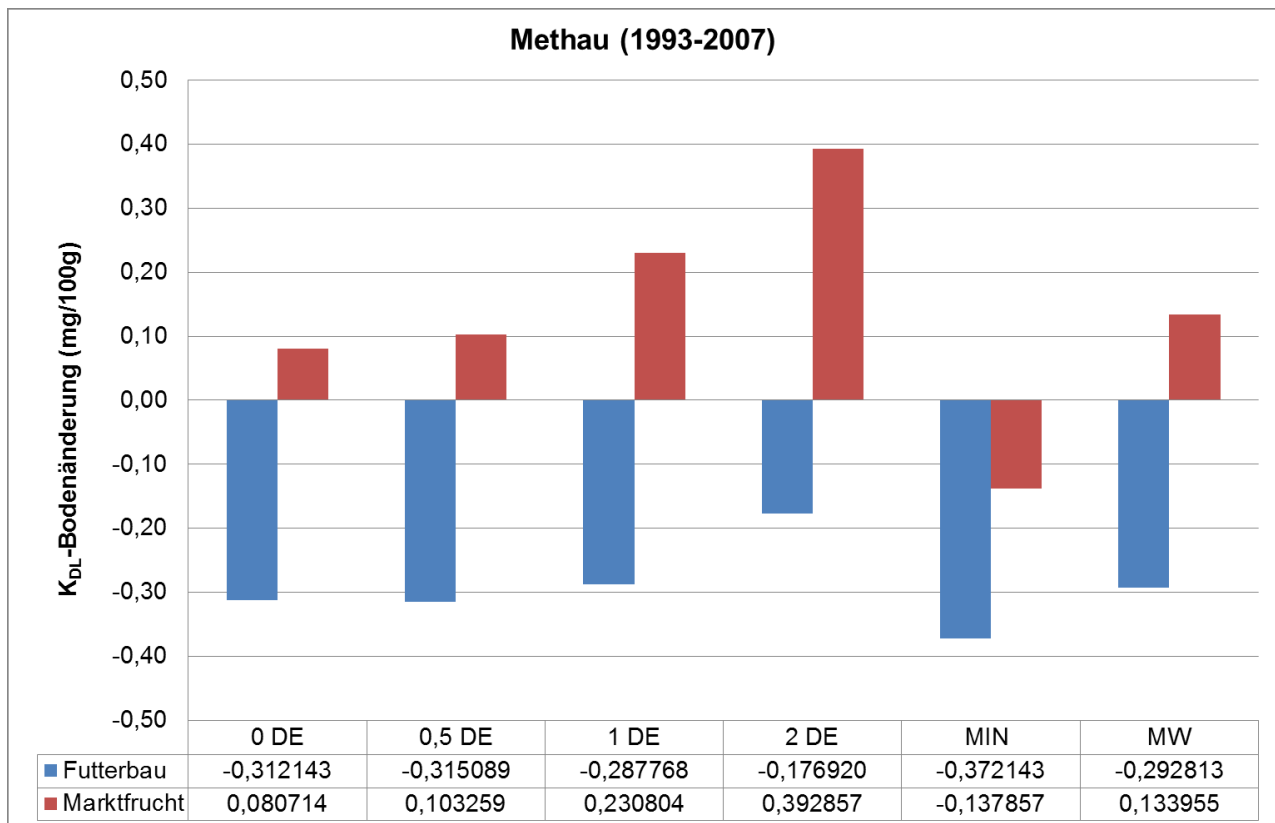


Abbildung 85: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der löslichen K_{DL} -Gehalte im Boden im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Besonders auf den Varianten ohne organische Düngung des Marktfruchtensystems wurde der Abfall der K_{DL} -Werte des Bodens deutlich aufgehalten. Für diese unterschiedliche Entwicklung dürfte der K-Gehalt der Aufwüchse (Klee gras, Stroh) im Vergleich zu den hohen K-Abfuhr der Futterbauvarianten verantwortlich sein. Bei den Nährstoffen Phosphor und Magnesium waren keine so großen Unterschiede zwischen den Systemen Futterbau und Marktfrucht aufgetreten (vgl. Abbildung 84, Abbildung 85 u. Abbildung 86). Auch im Vergleich zum Humus- und Stickstoff-Gehalt werden beim Nährstoff Kalium die größten Unterschiede festgestellt (vgl. Abbildung 79, Abbildung 80 u. Abbildung 85).

Aus Tabelle 222 können die berechneten Mengen an Kalium auf Basis der verabreichten Düngemittelarten miteinander verglichen werden. Zunächst ist nochmals die deutliche Differenz zwischen Futterbau- und Marktfrucht-Systemen zu entnehmen. Die stärkste Abnahme der K-Werte der Ackerkrume erfolgte in den Versuchsgliedern ohne Düngung, den KAS-Varianten und in abgeschwächter Form nach der Güllezufuhr. Deutlich geringere Verluste bzw. sogar ein Anstieg der löslichen K-Gehalte des Bodens ist durch die stetige Grüngut- und Stallungszufuhr entsprechend den unterschiedlichen K-Salden zu verzeichnen. Folgende Rangfolge wurde etabliert: Stallung > Grüngut > Gülle > ohne Düngung > N-Mineraldüngung.

Tabelle 222: Jährliche Veränderung der löslichen K-Mengen [kg K/ha] in der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
-11,9	-8,1	-11,7	-14,2	-40,9	-6,5	-10,8	-31,3
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
3,1	11,8	6,7	-5,3	-9,4	3,6	-2,4	-20,6

4.5.5 Magnesium

Bei den $CaCl_2$ -löslichen Mg-Gehalten des Bodens erfolgte ebenfalls durch die beschriebenen Anbauverfahren eine deutliche Differenzierung. Hierbei fanden z.T. größere Veränderungen der Mg-Gehalte am Ort Methau als am Vergleichsstandort Spröda statt, besonders in Folge der mineralischen N-Düngung der Variante MIN (Abbildung 86). Die positiven Auswirkungen der Marktfruchtvarianten sind ebenfalls am Ort Methau etwas stärker ausgeprägt. Mit steigender organischer Düngung ist der Abfall der Mg-Gehalte geringer geworden und nach sehr hoher Düngung wird auch ein jährlicher Anstieg der Mg-Werte des Bodens an beiden Orten erreicht.

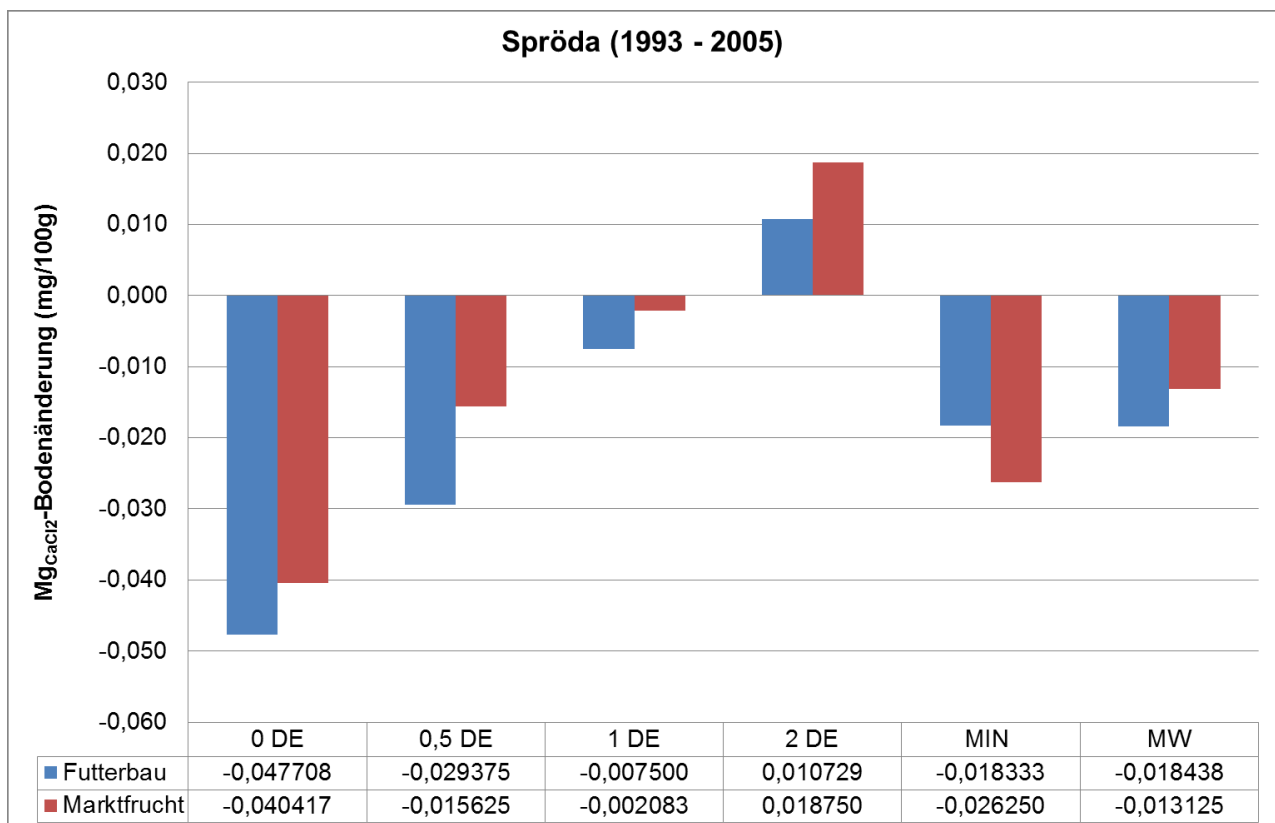
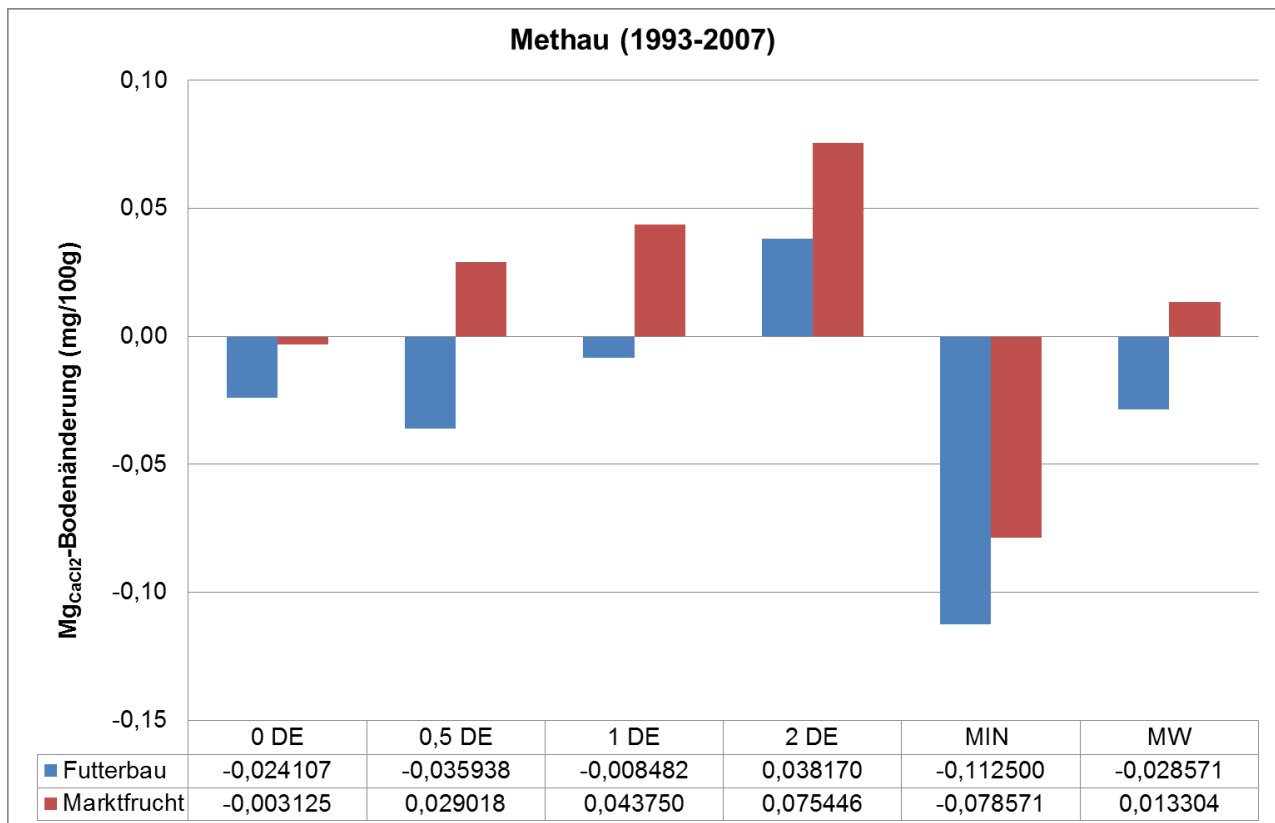


Abbildung 86: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der löslichen Mg_{CaCl_2} -Gehalte im Boden im Futterbau- und Marktfruchtssystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Im Durchschnitt der verabreichten Düngemittel waren ebenfalls ähnliche Unterschiede zwischen den Varianten zu verzeichnen (Tabelle 223). Die größte Verringerung der Werte wurde ohne Düngung und mit Kalkammonsalpeter in beiden Anbausystemen erzielt. Eine Anreicherung an Magnesium konnte am besten durch Einsatz von Stalldung und Grüngut erreicht werden. Es wurde folgende Rangfolge zwischen den Düngemitteln ermittelt: Stalldung > Grüngut > Gülle > ohne Düngung, N-Mineraldüngung.

Tabelle 223: Jährliche Veränderung der löslichen Mg-Mengen [kg Mg/ha] in der Ackerkrume unter Berücksichtigung der Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
-0,92	0,49	-0,65	-4,29	-2,39	-0,88	0,00	-0,92
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
-0,12	4,03	-0,27	-2,99	-2,02	1,23	-1,19	-1,32

4.5.6 Mögliche Ursachen für die Veränderung der Fruchtartenerträge

GE-Erträge

Die Auswertung der ermittelten GE-Erträge im Laufe der Versuchszeit ergaben ebenfalls deutliche zeitliche Veränderungen (Abbildung 87, siehe auch Kap. 4.1.2). Hierzu wurden die Varianten der GE-Erträge der Fruchtarten in der zeitlichen Reihenfolge des Anbaus in den Versuchen geordnet und die durchschnittlichen Effekte, die mit der linearen Regressionsanalyse ermittelt worden sind, miteinander verglichen. In den Versuchen am Ort Methau reichte das Nährstoffversorgungsniveau der ungedüngten Futterbauvarianten gerade aus, um das Ertragsniveau in etwa auf gleich hohem Niveau zu halten. Am Ort Spröda ist das nur auf den Varianten gelungen, auf denen alle Koppelprodukte der Marktfruchtvarianten auf den Flächen verblieben sind.

Mit steigender organischer Düngung konnte das Ertragsniveau am Ort Methau von Stufe zu Stufe um jährlich größer werdende Beträge angehoben werden, auf den Marktfruchtflächen deutlicher als auf den Futterbauflächen. Auch in Folge fortgesetzter N-Mineraldüngung konnten die Erträge angehoben werden. In Spröda war das Nährstoffversorgungsniveau auf den Futterbauflächen so gering, so dass die durchschnittlichen GE-Erträge besonders auf den ungedüngten Flächen abgefallen sind. Auch durch eine stetige hohe organische Düngung konnte der Ertragsabfall lediglich abgemildert aber nicht aufgehoben werden. Durch die N-Mineraldüngung war der jährliche Ertragsabfall besonders deutlich ausgeprägt (Abbildung 87).

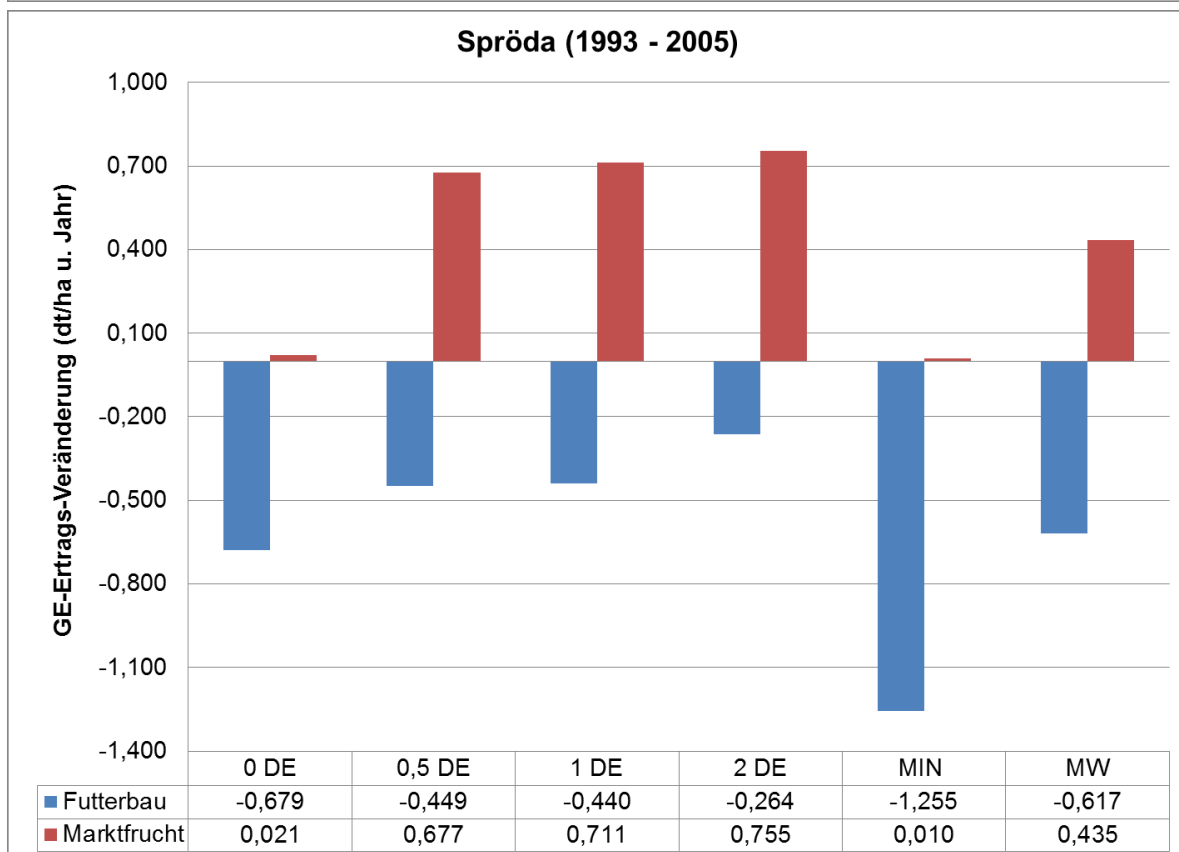
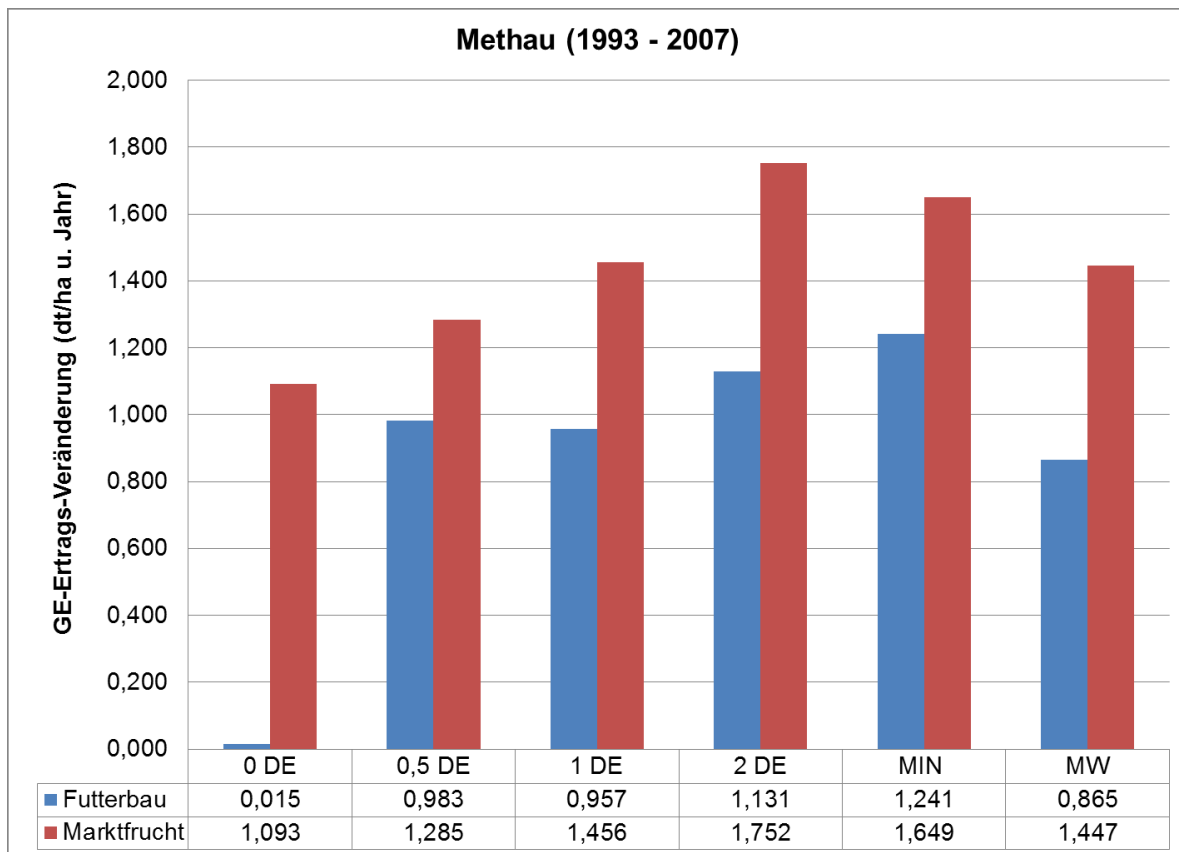


Abbildung 87: Einfluss der Zufuhr von organischen Materialien auf die jährliche Veränderung der GE-Erträge der angebauten Fruchtarten [dt/ha u. Jahr] im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Die Analyse der verabreichten Düngemittel führte ebenfalls zu deutlichen Unterschieden in der Veränderung der Erträge im Verlauf der Feldversuche (Tabelle 224). Am Ort Methau kam es durch fortgesetzte N-Mineraldüngung zu den höchsten Veränderungsrate der Fruchtarten, auf den Varianten ohne Düngung wurden die geringsten Veränderungen registriert. Es konnte ungefähr folgende Rangfolge zwischen den Düngemitteln ermittelt werden: N-Mineraldüngung > Grüngut > Stallung > Gülle > ohne Düngung.

Am Ort Spröda haben die Erträge zwischen den Anbausystemen deutlich unterschiedlich reagiert. Hier waren die Flächen mit N-Mineraldüngung und die nicht gedüngten Flächen durch die geringsten Ertragsveränderungen charakterisiert. Es konnte ungefähr folgende Rangfolge ermittelt werden: Stallung > Gülle > Grüngut > ohne Düngung > N-Mineraldüngung.

Tabelle 224: Jährliche Veränderung der GE-Gesamterträge der Fruchtarten [dt/ha u. Jahr] am Versuchsort Methau und Spröda im Durchschnitt der Düngemittelarten und Anbausysteme (oben: MW 0,5 – 2,0 DE, unten 2,0 DE/ha)

Methau (1993 – 2007)				Spröda 1993 – 2005)			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
0,015	1,125 1,186	0,921 1,075	1,241	-0,679	-0,253 -0,117	-0,517 -0,412	-1,278
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
1,093	1,425 1,703	1,569 1,800	1,649	0,021	0,395 0,426	1,033 1,084	0,010

Korrelationsmatrix

Um die Ursachen für die systematischen Veränderungen der Erträge im Verlauf der Versuche zu ergründen, können statistische Korrelationsanalysen hilfreich sein. In den nachfolgenden Berechnungen wurde zunächst für jeden Standort eine Korrelationsmatrix über die möglichen oben beschriebenen Einflussgrößen und den GE-Erträgen der angebauten Fruchtarten erstellt (Tabelle 225; Methau n = 48 – 90, Spröda n = 36 – 78). An den gelb markierten Werten wird deutlich, dass nur einige bedeutende Merkmalspaare miteinander korreliert sind, die zudem an beiden Orten übereinstimmen: GE-Ertrag : N-Mineralisation, GE-Ertrag : P_{DL}-Gehalt, N_{min}-Frühjahr : N-Mineralisation, N-Mineralisation : C_{org}-Gehalt, C_{org}-Gehalt : N_t-Gehalt, P_{DL}-Gehalt : K_{DL}-Gehalt.

Aus diesen Kombinationen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass bei steigenden C_{org}-Gehalten in den Versuchen auch die N_t-Gehalte des Humus angestiegen sind. Auf Grund der höheren Humusgehalte haben sich auch an beiden Standorten die Werte der N-Mineralisation vergrößert. Gleichzeitig ist aber an beiden Orten die N-Mineralisation negativ mit der Entwicklung der N_{min}-Gehalte im Frühjahr verbunden. Mit steigender organischer Düngung haben sich besonders am Ort Spröda die N_{min}-Werte im Frühjahr nicht parallel entwickelt. Durch die in den Versuchen bestimmte, deutlich positive Entwicklung der N-Mineralisation sind auch die GE-Erträge kontinuierlich an beiden Orten angestiegen.

Tabelle 225: Korrelationsmatrix [r] zwischen den ermittelten jährlichen Veränderungen an GE-Erträgen der Fruchtarten und den Bodenmerkmalen an den Standorten Methau und Spröda

	GE-Ertrag	N _{min} -Frühjahr	N _{min} -Herbst	N-Mineralisation	C _{org} -Gehalt	N _t -Gehalt	P _{DL} -Gehalt	K _{DL} -Gehalt	Mg _{CaCl2} -Gehalt
Methau									
GE-Ertrag	-	-0,175	0,017	0,544***	0,058	-0,259*	-0,306*	-0,176	0,454***
N _{min} -Frühjahr		-	0,697***	-0,504***	-0,404**	-0,134	-0,071	0,007	0,187
N _{min} -Herbst			-	-0,261*	0,183	-0,178	-0,244(*)	-0,046	0,316*
N-Mineralisation				-	0,406***	0,039	-0,092	0,130	0,410***
C _{org} -Gehalt					-	0,292*	0,094	0,120	-0,008
N _t -Gehalt						-	0,162	0,040	-0,003
P _{DL} -Gehalt							-	0,341**	-0,497***
K _{DL} -Gehalt								-	0,179
Mg _{CaCl2} -Gehalt									-
Spröda									
GE-Ertrag	-	-0,301*	0,169	0,327**	0,352**	0,462***	-0,282(*)	-0,118	0,039
N _{min} -Frühjahr		-	0,092	-0,275*	0,126	-0,444***	0,066	0,168	-0,146
N _{min} -Herbst			-	-0,161	-0,278*	-0,265(*)	-0,163	0,277(*)	0,021
N-Mineralisation				-	0,273*	0,016	0,236	-0,220	-0,217
C _{org} -Gehalt					-	0,557***	-0,180	-0,418**	-0,602***
N _t -Gehalt						-	-0,087	-0,173	-0,090
P _{DL} -Gehalt							-	0,483***	0,327*
K _{DL} -Gehalt								-	0,620***
Mg _{CaCl2} -Gehalt									-

*** = übereinstimmende signifikante Korrelation; ** = gegensätzliche signifikante Korrelation

Partielle Korrelationsanalyse

Die Einfachkorrelationen zwischen jeweils zwei Merkmalen werden oft durch weitere Merkmale beeinflusst. Derartige Beziehungen können durch die Anwendung der partiellen Korrelationsanalyse einer statistischen Prüfung unterzogen werden. Im konkreten Fall wurden aus den Einfachkorrelationen zwischen bestimmten Einflussfaktoren und den GE-Erträgen als Zielmerkmal-Kombinationen unter Einbeziehung eines oder mehrerer Kontrollmerkmale partielle Korrelationen berechnet (Tabelle 226).

Neben vielen einzelnen Ergebnissen können aus den dargestellten Berechnungen einige wichtige Erkenntnisse abgeleitet werden, die mehr allgemeingültig und im Prinzip für beide Standorte zutreffen. So kann eindeutig abgeleitet werden, dass für die Ertragsbildung von den dargestellten Einflussfaktoren im Wesentlichen nur die berechnete N-Mineralisation entscheidend ist. Das Korrelationsmaß konnte an beiden Standorten nicht durch andere Einflussgrößen so stark verringert werden, so dass keine Signifikanz mehr vorlag.

Der Humusumsatz und die daraus ermittelte N-Mineralisation kann somit für die Bedingungen im Ökolandbau als entscheidende Größe für die Ertragsbildung der Fruchtarten angesehen werden. Andere Merkmale, wie die N_{\min} -Gehalte im Frühjahr können z.B. unter den Bedingungen des leichten Bodens in Spröda einer gewissen Bedeutung zukommen, wie aus den Ergebnissen abgeleitet werden kann (Verringerung der Korrelation zwischen Ertrag und N-Mineralisation). Der N_t -Gehalt weist ebenfalls in Spröda eine höhere Bedeutung auf, da die Korrelation durch keinen weiteren Einflussfaktor entscheidend abgeschwächt werden konnte.

Es ist aber zu bedenken, dass die Mineralisation ja aus dem Umsatz der organischen Substanz getätigt wird, wobei natürlich der N-Gehalt ein wichtiges Maß darstellt, so dass eine gewisse Bedeutung dem N_t -Gehalt oder z.B. auch den C_{org} -Gehalten des Bodens zukommt. Die Korrelationen dieser Faktoren und auch die der anderen geprüften Merkmale wiesen aber keine gleichgerichtete Stabilität oder Signifikanz zwischen den beiden Standorten auf, so dass im Wesentlichen nur die N-Mineralisation als bedeutendes Merkmal zur Bestimmung der Ertragsbildung übrig geblieben ist.

Tabelle 226: Partielle Korrelationsanalysen [r] zwischen der Veränderung der GE-Erträge und der Gehalte mit Bodennährstoffen am Standort Methau und Spröda

Zielmerkmale:	GE-Ertrag	N-Mineralisation	N _{min} -Frühjahr	N _{min} -Herbst	C _{org} -Gehalt	N _t -Gehalt	P _{DL} -Gehalt
		0,544***	-0,175	0,017	0,058	-0,259*	-0,306*

Methau

Kontrollmerkmale:	N-Mineralisation	N _{min} -Frühjahr	N _{min} -Herbst	C _{org} -Gehalt	N _t -Gehalt	P _{DL} -Gehalt	K _{DL} -Gehalt	Mg _{CaCl2} -Gehalt	Alle gleichzeitig
N-Mineralisation	-	0,137	0,197*	-0,211*	-0,334**	-0,307**			
N _{min} -Frühjahr	0,536***	-	0,198*	-0,013	-0,289**	-0,325**			
N _{min} -Herbst	0,568***	-0,261**	-	0,057	-0,260*	-0,312**			
C _{org} -Gehalt	0,570***	-0,165	0,007	-	-0,289**	-0,314*			
N _t -Gehalt	0,574***	-0,219*	-0,030	0,146	-	-0,277*			
P _{DL} -Gehalt	0,544***	-0,207	-0,062	0,093	-0,223	-			
K _{DL} -Gehalt	0,580***	-0,176	0,010	0,082	-0,256*	-0,266*			
Mg _{CaCl2} -Gehalt	0,440***	-0,297*	-0,149	0,071	-0,289*	-0,104			
Alle gleichzeitig	0,353*	-	-	-	-	-			

Zielmerkmale:	GE-Ertrag	N-Mineralisation	N _{min} -Frühjahr	N _{min} -Herbst	C _{org} -Gehalt	N _t -Gehalt	P _{DL} -Gehalt
		0,327**	-0,301*	0,169	0,352**	0,462***	-0,282

Spröda

Kontrollmerkmale:	N-Mineralisation	N _{min} -Frühjahr	N _{min} -Herbst	C _{org} -Gehalt	N _t -Gehalt	P _{DL} -Gehalt	K _{DL} -Gehalt	Mg _{CaCl2} -Gehalt	Alle gleichzeitig
N-Mineralisation	-	-0,233*	0,237*	0,283*	0,480***	-0,391**			
N _{min} -Frühjahr	0,266*	-	0,207*	0,411**	0,381**	-0,276			
N _{min} -Herbst	0,364***	-0,323**	-	0,421**	0,530***	-0,262*			
C _{org} -Gehalt	0,251*	-0,372**	0,296*	-	0,339**	-0,238			
N _t -Gehalt	0,360**	-0,123	0,339**	0,130	-	-0,274*			
P _{DL} -Gehalt	0,422**	-0,295*	0,130	0,319*	0,455**	-			
K _{DL} -Gehalt	0,311*	-0,288*	0,211	0,335*	0,448**	-0,259*			
Mg _{CaCl2} -Gehalt	0,344**	-0,299*	0,168	0,470**	0,465**	-0,312*			
Alle gleichzeitig	0,507**	-	-	-	-	-			

Nicht signifikant = Korrelation mit Zielmerkmal oder unter Einbeziehung des Kontrollmerkmals nicht signifikant

Als weitere Möglichkeit zur Begründung von wichtigen Einflussgrößen zur Bestimmung der Veränderung der Erträge der Fruchtarten können durch die Anwendung der multiplen Regressionsanalyse begründet werden, um die erlangten Ergebnisse der partiellen Korrelationen abzurunden. Hierzu wurden für beide Standorte vereinfachte Analysen unter Verwendung der linearen Glieder der Einflussfaktoren zur Ertragsberechnung ohne Nennung der Dimensionen durchgeführt:

■ **Standort Methau (R^2 -Summe: 0,774***):**

GE-Ertrag = 159,77	+0,189 x N-Mineralisation	R^2 :	0,403***
	-497,64 x N_t -Gehalt	R^2 -Differenz:	+0,227***
	-4,425 x K_{DL} -Gehalt	R^2 -Differenz	+0,078***
	+11,48 x P_{DL} -Gehalt	R^2 -Differenz	+0,039***
	-43,246 x C_{org} -Gehalt	R^2 -Differenz	+0,025***.

■ **Standort Spröda (R^2 -Summe: 0,619***):**

GE-Ertrag = -51,786	+335,90 x N_t -Gehalt	R^2 :	0,330***
	+0,103 x N-Mineralisation	R^2 -Differenz	+0,140***
	+0,132 x N_{min} -Gehalt Herbst	R^2 -Differenz	+0,085***
	+59,53 x C_{org} -Gehalt	R^2 -Differenz	+0,064***.

Diesen statistischen Gleichungen kommt zwar keine praktische Bedeutung zu, daher werden sie auch nur als dimensionslose Zahlenwerte genannt, sie zeigen jedoch nochmals wichtige Einflussgrößen auf. In wesentlichen Teilen können durch diese vereinfachten Regressionsanalysen die oben ausführlicher behandelten Ergebnisse der partiellen Korrelationsanalyse bestätigen werden. Als wichtige Einflussfaktoren an beiden Standorten sind die N-Mineralisation und die N_t -Gehalte des Bodens für die Ertragsbestimmung anzusehen.

4.6 Relationen zwischen Salden und der Bodenveränderung an Nährstoffen sowie Strategien zur Verbesserung der Aussagefähigkeit der Nährstoffbilanzierung im Marktfruchtsystem

Auch die Form der Brutto-Bilanzierung weist bestimmte Nachteile auf, die in diesem Kapitel zunächst aufgezeigt werden sollen. Darüber hinaus werden Mittel und Wege aufgeführt, um diese Bilanzierungsformen zu erweitern, so dass einerseits der Einfluss der untersuchten Faktoren der Düngung und Anbauformen möglichst quantitativ aufgeklärt und dargestellt werden kann und andererseits zwischen den schließlich erhaltenen Nährstoffsalden und den ermittelbaren reaktiven Nährstoff-Restanteilen des Bodens eine möglichst gute Übereinstimmung besteht.

Wie die bisherigen Ergebnisse aufgezeigt haben, ist es grundsätzlich möglich, durch Zuführung von Düngemitteln und entsprechender Ausrichtung der Anbauverfahren eine Veränderung der Nährstoffgehalte im Boden zu erreichen. Da aber die Pflanzen zugleich ebenfalls die z.B. im Rahmen des Humusumsatzes freiwerdenden Nährstoffe im Boden für ihr Wachstum verwenden, haben Vergleichsuntersuchungen gezeigt, dass nicht die zugeführte Nährstoffmenge, sondern der Nährstoffsaldo ein sehr vorteilhaftes Merkmal darstellt, um die Veränderung der Nährstoffgehalte im Boden genau zu beschreiben (KOLBE & KÖHLER, 2008; KOLBE, 2010).

In diesem Kapitel stehen daher insbesondere die Zufuhrhöhe an organischen Materialien durch verschiedene Düngemittel sowie die Unterschiede zwischen dem Futterbau- und Marktfruchtsystem im Vordergrund der Betrachtungen. Die ermittelten Beziehungen zwischen den Nährstoffsalden und der zeitlichen Bodenveränderungen auch im Tiefenprofil sollten möglichst quantitativ erklärt werden können. Damit eine möglichst genaue Beschreibung der Zusammenhänge erfolgen kann, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- gleichwertig berücksichtigt wird. Daher wurden die Ergebnisse zur Bilanzierung für die folgenden Auswertungen nicht entsprechend einer (theoretischen) Fruchtfolge, sondern genau entsprechend der Abfolge der Fruchtarten verwendet und schließlich als Mittelwerte je Versuchsjahr ausgewiesen (siehe Kap. 4.4). Die Erfassung von Zusammenhängen in Form von chronologischen Prozessen bekommt daher eine höhere Bedeutung.
- Die zeitliche Veränderung der Gehalte an Nährstoffen im Boden und anderen Komponenten musste ebenfalls sehr sorgfältig ermittelt werden (siehe Kap. 4.5). Dafür war es auch erforderlich, die zeitliche Veränderung der organischen Substanz des Oberbodens genau zu erfassen, da sie im Mittelpunkt des Umsetzungsprozesses steht (siehe vorausgehendes Kapitel).
- Zur Verbesserung der Bilanzierungsformen sollten möglichst alle Zufuhren und Abfuhren incl. der Veränderungen im Oberboden, im Tiefenprofil sowie weiterer Komponenten erfasst werden. Dies wird in den nachfolgenden Auswertungen nach folgendem Muster durchgeführt: zunächst Ermittlung der Salden ohne Berücksichtigung der Bodenänderung und weiteren Komponenten, dann schrittweise unter Einbeziehung der zusätzlich ermittelten nicht reaktiven Nährstoff-Komponenten. Als Zielstellung sollte schließlich eine gute Übereinstimmung zwischen der Höhe der berechneten Nährstoffsalden und den überwiegend reaktiven Restkomponenten (im Wesentlichen bestehend aus N_{\min^-} , Auswaschungsmengen und anderen Verlustgrößen) erstellt werden können.

4.6.1 Stickstoff

Wie die Ergebnisse zeigen, haben sowohl die Anbausysteme als auch die sehr differenzierte organische Düngung in deutlicher Weise auf die C_{org} - und die N_{t} -Gehalte des Bodens im Verlauf der Versuchszeit eingewirkt. Als Ursache für die Ergebnisse muss für das C_{org} -Merkmal die Zufuhr an organischen Materialien angesehen werden. Für die Veränderung der N_{t} -Gehalte des Bodens ist darüber hinaus aber auch die Zufuhr an Stickstoff von Bedeutung. Nach Abzug der N-Entzüge über die Ernten ist die Menge an Stickstoff hierbei von besonderem Interesse, die bei Betrachtung größerer Zeiträume in potenziell reaktiver Form im Boden verbleibt. Bei der Nährstoffbilanzierung wird angenommen, dass dieser Anteil im Saldo enthalten ist.

In Abhängigkeit von dem verwendeten Bilanzierungstyp zeigen die ermittelten Saldo-Beträge die Mengen an Nährstoffen auf, die in den untersuchten Systemen nicht mehr verwendet werden und somit in den erreichten Nährstoffeffizienzen ausgewiesen werden als die Anteile, die gewöhnlich als Verluste (Atmosphäre, Auswaschung) beschrieben werden (siehe z.B. KOLBE, 2000). Bei den ausgewiesenen Nährstoffbilanzen handelt es sich aber meistens um keine Gesamtbilanzen, weil bestimmte Bilanzkomponenten (absichtlich) nicht erfasst oder schlecht quantifiziert werden können.

Diese Bilanzierungsformen entsprechen in der sog. Bruttobilanzierung den Mindestanforderungen (s. vorausgehendes Kap. 4.4). Die auf Grundlage dieser aus den experimentell ermittelten Daten berechneten N-Salden werden nun zunächst in Form einer Regression den eingetretenen zeitlichen Bodenveränderungen an Nährstoffen gegenübergestellt. Als herausragendes Ergebnis kann an beiden Versuchsorten hierdurch zunächst die Wirkung der verschiedenen organischen Düngemittel quantitativ ausgewiesen werden. So bestehen zwischen der Höhe der N-Salden und der Veränderung dieses Nährstoffs im Boden an beiden Versuchsorten sehr enge statistische Beziehungen (Abbildung 88). Für Ergebnisse aus Feldversuchen ist die Enge der statistischen Beziehungen zwischen den Salden und der Bodenänderung bemerkenswert. Es ist deutlich zu erkennen, dass zwischen den untersuchten Düngemittelarten keine abweichenden Relationen zu finden sind.

Die mittleren N-Salden liegen hierbei an beiden Orten ungefähr zwischen 40 – 150 kg N/ha und Jahr. Am Standort Methau sind negative und z.T. auch deutlich positive Veränderungen der N_{t} -Gehalte im Durchschnitt

der Versuchsjahre zu erkennen. Am Ort Spröda wurden auch negative und positive N_t -Veränderungen im Boden ermittelt. Inhaltlich gleiche Ergebnisse werden auch zwischen der Gegenüberstellung der C_{org} -Veränderung des Bodens und den N-Salden erzielt (ohne Darstellung).

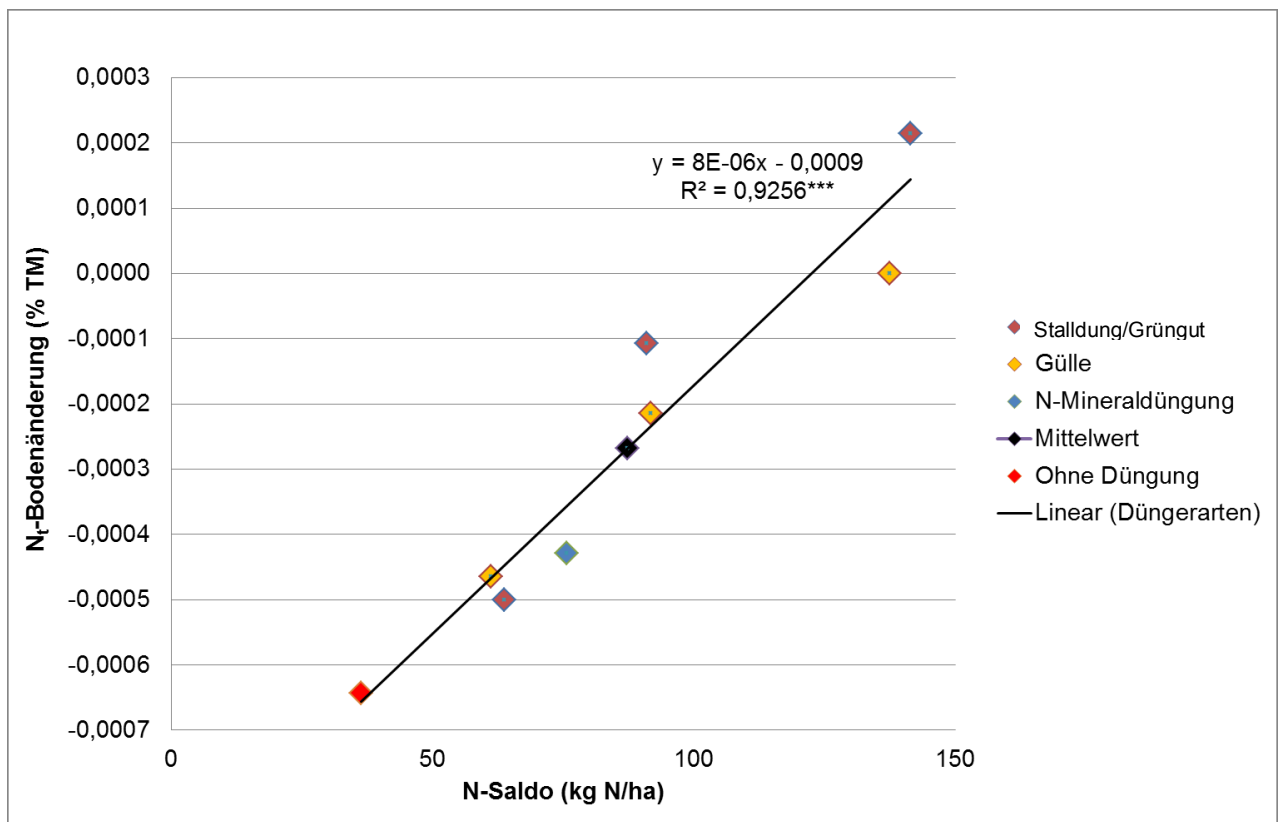
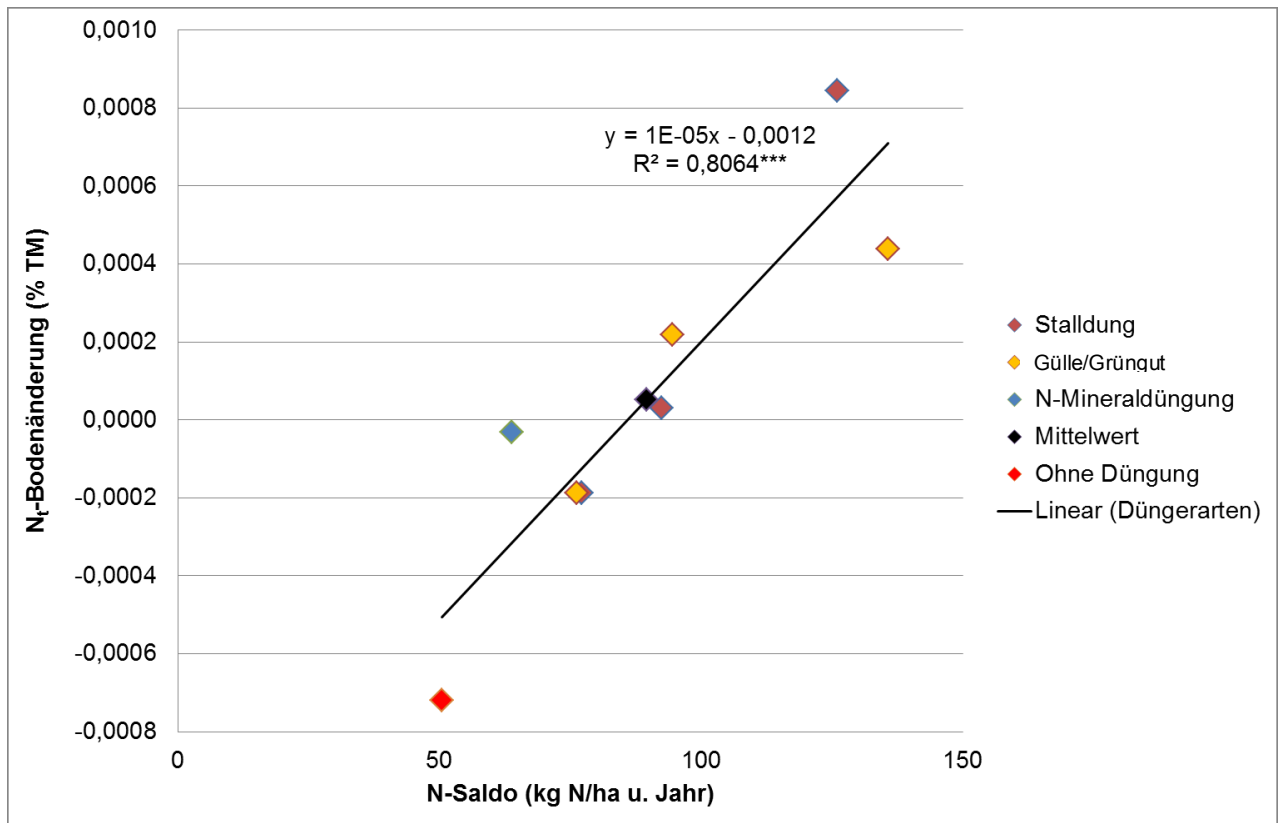


Abbildung 88: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Stickstoff (brutto) und der jährlichen Veränderung der N_t -Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Mit steigendem N-Saldo nehmen die N_T -Gehalte des Bodens an beiden Versuchsorten in charakteristischer Weise zu, bzw. negative Werte werden in annähernd linearer Form verringert. Diese Veränderungen treten weitgehend unabhängig von dem gewählten organischen Düngemittel auf. Nach Umrechnung der N_T -Gehalte in Mengen erfolgt am Ort Methau entsprechend einer Erhöhung des N-Saldos um 50 kg N/ha eine N_T -Bodenveränderung um 27 kg N/ha. Nach diesem Ergebnis wird etwas über 54 % des Saldo-Stickstoffs zwischenzeitlich in den N_T -Bodenfonds eingebaut. Am Ort Spröda dagegen wurden die N_T -Veränderungen lediglich um 19 kg N/ha verringert, was einer Verwertung von 38 % entspricht.

Auch andere Merkmale stehen in enger Beziehung zu den N-Salden der Versuchsflächen, die hier noch kurz genannt werden sollen. Das trifft besonders für die Veränderung der C_{org} -Gehalte bzw. der C_{org} -Mengen des Bodens und der mit Hilfe des Modells CCB berechneten Werte in der N-Mineralisation des Bodens zu:

■ **Beziehung N-Saldo (x, kg N/ha) und C_{org} -Veränderung (y, % TM je Jahr) :**

Methau: $y = 1E - 0,4x + 0,0016$ ($r = 0,737^*$)

Spröda: $y = 7E - 0,5x + 0,0001$ ($r = 0,969^{***}$)

■ **Beziehung N-Saldo (x, kg N/ha) und N-Mineralisations-Veränderung (y, kg N/ha u. Jahr):**

Methau: $y = 0,0695x + 0,4054$ ($r = 0,997^{***}$)

Spröda: $y = 0,0255x - 2,4295$ ($r = 0,883^{***}$).

Zwischen den N-Salden und der Entwicklung der N_{min} -Gehalte des Bodens konnten keine signifikanten Relationen gebildet werden, da neben deutlichen Standortunterschieden insbesondere die Varianten der N-Mineraldüngung eine deutlich abweichende Veränderung der N_{min} -Werte im Vergleich zu den Prüfgliedern mit organischen Düngemitteln zeigten.

In der aufgeführten Weise können in weiteren Arbeitsschritten Bilanzierungskomponenten quantitativ ermittelt werden, um sie dann auch in der Bilanzrechnung zu berücksichtigen. Durch diese weiteren erklärten Saldo-Anteile können die bisherigen Salden dann korrigiert und verbessert werden. Für den Nährstoff Stickstoff kann es so gelingen, neben der Ermittlung realistischer Saldomengen, die Aussagefähigkeit des Saldos zur Charakterisierung des reaktiven Rest-Stickstoffs zu verbessern. Ein erster Schritt hierzu war die Einbeziehung weiterer Zufuhren, wie z. B. der N-Deposition, um einen sogen. Bruttosaldo zu erhalten (siehe Kap. 4.4). Ein weiterer Schritt stellt die Einbeziehung der experimentell ermittelten (siehe Kap. 4.5) oder von berechneten N_T -Bodensalden in die Nährstoffbilanzierung dar.

Findet z.B. eine Abreicherung durch negative N_T -Änderungswerte statt, dann müssen sie den bisherigen Salden hinzugezogen werden, wodurch z.B. deutlich negative Salden verkleinert oder positive Salden eine weitere Erhöhung erfahren können. Hierdurch würde der reaktive N-Anteil entsprechend ansteigen. Haben sich die N_T -Bodenreserven durch positive N_T -Salden erhöht, kommt das einer Reduktion des reaktiv wirksamen Stickstoffs gleich. Diese Beträge können dann vom erlangten N-Saldo abgezogen werden.

Als weiteres Beispiel zur Anwendung dieser Vorgehensweise soll an dieser Stelle der Versuch unternommen werden, die stark unterschiedlichen Nährstoffsalden zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht einer Klärung zuzuführen, um die Aussagefähigkeit der Bilanzierungsergebnisse zu erhöhen (siehe Kap. 4.4). Nach diesen Ergebnissen führt insbesondere das hohe Mulchaufkommen in den Marktfruchtvarianten, in denen diese Aufwüchse nicht von der Fläche entfernt werden, zu z.T. exorbitant hohen Nährstoffsalden, obwohl offenbar keine derartig bedeutende Umweltgefährdung damit verbunden ist (siehe Arbeiten zur ersten Phase der Versuchsauswertungen insbesondere am Standort Spröda von BECKMANN et al. 2001, 2002).

Für die nachfolgenden Auswertungen wurde das Datenmaterial wieder nach den beiden Anbausystemen aufgeteilt. Zunächst wird als Ausgangsbasis eine Gegenüberstellung der Veränderung der C_{org} - und N_t -Gehalte des Bodens in Relation zu den experimentell ermittelten N-Schlagsalden der Anbausysteme dargestellt. Wie aus Abbildung 89 hervorgeht, werden statistisch sehr enge Regressionsbeziehungen zwischen den N-Salden und den Veränderungen der C_{org} -Gehalte des Bodens an beiden Orten vorgefunden. In Bezug auf die N-Salden findet entsprechend den ausgewiesenen Gleichungen eine etwas deutlichere Veränderung der C_{org} -Gehalte auf den Versuchsflächen des Standortes Methau statt. In Spröda liegt die C_{org} -Anreicherung je Einheit N-Saldo um ca. 20 % niedriger. So erfolgt im FB-System am Ort Methau durch einen Saldo-Unterschied von 50 kg N/ha und Jahr mit umgerechnet 225 kg C_{org} /ha eine höhere C_{org} -Veränderung als am Ort Spröda mit 174 kg C_{org} /ha und Jahr.

Der Anstieg im C_{org} -Gehalt ist auf den Futterbauflächen nur geringfügig höher als auf den Marktfruchtflächen. Im Allgemeinen verlaufen beide Steigungen (b) der Regressionsgleichungen weitgehend parallel, allerdings auf deutlich unterschiedlichem Niveau der ausgewiesenen N-Salden. An beiden Orten liegen die N-Salden auf den Marktfruchtssystemen zwischen 75 kg (Spröda) und 128 kg/ha in Methau höher als in den vergleichbaren Futterbausystemen. Durch das Mulchen auf den Marktfruchtflächen ist an beiden Orten eine z.T. deutlich höhere C_{org} -Anreicherung erfolgt als auf den Futterbauflächen. Da aber der N-Saldenbereich auf den Marktfruchtflächen höher liegt, bestehen deutliche Unterschiede zwischen den beiden ausgewiesenen statistischen Gleichungen.

Diese Diskrepanz zwischen den ausgewiesenen Gleichungen besteht auch bei Gegenüberstellung der N-Salden mit den Veränderungen in den N_t -Gehalten des Bodens an beiden Versuchsorten (Abbildung 90). Am Standort Spröda ist wiederum ein etwas geringerer Abstand zwischen den beiden Gleichungen zu erkennen. Die Effizienz der Veränderung der N_t -Gehalte des Bodens durch steigende N-Salden ist am Ort Spröda deutlich geringer. In Folge ansteigender N-Salden werden daher am Ort Methau ungefähr 52 % des zusätzlichen Stickstoffs in den Humuspool des Bodens eingelagert und damit aus dem reaktiven Bereich in eine zwischenzeitlich stabile Form überführt. Im Versuchsboden des Ortes Spröda beträgt dieser Anteil lediglich zwischen 32 – 44 % des zusätzlich verfügbaren Stickstoffs. Diese Aussage trifft unabhängig davon zu, ob der N_t -Gehalt des Bodens z.B. durch die Futterbauvarianten abgenommen oder durch die Marktfruchtvarianten weitgehend zugenommen hat. Die in Abbildung 90 dargestellte Gegenüberstellung zwischen den N-Bruttosalden und den N_t -Bodenänderungen wurden als Ausgangslage für die nachfolgenden Kalkulationen zur Verbesserung der N-Salden angesehen.

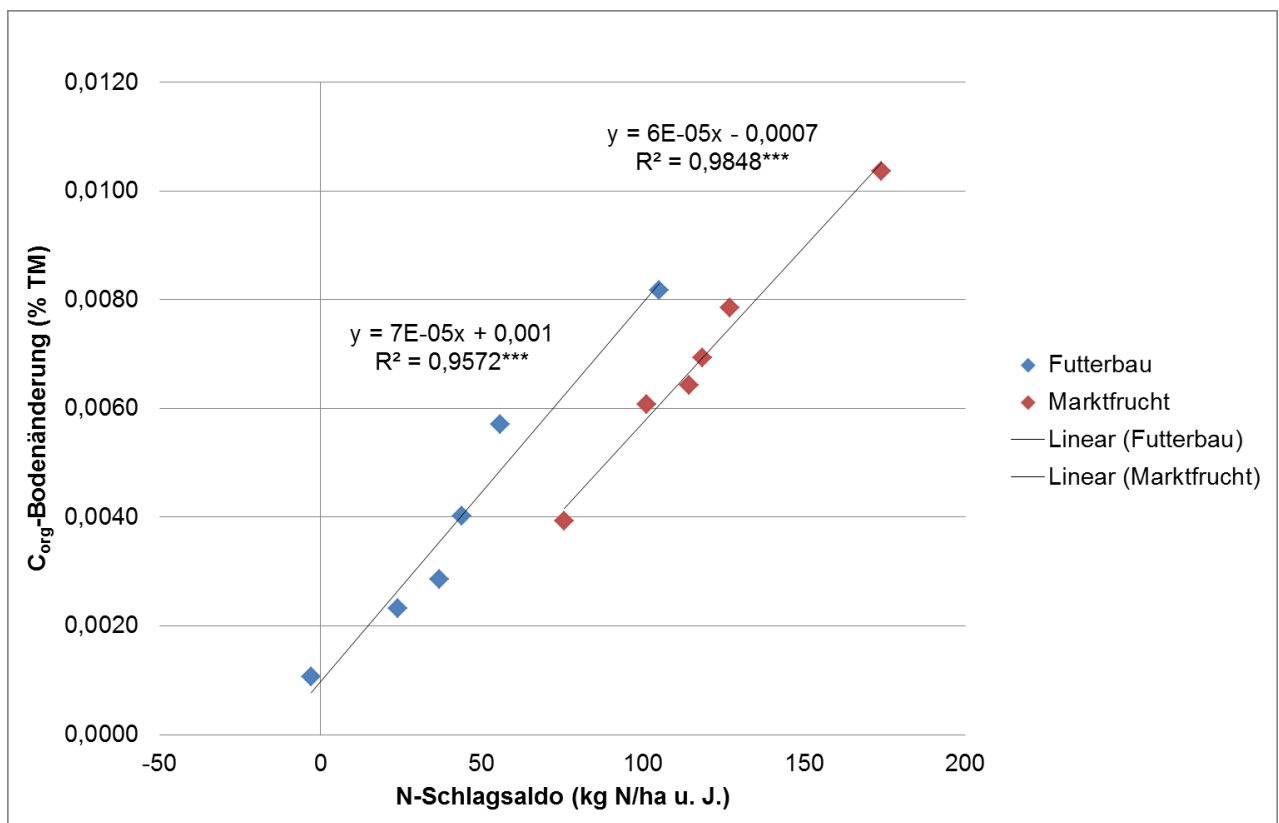
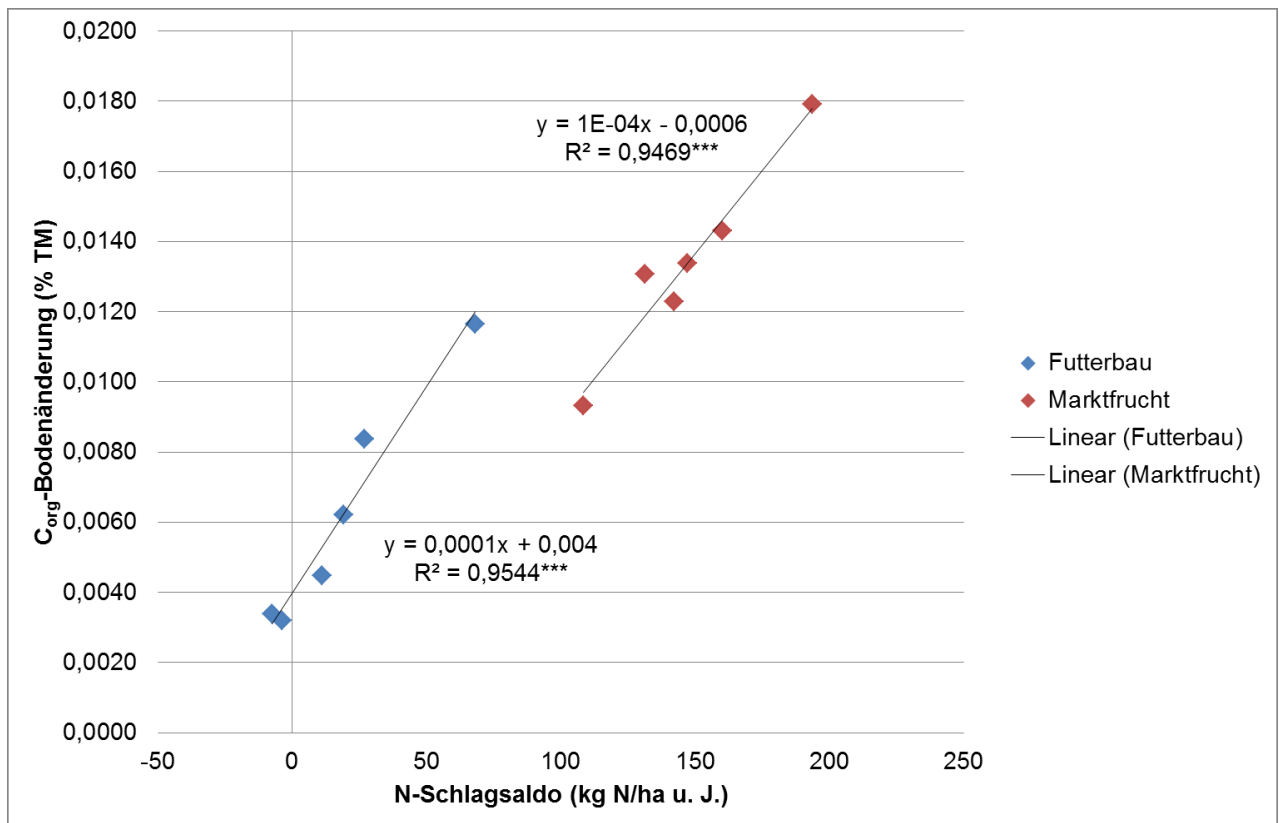


Abbildung 89: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Stickstoff (brutto) und der jährlichen Veränderung der C_{org}-Gehalte im Boden in den Futterbau- und Marktfrucht-Varianten am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

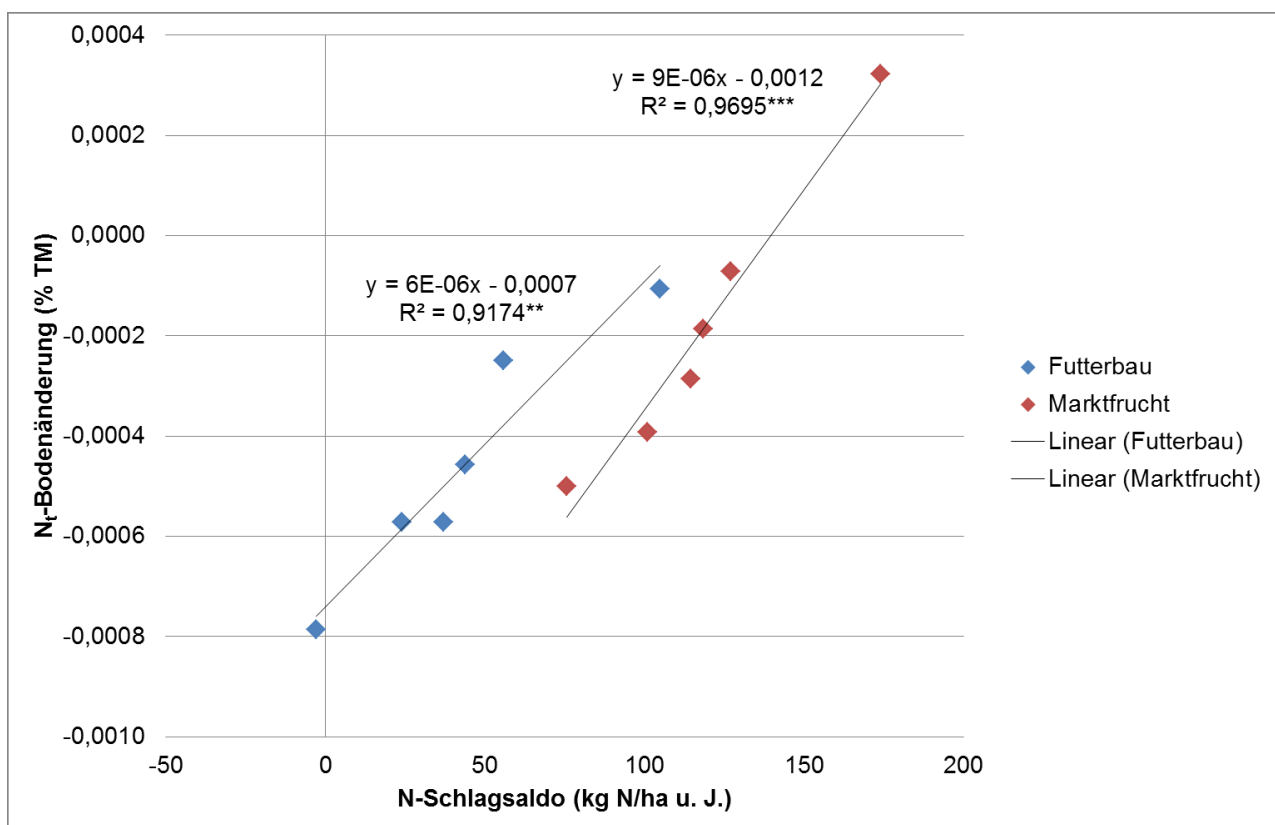
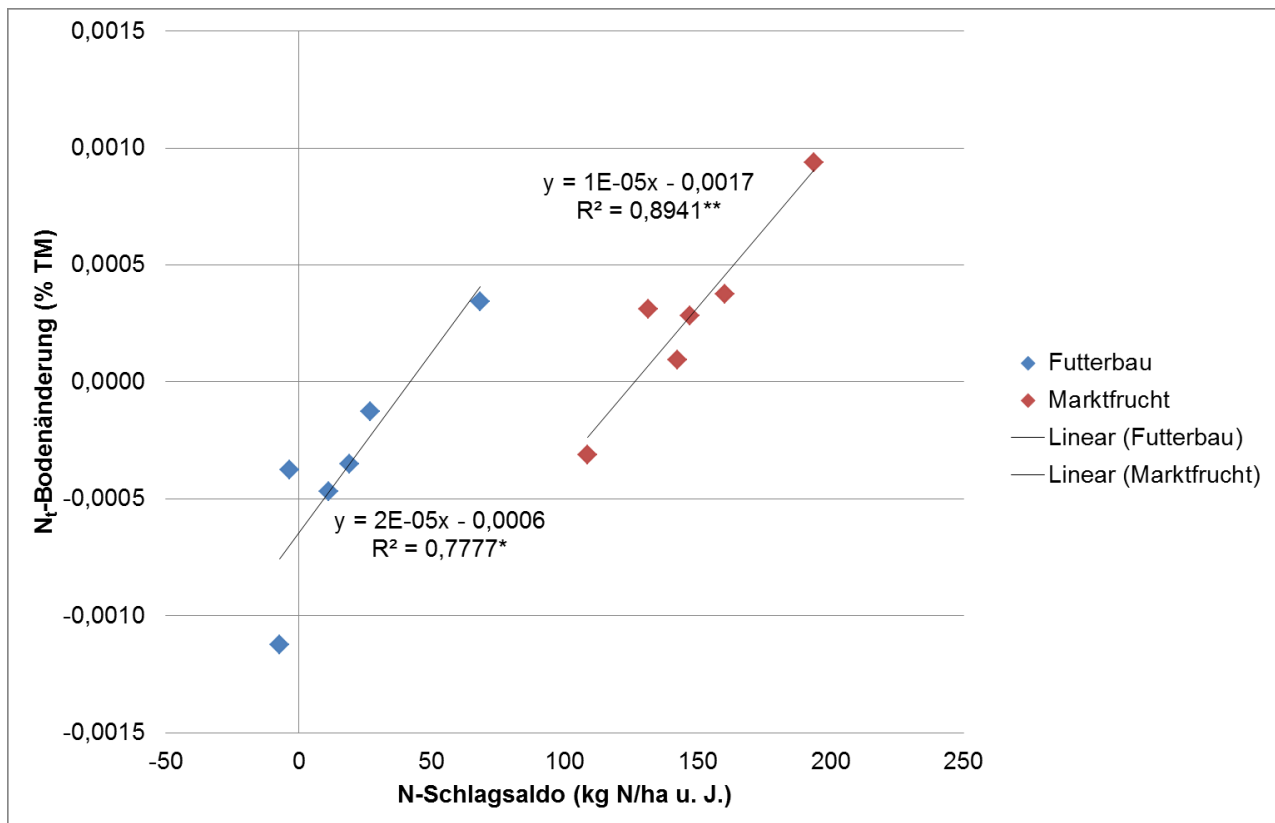


Abbildung 90: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Stickstoff (brutto) und der jährlichen Veränderung der N_t-Gehalte im Boden in den Futterbau- und Marktfruchtvarianten am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Durch das Mulchen der Aufwüchse ergaben sich im Marktfruchtsystem zusätzliche N-Verluste durch Ammoniak-Ausgasung (Methodik siehe Kap. 3.11). Diese Anteile können für durchschnittliche bzw. ungünstige Witterungsbedingungen mit 8,0 kg bzw. 16,0 (MW = 12) kg N/ha und Jahr am Ort Methau und auf Grund geringerer Mulchmengen am Ort Spröda mit 4,4 kg bzw. fast 9,0 (MW = 7) kg N/ha und Jahr ausgewiesen werden. Eine weitere Variantendifferenzierung zwischen FB- und MF-Systemen ist nicht möglich, da weder die geringen Differenzierungen zwischen den ermittelten N_{\min} -Werten (siehe Kap. 4.3.2), den N_T -Salden und den Mengen an N-Auswaschung diese großen Differenzen in den N-Salden erklären können (siehe Tabelle 227 u. Tabelle 228 unten aufgeführt). Als wesentliches Ergebnis aus diesen Auswertungen kann die Erkenntnis abgeleitet werden, dass sich die so veränderten Saldowerte zwischen den Systemen Futterbau und Marktfrucht mit Anrechnung der NH_3 -N-Verluste kaum annähern können.

Diese Vorgehensweise alleine kann daher zur Aufklärung der Saldodifferenzen zwischen den Anbausystemen nicht beitragen. Hierbei ist zu bedenken, dass die Saldowerte sich nicht soweit annähern sollten, bis sie eine mittlere völlige Übereinstimmung erreicht haben. Dies würde nur zutreffen, wenn keine weiteren Veränderungen zwischen beiden Systemen im Boden eingetreten sind. Wie aus den o.a. Darstellungen bereits hervorging, bestehen jedoch z.T. bedeutende quantitative Unterschiede zwischen den Anbausystemen. So waren sowohl eine höhere Humus- als auch eine höhere N_T -Anreicherung des Bodens in den MF-Systemen aufgetreten (siehe Abbildung 43 u. Abbildung 80). Daher kann der erlangte Grad der Übereinstimmung der N-Salden nur unter Berücksichtigung dieser Merkmale begutachtet werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auch die Aufwüchse an Klee gras oder anderen Fruchtarten (HP, NP) im Marktfruchtsystem als Nährstoffentzüge anzusehen und von den Werten der Zufuhr abzuziehen (vgl. SCHMID et al., 2013; siehe Kap. 3.11). Hierbei wird unterstellt, dass die Nährstoffgehalte in den Aufwüchsen quasi als (zwischenzeitliche) Entzüge angesehen werden können, da sie dann, wie z.B. dem Stickstoff, nicht mehr in reaktiver Form vorhanden sind. Nach dieser Berechnung weisen die MF-Salden z.T. über deutlich niedrigere Saldo-Werte auf als die FB-Vergleichssysteme. Werden diese beiden Formen graphisch den erhaltenen C_{org} - oder N_T -Gehalten der beiden Anbausysteme gegenübergestellt, so konnte sofort erkannt werden, dass dieser Ansatz mit der Realität in den Versuchen beider Orte nicht in Übereinstimmung zu bringen ist. Durch diese Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Punktwolken zwischen den Salden und den erhaltenen C_{org} - und N_T -Bodendifferenzen der Futterbau- und Marktfruchtvarianten weiter voneinander entfernt als die bisher untersuchten Möglichkeiten (ohne Abbildungen). Daher wurde dieser Ansatz eines vollständigen Abzugs der KG-Aufwüchse in den Salden verworfen.

Bei genauer Betrachtung insbesondere des Mulchvorgangs der Klee grasbestände könnte aber eine teilweise Anrechnung der Entzüge den Bedingungen der Realität näher kommen. Bei diesen Auswertungsschritten wurden schließlich die Nährstoffaufnahmen durch die gemulchten Klee gras aufwüchse (inkl. der Zwischenfruchtaufwüchse) zu unterschiedlich hohen Anteilen den Nährstoffentzügen hinzugerechnet (bzw. in Abzug gebracht). Auf diese Weise wurden Versuche zur stufenweisen Anrechnung dieser Nährstoffaufwüchse in den Gesamtentzügen unternommen und jeweils einer graphischen und statistischen Auswertung zugeführt (Bewertungskriterien: Steigung b, Bestimmtheitsmaß R^2). Die Analysen wurden sowohl unter Einrechnung der Bodenänderung an den jeweiligen Gesamtnährstoffgehalten als auch ohne Einrechnung in den Nährstoffsaldo, inklusive Abzug der NH_3 -N-Verluste im N-Saldo, vorgenommen (Einzelschritte siehe Tabelle A 4, Anhang).

So brachten entsprechende Kalkulationen für die Versuchsergebnisse in Methau dann ein optimales Ergebnis, wenn beim Nährstoff Stickstoff lediglich eine Anrechnung von 50 % des Klee gras aufwuchses (bzw. 50 % Abzug) in den Gesamtentzügen erfolgt ist (Abbildung 91, MF-Salden nach Abzug der NH_3 -N-Verluste). Es wurde hierdurch die höchste Gesamtübereinstimmung zwischen den dann erhaltenen N-Salden und den N_T -Veränderungen des Bodens erhalten. Die entsprechenden Auswertungen für den Ort Spröda ergaben ein sehr

ähnliches Bild. Die beste Übereinstimmung bestand zwischen den Systemen Futterbau und Marktfrucht bei 50 – 60 % Anrechnung der N-Mengen in den Kleeergrasaufwüchsen im Nährstoffzug (Abbildung 91).

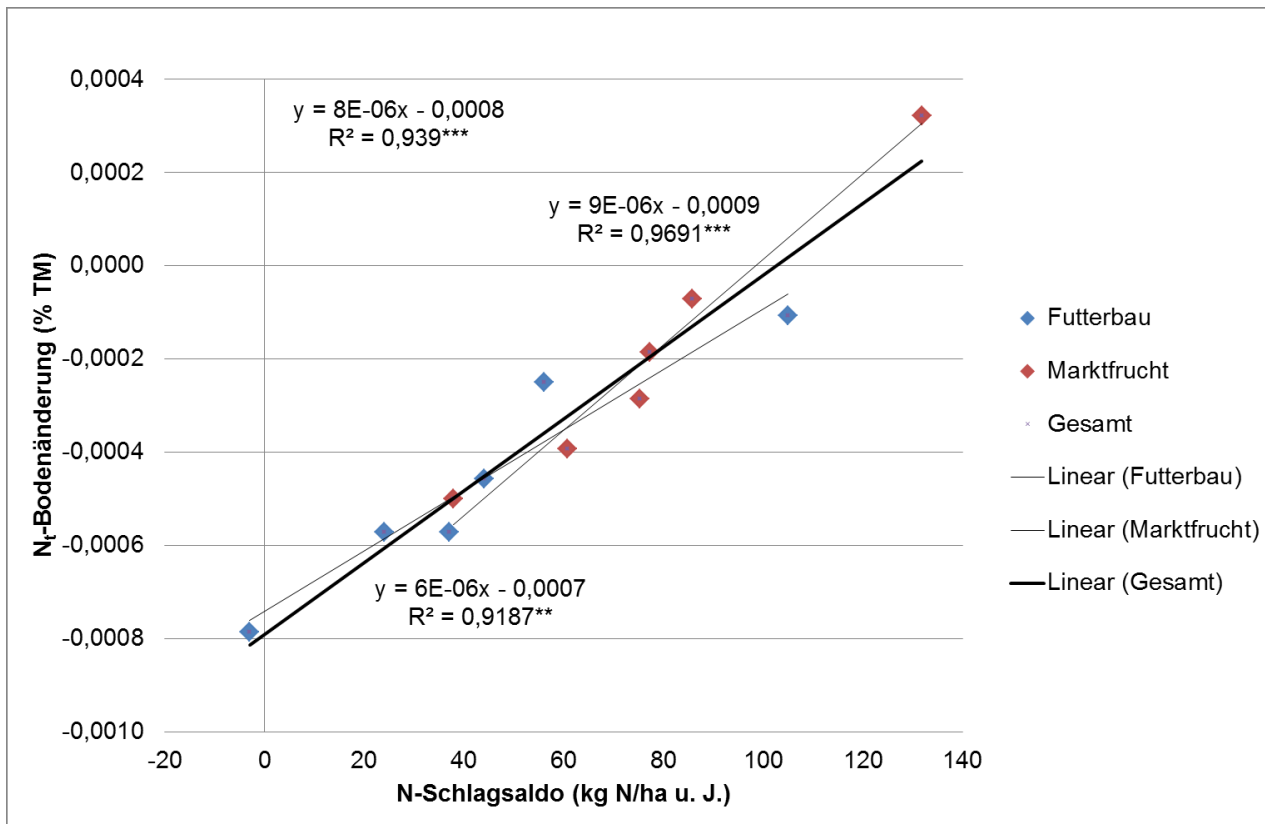
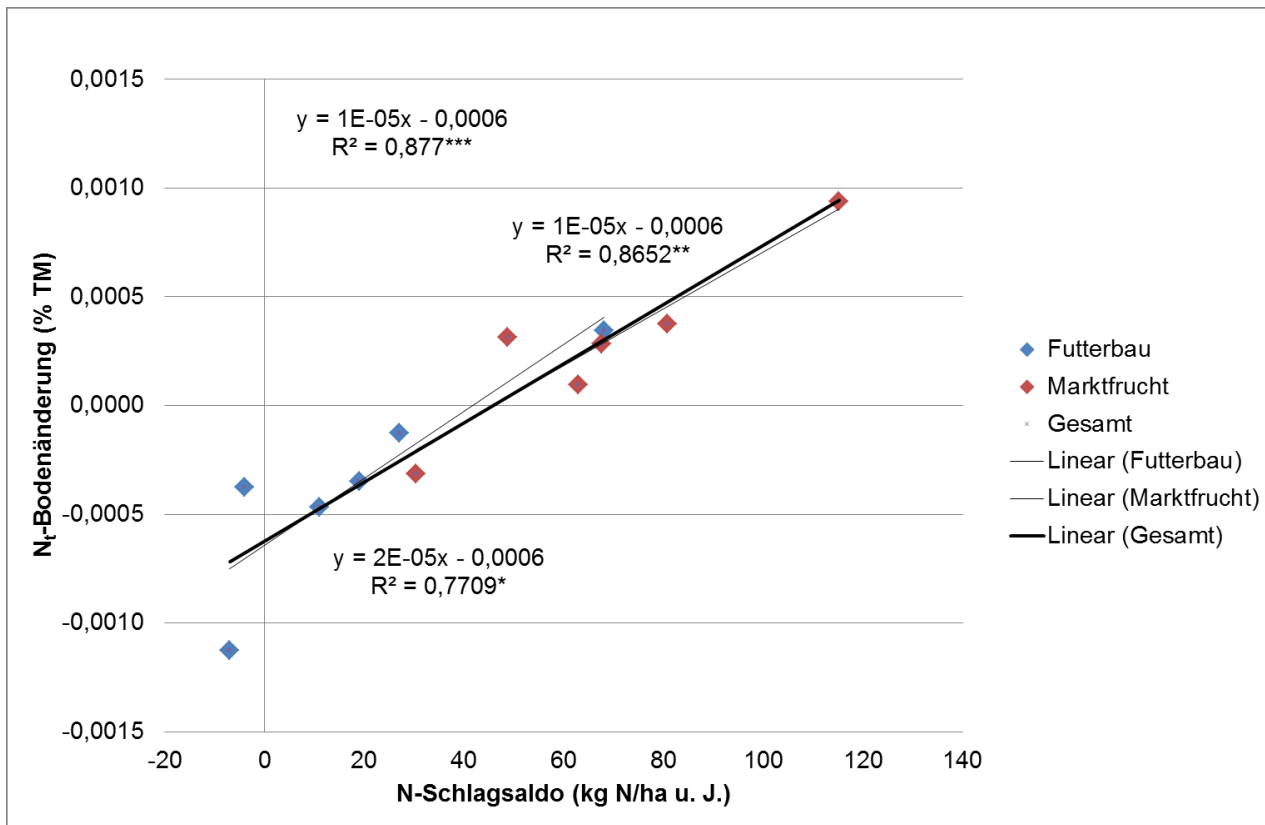


Abbildung 91: Übereinstimmung der statistischen Beziehungen zwischen den korrigierten N-Salden und der Veränderung der N_t -Gehalte im Boden zwischen dem Futterbau- und Marktfruchtsystem am Ort Methau (oben) und Spröda (unten) bei jeweils 50 % N-Anrechnung der MF-Kleeergras-Aufwüchse

Durch die Aufführung im Entzug würden nach diesem Ansatz dann ungefähr die Hälfte des Stickstoffs in den Klee gras-Aufwüchsen als nicht reaktive zwischenzeitlich festgelegte bzw. als z.T. mehrfach rezyklierte Stickstoffformen angesehen werden können. Die andere Hälfte würde als reaktiver Stickstoff im Saldo aufgeführt. Auch Kalkulationen unter zusätzlicher Einbeziehung der N_t -Bodenänderung im N-Saldo brachten vergleichbare Ergebnisse, wonach dann ein Abzug zwischen 60 – 70 % der N-Mengen in den Klee gras-Aufwüchsen zu einer optimalen Übereinstimmung der Punktwolken zwischen FB- und MF-Flächensalden führte (siehe Tabelle A 4).

In der Tabelle 227 sowie der Tabelle 228 sind die Ergebnisse zur Entwicklung und Aussagefähigkeit der N-Salden zwischen FB- und MF-Systemen zusammengefasst worden (MF-Salden nach Abzug der NH_3 -N-Verluste). Ausgehend vom Beispiel der weit verbreiteten Bruttosalden können die Auswirkungen einer durchschnittlichen Nährstoffanrechnung durch den Vorgang des Mulchens von Klee gras-Aufwüchsen inklusive dem Anbau von Zwischenfrüchten (ohne Aberntung) für die Marktfruchtflächen des Anbauortes Methau erläutert werden (Tabelle 227, Beispiel 1). Beim einfachen Bruttosaldo (inkl. 100 % KG-Anrechnung) erfolgt eine verhältnismäßig geringe Nährstoff-Abfuhr (MW = 52 kg N/ha) und deshalb wird ein hoher Nährstoffsaldo berechnet (MW = 147 kg N/ha). Von diesem Saldowert wird bisher angenommen, dass er in der Umwelt mehr oder weniger vollständig als reaktiv anzusehen ist. Eine Rezyklierung und/oder pflanzliche Zwischenspeicherung wird dabei nicht in Betracht gezogen. Es besteht ein deutlicher Unterschied zum mittleren N-Saldo von lediglich 19 kg N/ha im FB-System mit vergleichbarer Intensität.

Im anderen Extrem (Tabelle 227; Beispiel 2, Saldo inkl. 0 % KG-Aufwuchs, inkl. Abzug der Ammoniakverluste von durchschnittlich 12 kg N/ha u. Jahr) erfolgt eine vollständige Anrechnung der Nährstoffaufwüchse als Nährstoffabfuhr (MW = 187 kg N/ha) und es wird ein sehr niedriger Saldo berechnet (MW = 1 kg N/ha). Es wird eine hohe Rezyklierung und Zwischenspeicherung unterstellt, der gesamte Aufwuchs wird als nicht reaktiver Stickstoff angesehen und erscheint deshalb nicht im Saldo. Zwischen beiden extremen Ansätzen erfolgt eine Differenz an reaktivem Saldo-N von 146 kg N/ha, die der Summe der N-Aufwüchse an Klee gras (und an Zwischenfrüchten) entspricht.

Beide extremen Beispiele scheinen die Realität nicht abzubilden, wie die o.a. Ausführungen gezeigt haben. Über die weiteren Auswertungen wurde als Ergebnis ermittelt, dass in etwa 50 % der Klee gras-Aufwüchse in die Bilanzierung eingezogen werden sollten (Tabelle 227, Beispiel 3: Saldo (br) inkl. 50 % KG-Anrechnung, inkl. Ammoniakabzug). Hierbei werden 50 % der Nährstoffe in den Klee gras-Aufwüchsen im Nährstoffentzug angerechnet (Abfuhr 50 % KG, MW = 132 kg N/ha) und es wird ein mittlerer Saldo von 68 kg N/ha erhalten. In diesem Beispiel, das der Realität in den Versuchen in Methau offenbar recht nahe kommt, wird eine zwischenzeitliche pflanzliche Speicherung bzw. Rezyklierung an Nährstoffen von 50 % der Klee gras-Aufwüchse unterstellt und es wird ein reaktiver N-Saldo von 50 % erhalten, wodurch der N-Saldo dann um durchschnittlich 79 kg N/ha im Vergleich zum einfachen Saldo (br) abnimmt.

Für den zweiten Versuchsort Spröda kann eine ähnliche Einschätzung für die extremen Berechnungen unter keiner Anrechnung bzw. unter 100%iger Anrechnung der Klee gras-Aufwüchse in den Schlagbilanzierungen abgeleitet werden (Tabelle 228, Marktfrucht, Beispiele 1 bzw. 2: Saldo (br) inkl. 100 % KG- bzw. inkl. 0 % KG-Anrechnung im Saldo). Nach einer ebenfalls experimentell ermittelten mittleren Anrechnung von 50 % der Klee gras-Aufwüchse erfolgt eine Anhebung der N-Entzüge um 20 kg N/ha auf 48 kg N/ha. Der als reaktiv anzusehende N-Saldo wird hierdurch im Durchschnitt der MF-Varianten von 119 kg auf 99 kg N/ha um den gleichen Betrag von 20 kg N/ha reduziert (Tabelle 228, Beispiel 3).

Zwischen den auf diese Weise korrigierten N-Salden der MF-Varianten durch Abzug von 50 % der N-Mengen in den Klee gras-Aufwüchsen und den Veränderungen der N_t -Mengen im Boden in Folge der vieljährigen Versuchstätigkeiten durch Düngung und Anbausystem werden jetzt sehr enge korrelative Zusammenhänge

von $r = 0,937^{***}$ für den Standort in Methau und von $r = 0,969^{***}$ für den Versuch in Spröda gefunden (siehe Abbildung 91). Die in den Versuchen ermittelten N_i -Bodenänderungen können daher durch diese korrigierten N-Salden quantitativ erklärt werden. Auch die verhältnismäßig geringen Unterschiede zwischen den Anbausystemen in den N_{\min} -Mengen bis auf 200 cm Tiefe sowie die ermittelten Auswaschungsmengen an Stickstoff stehen jetzt in direkter Beziehung zu den erhaltenen N-Salden.

In einem weiteren Auswertungsschritt zur Komplettierung der Nährstoffbilanzierungen können die ermittelten N_i -Beträge aus der Bodenbilanz den N-Salden in Rechnung gestellt werden. Dies geschieht dadurch, indem einerseits negative Beträge an Stickstoff, der aus dem Humus- bzw. Bodenpool herausgegangen und in eine reaktive Form umgewandelt worden ist, dem Schlagsaldo hinzugerechnet werden. Beträge an Stickstoff, die durch Aufnahme in den Bodenpool aus der reaktiven Form in eine stabile Form überführt worden sind, können andererseits vom Saldo abgezogen werden. Beide Prozesse sind in diesen Versuchen experimentell belegt worden und können daher weitgehend in quantitativer Weise bei der Korrektur und Erklärung der Schlagsalden berücksichtigt werden (ohne Darstellung).

Tabelle 227: Korrektur der N-Salden [kg N/ha u. Jahr] durch Berücksichtigung der variierten KG-Aufwüchse in den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten des Marktfruchtsystems (rechts) für den Standort Methau (Erklärung siehe Text)

Bei- spiel	Kriterium	Futterbau						Marktfrucht					
		0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW
	Zufuhr (Düngung, N_2 - Bindung, Sonstige)	182	223	244	290	216	231	153	189	211	248	196	200
1	Abfuhr (100 % KG- Anrechnung im Saldo)	189	212	217	221	220	212	45	48	51	54	65	52
2	Abfuhr (0 % KG- Anrechnung inkl. NH_3 -N)	189	212	217	221	220	212	188	194	197	200	217	199
3	Abfuhr (50 % KG- Anrechnung inkl. NH_3 -N)	189	212	217	221	220	212	123	126	130	133	147	132
1	Saldo (br) (inkl. 100% KG- Anrechnung)	-7	11	27	68	-4	19	108	142	160	194	131	147
2	Saldo (br) (inkl. 0 % KG, NH_3 -N)	-7	11	27	68	-4	19	-35	-5	14	48	-21	1
3	Saldo (br) (inkl. 50 % KG, NH_3 -N)	-7	11	27	68	-4	19	30	63	81	115	49	68
Zu- sätze	N_i -Bodenbilanz	-43	-18	-5	+13	-14	-13	-12	+4	+14	+36	+12	+11
	Ammoniak 1 (normal)	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8
	Ammoniak 2 (hoch)	0	0	0	0	0	0	16	16	16	16	16	16
	Auswaschung												
	18 % Austausch normal	1,3	1,5	1,8	1,6	5,0	2,2	0,9	1,3	1,5	2,4	6,3	2,5
	28 % Austausch normal	2,0	2,3	2,8	2,5	7,8	3,5	1,4	2,0	2,4	3,7	9,7	3,8
	18 % Austausch hoch	1,4	2,4	2,5	2,4	7,8	3,3	1,1	1,7	2,4	3,7	8,0	3,4
28 % Austausch hoch	2,2	3,7	3,9	3,7	12,2	5,1	1,8	2,6	3,7	5,7	12,4	5,2	

Tabelle 228: Korrektur der N-Salden [kg N/ha u. Jahr] durch variierte Berücksichtigung der KG-Aufwüchse in den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten im Marktfruchtsystem (rechts) für den Standort Spröda (Erklärung siehe Text)

Bei- spiel	Kriterium	Futterbau						Marktfrucht					
		0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW
	Zufuhr (Düngung, N ₂ -Bindung, Sonstige)	109	140	166	222	149	157	102	129	156	204	141	147
1	Abfuhr (100 % KG-Anrechnung im Saldo)	112	116	110	117	112	113	26	28	29	31	26	28
2	Abfuhr (0 % KG-Anrechnung, inkl. NH ₃ -N)	112	116	110	117	112	113	96	103	104	108	98	103
3	Abfuhr (50 % KG, inkl. NH ₃ -N)	112	116	110	117	112	113	64	68	70	72	66	70
1	Saldo (br) (inkl. 100 % KG-Anrechnung im Saldo)	-3	24	56	105	37	44	76	101	127	173	115	119
2	Saldo (br) (inkl. 0 % KG, inkl. NH ₃ -N)	-3	24	56	105	37	44	6	26	52	96	43	44
3	Saldo (br) (inkl. 50 % KG, inkl. NH ₃ -N)	-3	24	56	105	37	44	56	80	106	152	95	99
Zusätze	N _t -Bodenbilanz	-39	-29	-13	-5	-29	-23	-25	-20	-4	+16	-14	-9
	Ammoniak 1 (normal)	0	0	0	0	0	0	4	4	5	5	4	4
	Ammoniak 2 (hoch)	0	0	0	0	0	0	8	9	9	9	8	9
	Auswaschung												
	21 % Austausch	3,1	3,8	4,1	3,9	8,5	4,7	3,4	5,5	4,2	4,0	6,4	4,7
32 % Austausch	4,8	5,8	6,3	6,0	13,0	7,2	5,2	8,3	6,3	6,1	9,8	7,2	

4.6.2 Phosphor

Im Bereich des Boden-Phosphats liegen keine experimentell ermittelten Werte über die Veränderung der P_t-Gehalte des Bodens vor. Wie aus der Abbildung 92 aufgezeigt wird, bestehen auch zwischen den P-Salden der Schlagbilanz (unter 100%iger Anrechnung der P-Gehalte) und der Veränderung der pflanzenverfügbaren P_{DL}-Vorräte im Boden an beiden Standorten sehr enge lineare statistische Beziehungen. Mit steigenden P-Salden ist eine deutliche Zunahme der löslichen P-Gehalte im Boden verbunden, die auf Grund der Steigung (b) der mathematischen Gleichungen auf dem Sandboden in Spröda um ca. 20 % deutlicher ausgeprägt ist als am Vergleichsort Methau auf schwerem Boden.

Bei einem Anstieg der P-Salden um 15 kg/ha erfolgt am Standort Methau eine mittlere Veränderung der P-Gehalte des Bodens um 0,10 mg/100 g Boden (= 3,8 kg P/ha) und am Ort Spröda werden die P-Gehalte um 0,19 mg/100 g Boden (= 9,5 kg P/ha) in jedem Jahr verändert. Am Ort Spröda erfolgt damit je P-Einheit mit ca. 63 % eine deutlichere direkte Überführung in die DL-lösliche P-Form als mit lediglich 25 % im Methauer Boden.

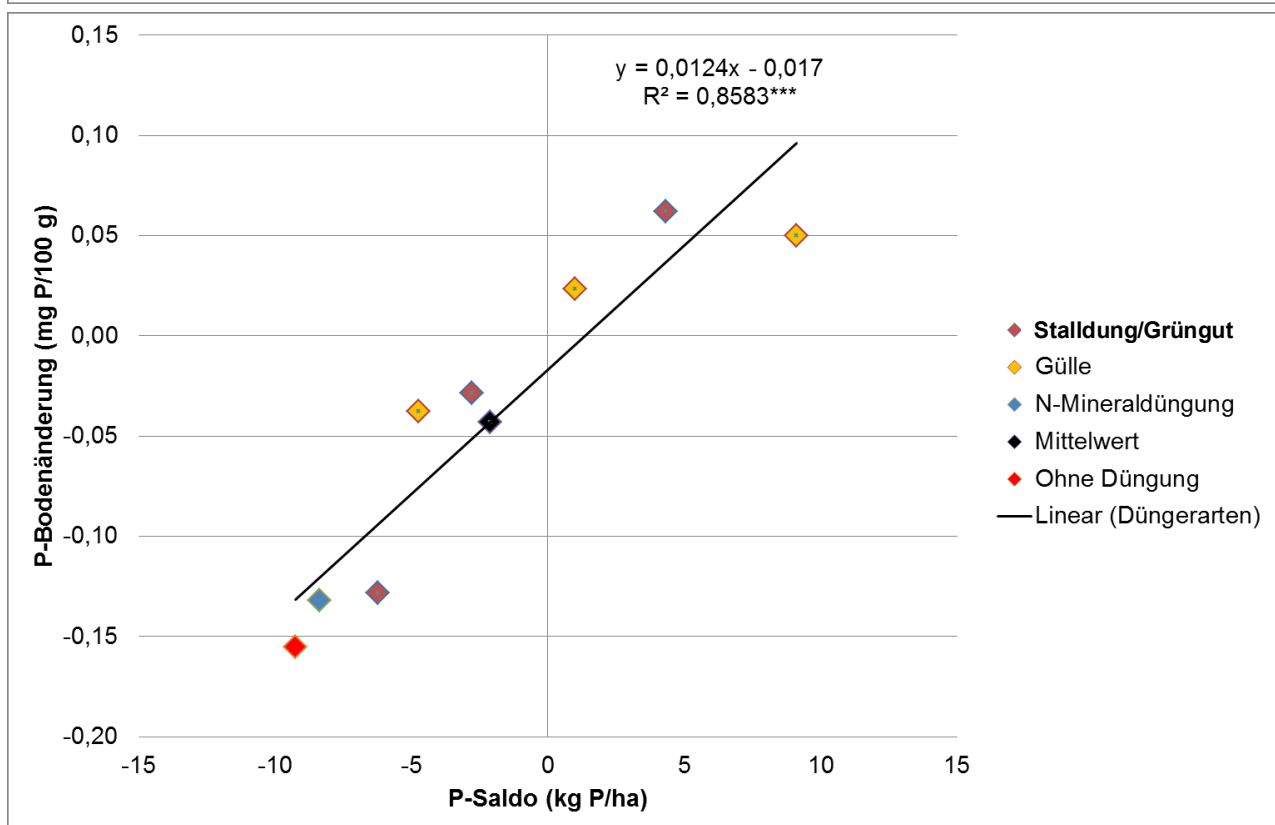
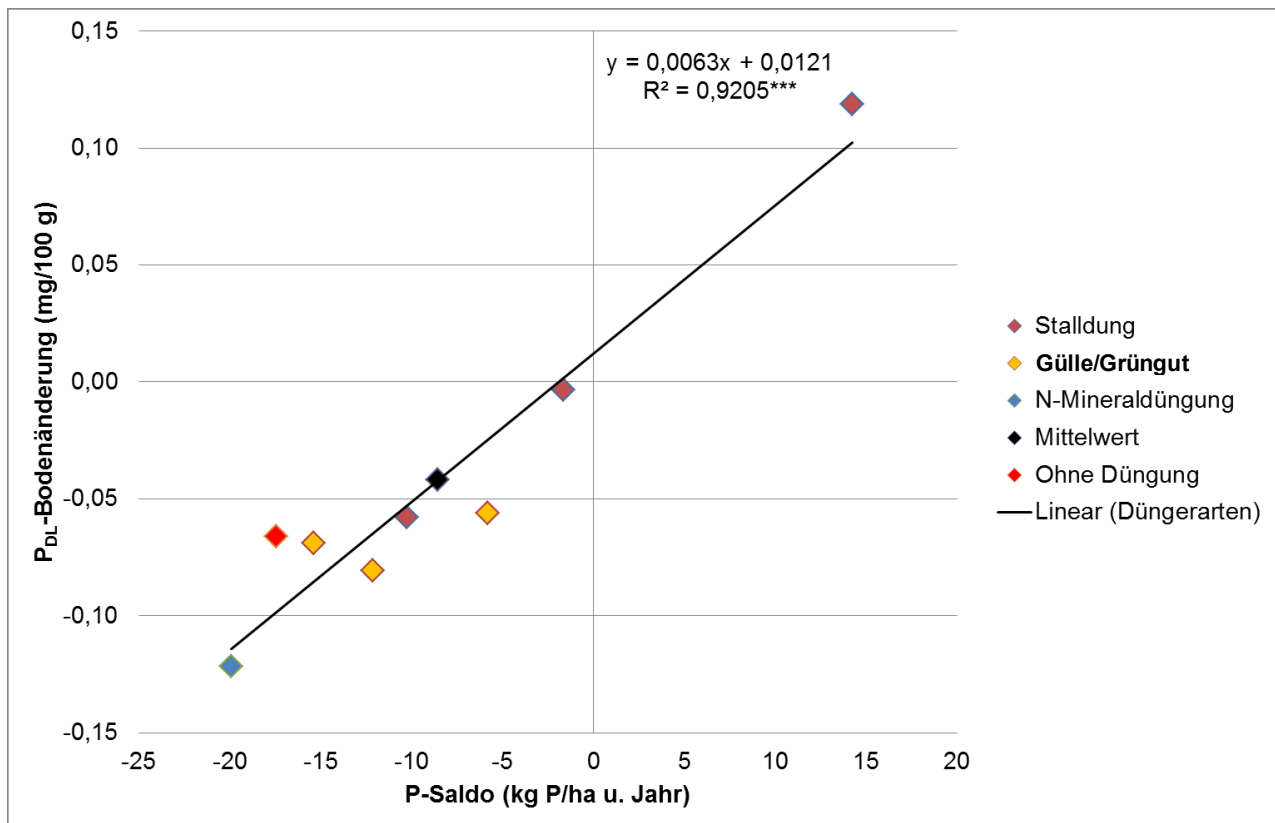


Abbildung 92: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Phosphor und der jährlichen Veränderung der P_{DL}-Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen organischen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Am Ort Methau wurde über Grüngut (M) und Gülle nur eine geringe Differenzierung zwischen den Nährstoffsalden berechnet, daher sind bei diesen Düngungsregimen unter Beachtung der Schwankung keine großen Veränderungen der löslichen P-Gehalte des Bodens eingetreten. Durch die Stalldungzufuhr ist dagegen eine deutliche Veränderung der P-Gehalte des Bodens erfolgt. Am Versuchsort Spröda wurde im Durchschnitt von allen verabreichten Düngungsarten eine weitgehend lineare Veränderung der DL-löslichen P-Gehalte im Boden erreicht. Bei sehr hohen P-Salden kann aus der Abfolge der Steigerungsstufen abgelesen werden, dass die P-Veränderung im Boden etwas geringer wird.

Am Versuchsort Methau erfolgt auf Grund des schwereren Bodens eine geringfügige Nachlieferung (inkl. P-Deposition) aus dem Boden, da ungefähr ein negativer bis ausgeglichener Saldo zwischen $-5 - 0$ kg vorhanden sein kann, ohne dass es zu einer Veränderung der P-Bodengehalte kommt (P-Bodenänderung = 0 mg P/100 g). Auf dem leichten Versuchsboden des Ortes Spröda ist dagegen ein Saldobereich zwischen $0 - 5$ kg P/ha erforderlich, damit keine Änderung in den löslichen P-Gehalten des Bodens erfolgt. Zwischen den Düngemittelarten bestehen keine Unterschiede in der Umsetzung zwischen den P-Salden und den P-Bodenveränderungen.

Die Aufschlüsselung der Daten nach den beiden Anbausystemen zeigt einen im Vergleich zur N-Auswertung sehr ähnlichen Zusammenhang zwischen den P-Salden und der Entwicklung der DL-löslichen P-Gehalte des Bodens (vgl. Abbildung 93 u. Abbildung 89). Die Punktwolken der Anbausysteme liegen in beiden Versuchsorten weitgehend nicht direkt übereinander, es sind aber keine großen Unterschiede zwischen den Anbausystemen zu erkennen.

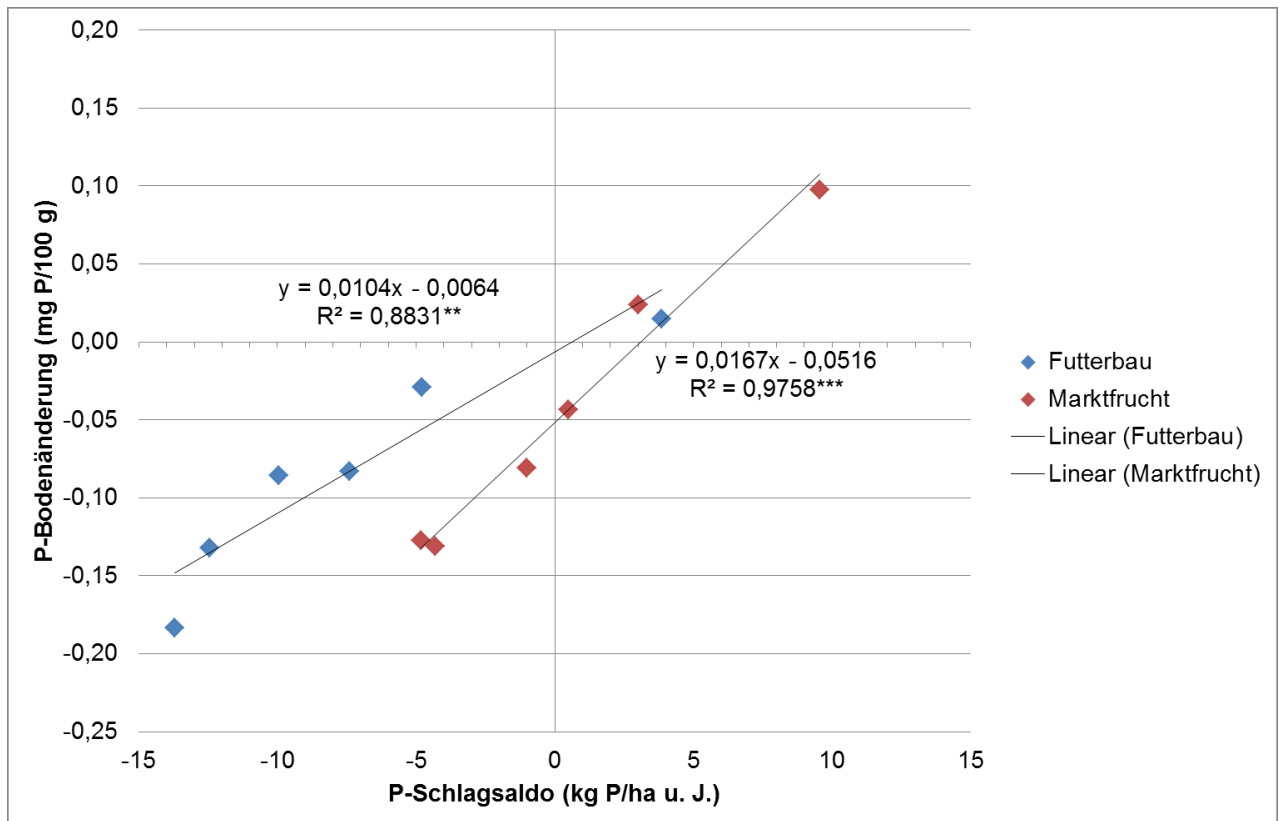
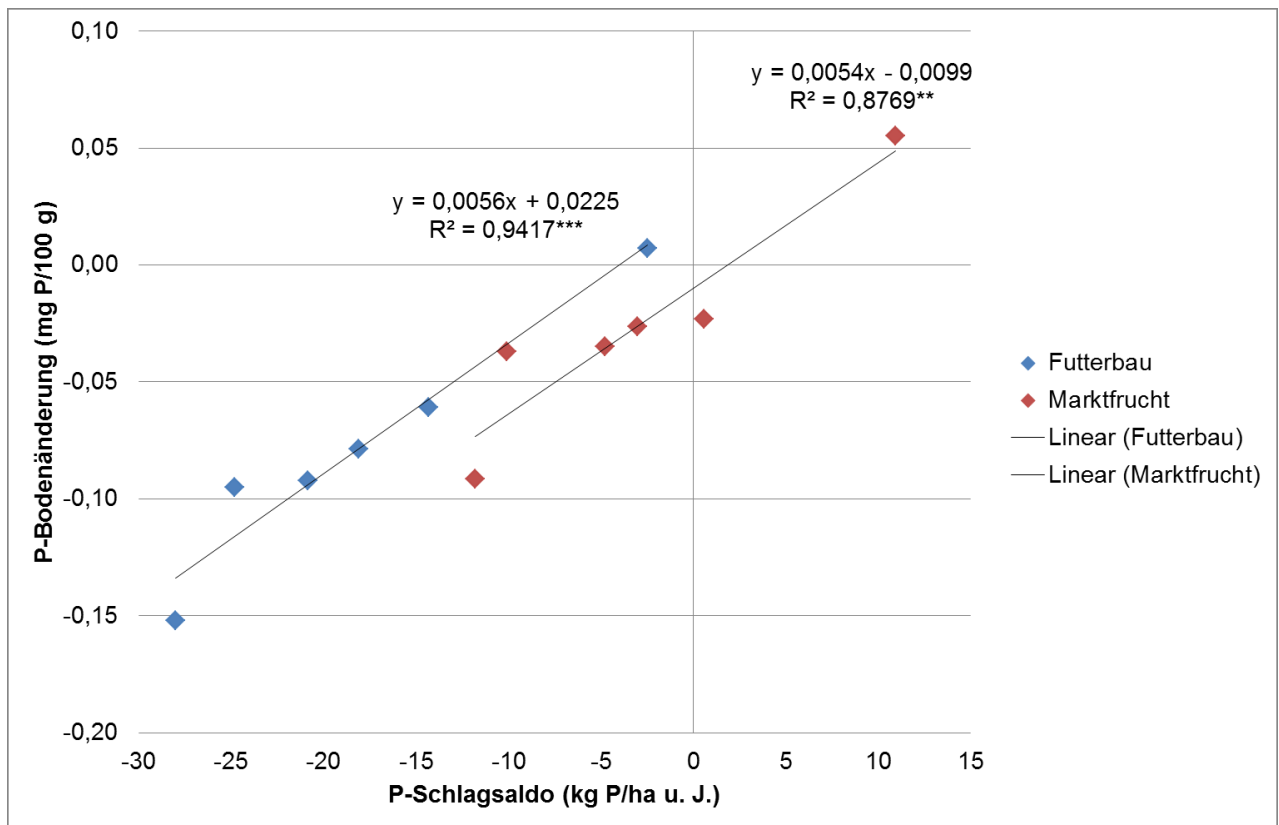


Abbildung 93: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Phosphor und der Veränderung der jährlichen P_{DL} -Gehalte im Boden in den Futterbau- und Marktfrucht-Varianten am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Mit steigenden P-Salden ist jeweils eine weitgehend lineare Erhöhung der P-Bodenänderung zu erkennen, die am Ort Spröda deutlicher ausgeprägt ist als am Ort Methau. Für die P-Bodenänderung im Marktfruchtsystem sind in Methau mit ca. 6 – 7 kg P/ha Differenz an Phosphor zwischen den Systemen etwas höhere P-Salden ausgewiesen worden als am Ort Spröda, wo der mittlere Unterschied zwischen Futter- und Marktfrucht-Varianten nur zwischen 2 kg und 6 kg P/ha beträgt (P-Bilanzierung siehe Tabelle 229, Beispiel 1). Auch beim Phosphor führte ein völliger Abzug der KG-Aufwüchse zu einer Verringerung der statistischen Sicherheit (ohne Darstellung, siehe Tabelle 229, Beispiel 2).

In Tabelle 229 wurden zudem Werte der P_t -Bodenbilanz aufgenommen, die aus dem Humusumsatz berechnet worden sind (vergleichbar der N_t -Bodenbilanz im Verhältnis Stickstoff/Phosphor von 10:1, Kap. 3.11; vgl. KOLBE, 2021). Durch Verrechnung der P_t -Bodenbilanz kann die durchschnittliche Differenz zwischen den Systemen Futterbau und Marktfrucht im P-Saldo von 15,1 kg P auf 12,3 kg P am Ort Methau und von 7,9 kg P auf 5,8 kg P/ha und Jahr reduziert werden. Die Unterschiede zwischen den Anbausystemen können dadurch also bereits etwas angeglichen werden.

Die anschließenden Kalkulationen zur Abschätzung des aktiven und passiven Anteils der Kleeerasaufwüchse in den Nährstoffsalden brachten zum Ergebnis, dass am Ort Methau ungefähr eine 30 %ige Anrechnung und am Ort Spröda eine 30 – 40 %ige Anrechnung der P-Mengen in den Kleeerasaufwüchsen zu optimalen statistischen Anpassungen führten (Abbildung 94, unter Einbeziehung der P_t -Bodenänderung im Saldo). Diese Analysen erscheinen recht sicher, da beim Nährstoff Phosphor keine weiteren Verlustgrößen anzurechnen sind. Ohne P_t -Einrechnung ergaben sich optimale Anpassungen durch 40 % (Spröda) bzw. 60 % Anrechnung (Methau) der Kleeerasaufwüchse (Tabelle 229, Beispiel 3; Einzelergebnisse in Tabelle A 4, Anhang).

Tabelle 229: Korrektur der P-Salden [kg P/ha u. Jahr] durch variierte Berücksichtigung der KG-Aufwüchse bei den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten im Marktfruchtsystem (rechts) für den Ort Methau (oben) und Spröda (unten) ohne Einbeziehung der P_t-Bodenänderung im Saldo

Bei- spiel	Kriterium	Futterbau						Marktfrucht					
		0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW
Methau													
Zufuhr (Düngung, Sonstige)		0,0	7,1	14,0	26,4	0	9,5	0,0	5,9	11,7	22,2	0,0	8,0
1	Abfuhr(100 % KG-Anrechnung)	24,8	28,1	28,3	28,8	28,0	27,6	10,1	10,6	11,1	11,3	11,8	11,0
2	Abfuhr (0 % KG-Anrechnung)	24,8	28,1	28,3	28,8	28,0	27,6	24,3	25,1	25,8	26,2	27,0	25,7
3	Abfuhr (60 % KG-Anrechnung)	24,8	28,1	28,3	28,8	28,0	27,6	15,8	16,5	17,0	17,2	17,9	16,9
1	Saldo (inkl. 100% KG-Anrechnung)	-24,8	-20,8	-14,3	-2,5	-28,0	-18,1	-10,1	-4,8	+0,6	+10,9	-11,8	-3,0
2	Saldo (inkl. 0 % KG-Anrechnung)	-24,8	-20,8	-14,3	-2,5	-28,0	-18,1	-24,3	-19,2	-14,1	-4,8	-27,0	-17,7
3	Saldo (inkl. 60 % KG-Anrechnung)	-24,8	-20,8	-14,3	-2,5	-28,0	-18,1	-15,8	-10,6	-5,3	+5,0	-17,9	-8,9
Zusatz: P_t-Bodenbilanz (aus Humusumsatz)		-5,0	-2,5	-1,7	+0,4	-2,4	-2,2	-1,9	+0,1	+0,6	+2,9	+1,2	+0,6
Spröda													
Zufuhr (Düngung, Sonstige)		0,0	4,9	9,6	19,0	0,0	6,7	0,0	4,2	8,5	15,4	0,0	5,6
1	Abfuhr (100 % KG-Anrechnung)	13,7	14,8	14,4	15,2	12,4	14,1	4,8	5,3	5,5	5,8	4,3	5,1
2	Abfuhr (0 % KG-Anrechnung)	13,7	14,8	14,4	15,2	12,4	14,1	11,8	12,8	13,3	13,8	11,5	12,6
3	Abfuhr (40 % KG-Anrechnung)	13,7	14,8	14,4	15,2	12,4	14,1	9,0	9,8	10,2	10,6	8,6	9,6
1	Saldo (inkl. 100% KG-Anrechnung)	-13,7	-10,0	-4,8	+3,9	-12,4	-7,4	-4,8	-1,0	+3,0	+9,6	-4,3	+0,5
2	Saldo (inkl. 0 % KG-Anrechnung)	-13,7	-10,0	-4,8	+3,9	-12,4	-7,4	-11,8	-8,6	-4,8	+1,6	-11,5	-7,0
3	Saldo (inkl. 40 % KG-Anrechnung)	-13,7	-10,0	-4,8	+3,9	-12,4	-7,4	-9,0	-5,6	-1,7	+4,8	-8,6	-4,0
Zusatz: P_t-Bodenbilanz		-5,7	-4,9	-3,0	-2,5	-4,7	-4,2	-2,9	-2,7	-1,8	+0,9	-3,9	-2,1

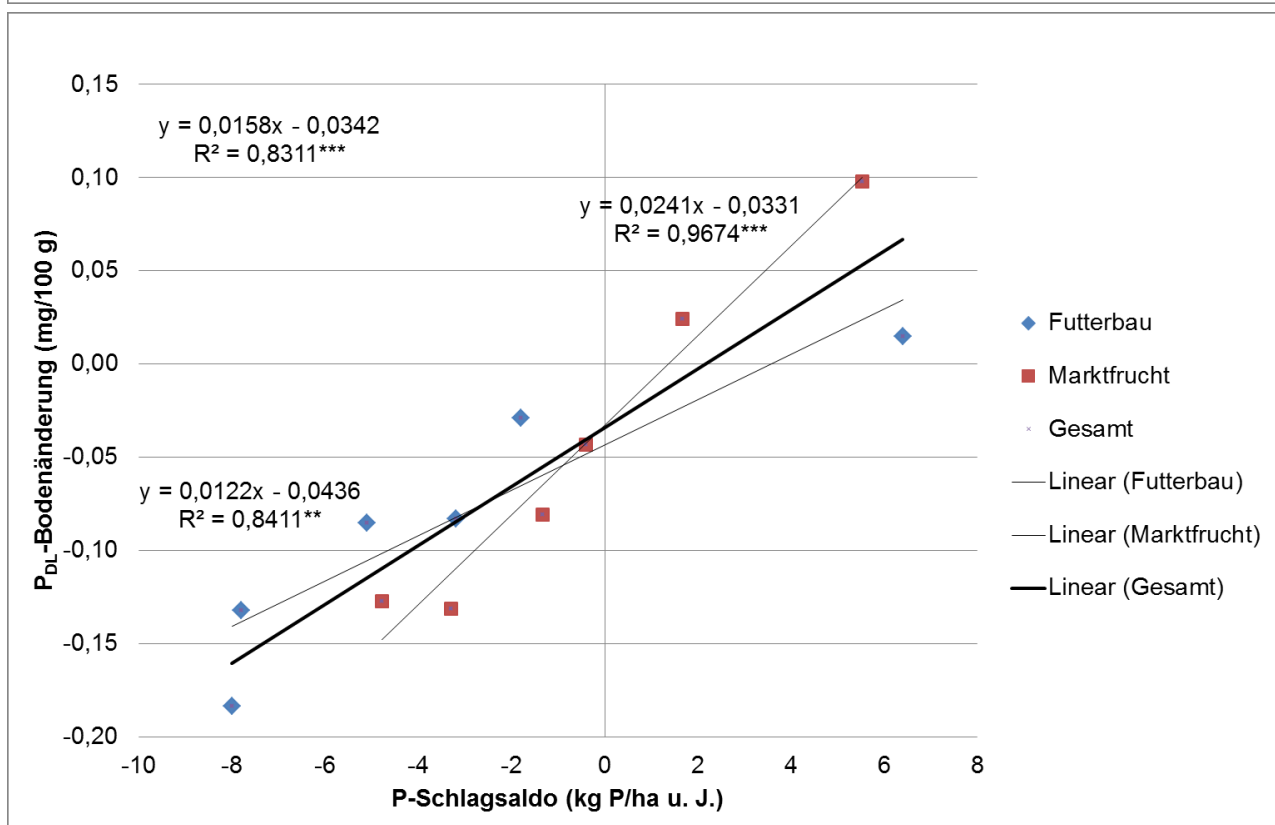
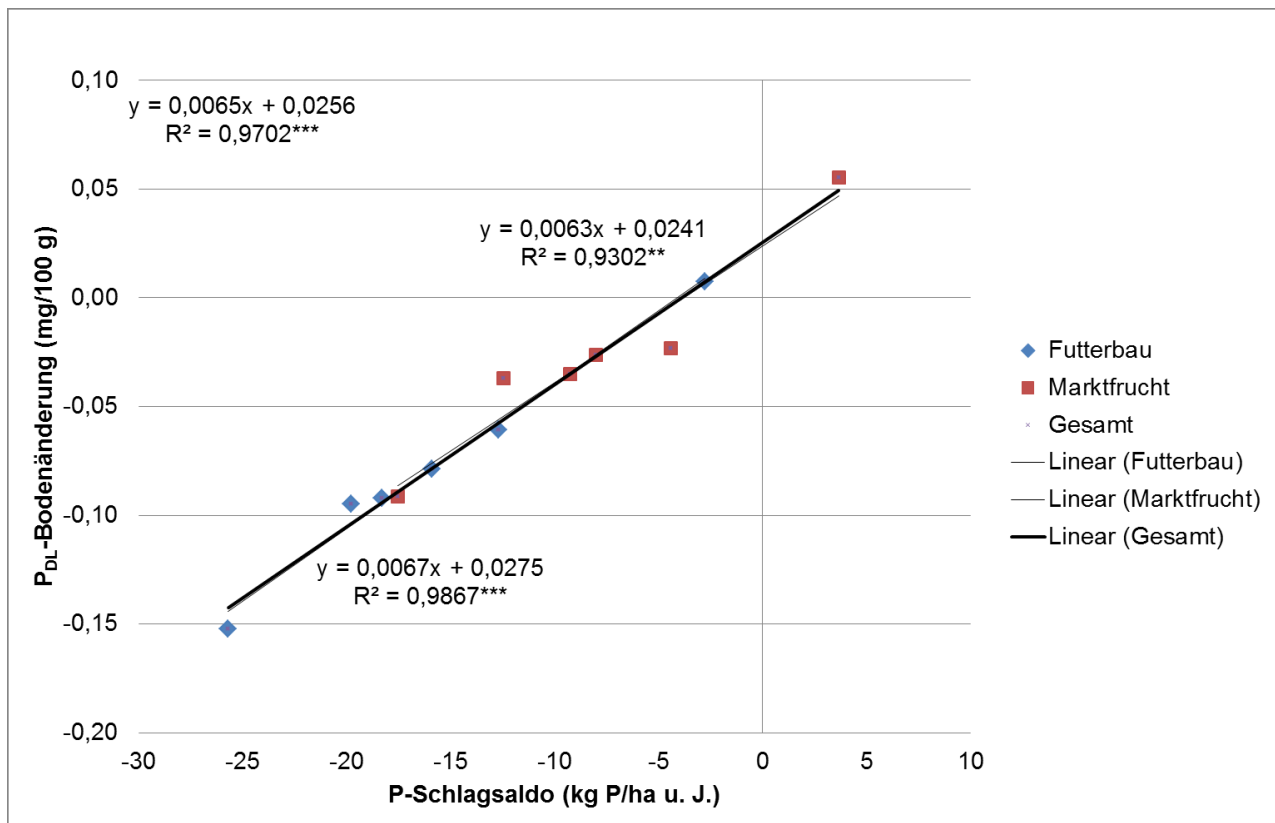


Abbildung 94: Übereinstimmung der statistischen Beziehungen zwischen den korrigierten P-Salden und der jährlichen Veränderung der DL-löslichen P-Gehalte im Boden der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht am Ort Methau (oben; 30 %ige P-Anrechnung) und Spröda (unten; 40 %ige P-Anrechnung im Klee gras-Aufwuchs, jeweils unter Einbeziehung der P_t -Änderung im Bodenfond)

4.6.3 Kalium

Aus Abbildung 95 ist ein sehr enger linearer Zusammenhang zwischen den K-Salden der Schlagbilanz (100 % Anrechnung der K-Gehalte) und der Veränderung der löslichen K_{DL} -Vorräte im Boden an beiden Standorten zu erkennen. Die Veränderung an Kalium ist am Standort Methau allerdings je zugefügter K-Einheit nur etwa halb so groß wie am Ort Spröda. Bei einem Unterschied in den K-Salden von 50 kg/ha erfolgt am Standort Methau eine jährliche Veränderung der K-Gehalte des Bodens um 0,15 mg/100 g Boden (= 5,7 kg K/ha). Am Ort Spröda werden die K-Gehalte um 0,30 mg/100 g Boden (= 14,8 kg K/ha) verändert. Am Ort Methau wird somit ein Anteil von lediglich 11 % und in Spröda von immerhin 30 % der aufzuweisenden K-Salden direkt in die pflanzenverfügbare DL-Form überführt (1 mg K/100 g Boden = 38,1 kg K/ha in Methau und 50,1 kg K/ha in Spröda).

An beiden Versuchsorten kann dagegen beobachtet werden, dass die verwendeten Düngemittel je verabreichtem K-Äquivalent zu einer deutlich linearen und gleichwertigen Veränderung der löslichen K-Gehalte des Bodens beigetragen haben. Es sind auch beim Kalium quasi keine Unterschiede zwischen den Düngemittelarten zu erkennen. Da der Nährstoff Kalium beim Humusumsatz zeitlich relativ rasch und in höherem Umfang freigesetzt wird, kann angenommen werden, dass überwiegende Anteile bei den schwereren Böden (Methau) zunächst auch in den Zwischenschichten der Tonminerale fixiert werden, während auf den leichteren Böden (Spröda) auch ein höherer Umfang an Verlagerung und Auswaschung zu registrieren ist. Weitere Anteile sind z.B. auch durch schärfere Extraktionsmittel erfassbar oder müssten sich nach dem Aufschluss im Gesamtkalium als K_T -Gehalt wiederfinden (siehe weiter unten).

Am Verlauf der Regressionsgeraden kann in Methau auf dem schwereren Boden ungefähr eine Nachlieferung von 45 kg K/ha und Jahr ermittelt werden, denn bei diesem negativen Saldowert ist keine Bodenänderung mehr festzustellen (Bodenänderung = 0 mg K/ha u. Jahr). Ein erheblicher Anteil an Kalium kann daher jährlich aus dem Nachlieferungsvermögen des Lößbodens veranschlagt werden. Auf dem Sandboden in Spröda ist dagegen ein positiver Saldo von ungefähr 10 kg K/ha erforderlich, um den Gehalt an DL-löslichem Kalium im Boden auf gleichhohem Niveau zu halten. Zwischen Nachlieferung inkl. einem kleinen Anteil an K-Deposition und der Verlagerung kann daher als Resultat angenommen werden, dass an diesem Standort ein etwas höheres Ausmaß an Verlagerung und Auswaschung den Ausschlag gibt, wie es oft auf leichteren Böden festgestellt werden kann (siehe KOLBE & KÖHLER, 2008).

Nach der Aufschlüsselung der Ergebnisse entsprechend den Anbausystemen bestehen besonders für den Nährstoff Kalium Unterschiede in der K-Dynamik zwischen Futterbau- und Marktfruchtflächen. Auf Grund der großen Differenzen in den zugeführten K-Mengen bzw. den berechneten K-Salden zwischen Futterbau und Marktfrucht sind keine Überschneidungen in den Bodenveränderungen an DL-löslichen K-Werten am Versuchsort Methau festzustellen (Abbildung 96). Auch am Ort Spröda bestehen große Differenzen in den ermittelten K-Salden, so dass ebenfalls an diesem Ort deutliche Unterschiede zwischen den Punktwolken der beiden Systeme zu erkennen sind, wie es bei den anderen Nährstoffen beschrieben worden ist.

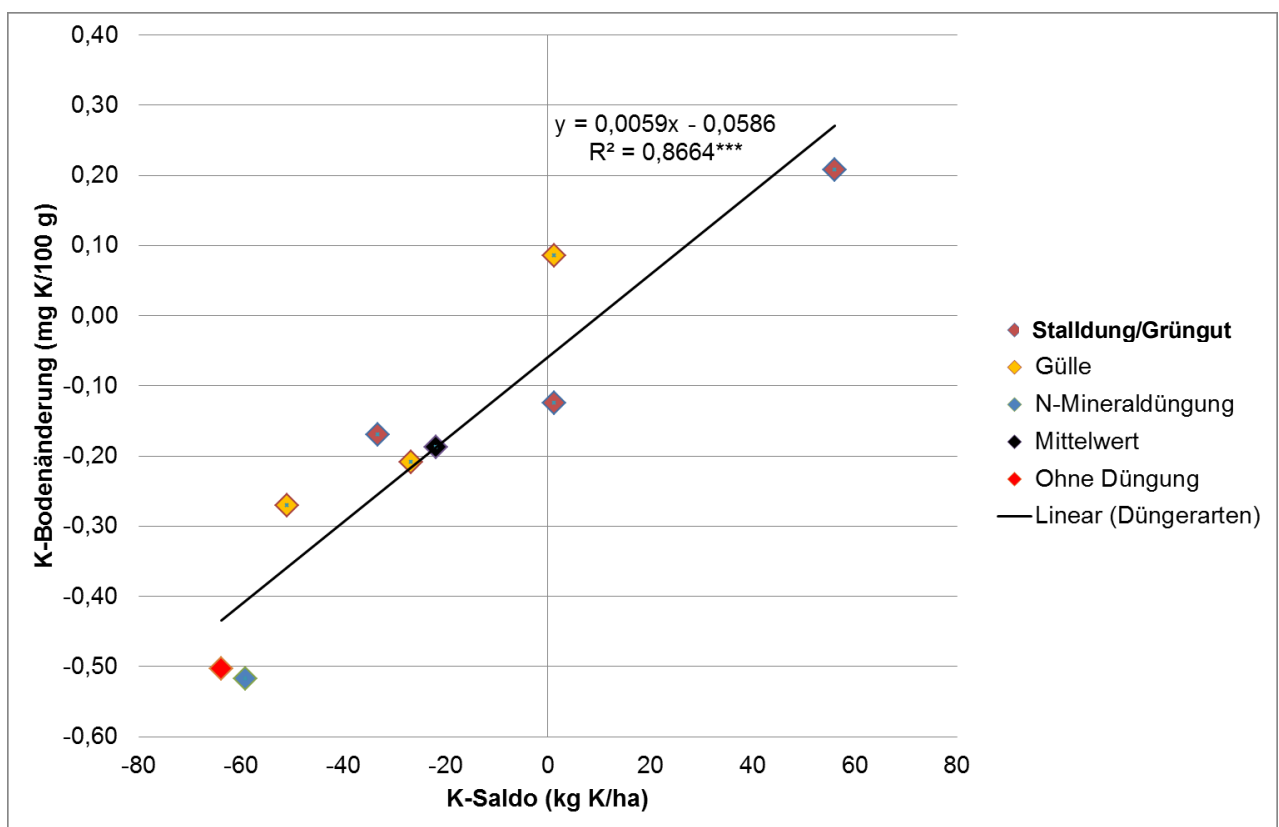
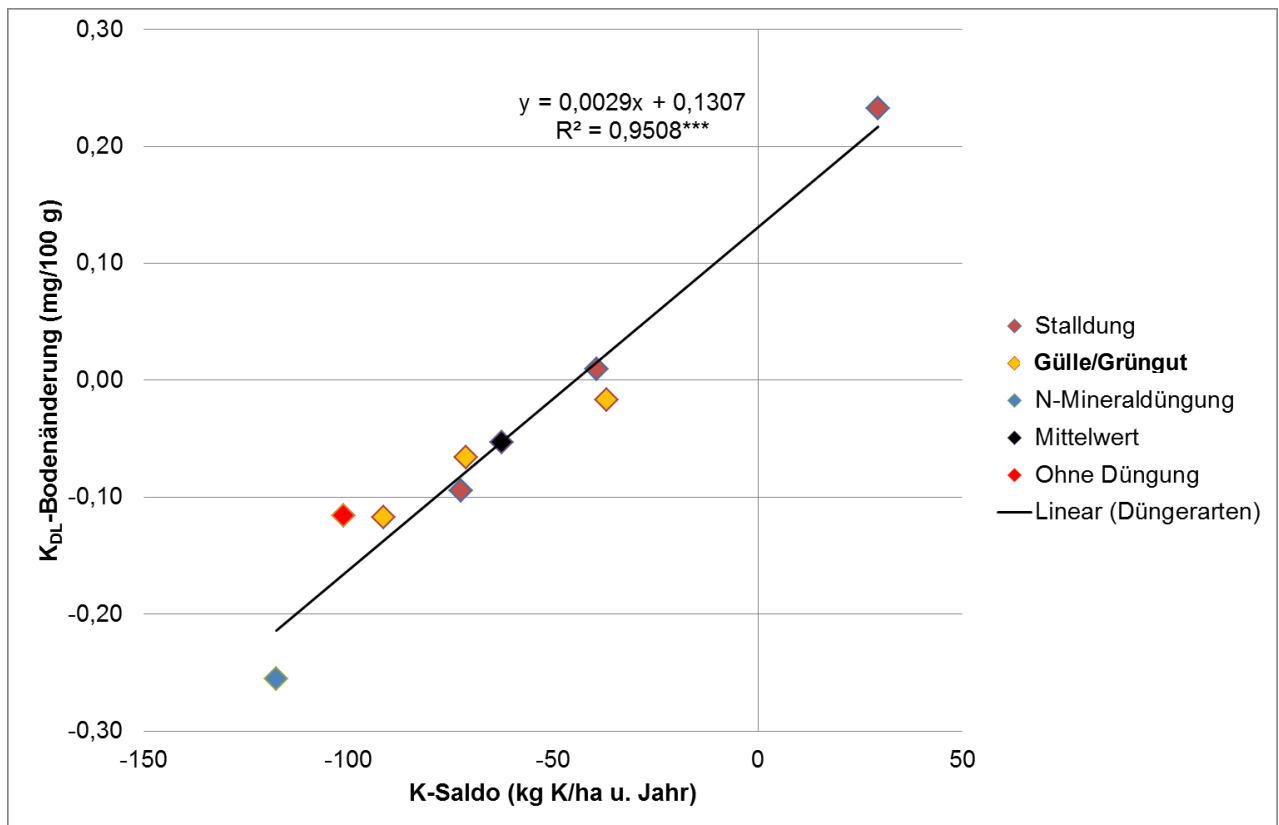


Abbildung 95: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Kalium und der jährlichen Veränderung der K_{DL} -Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen organischen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

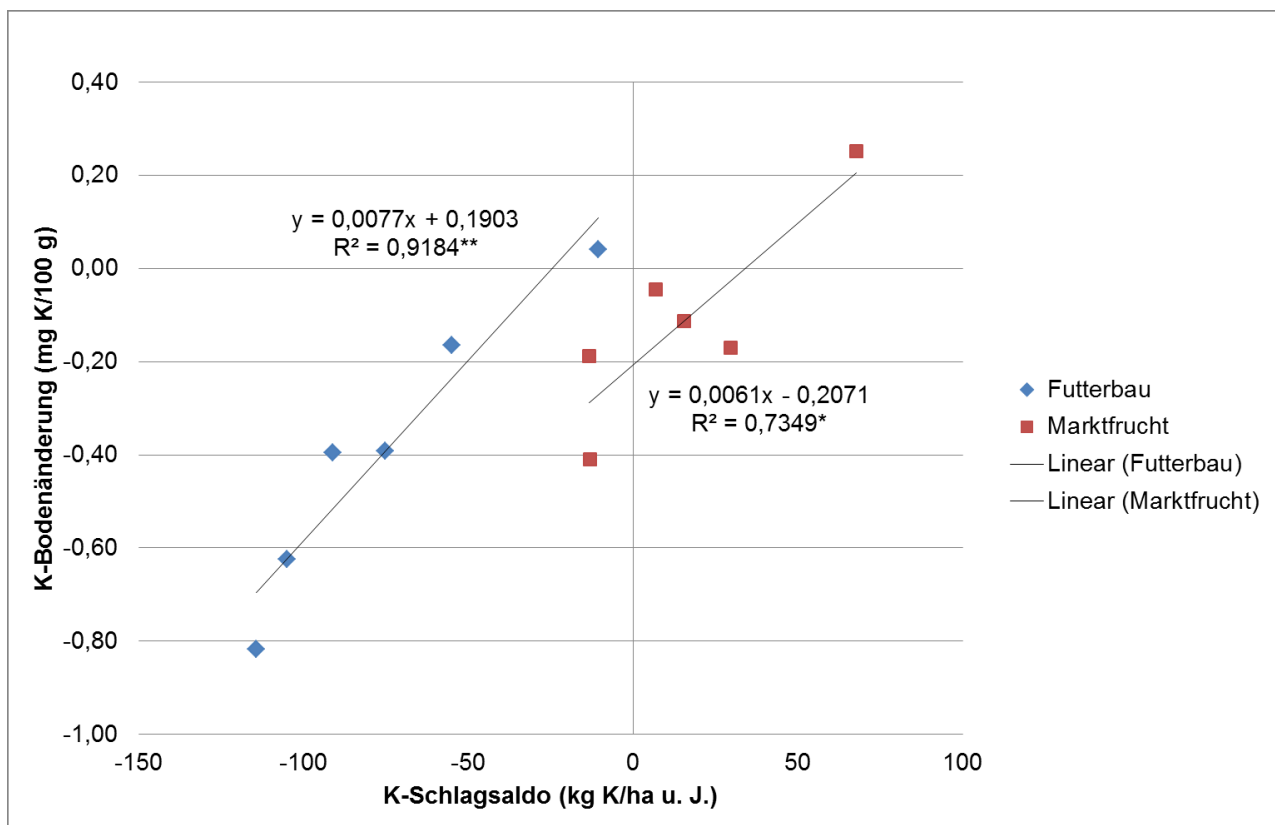
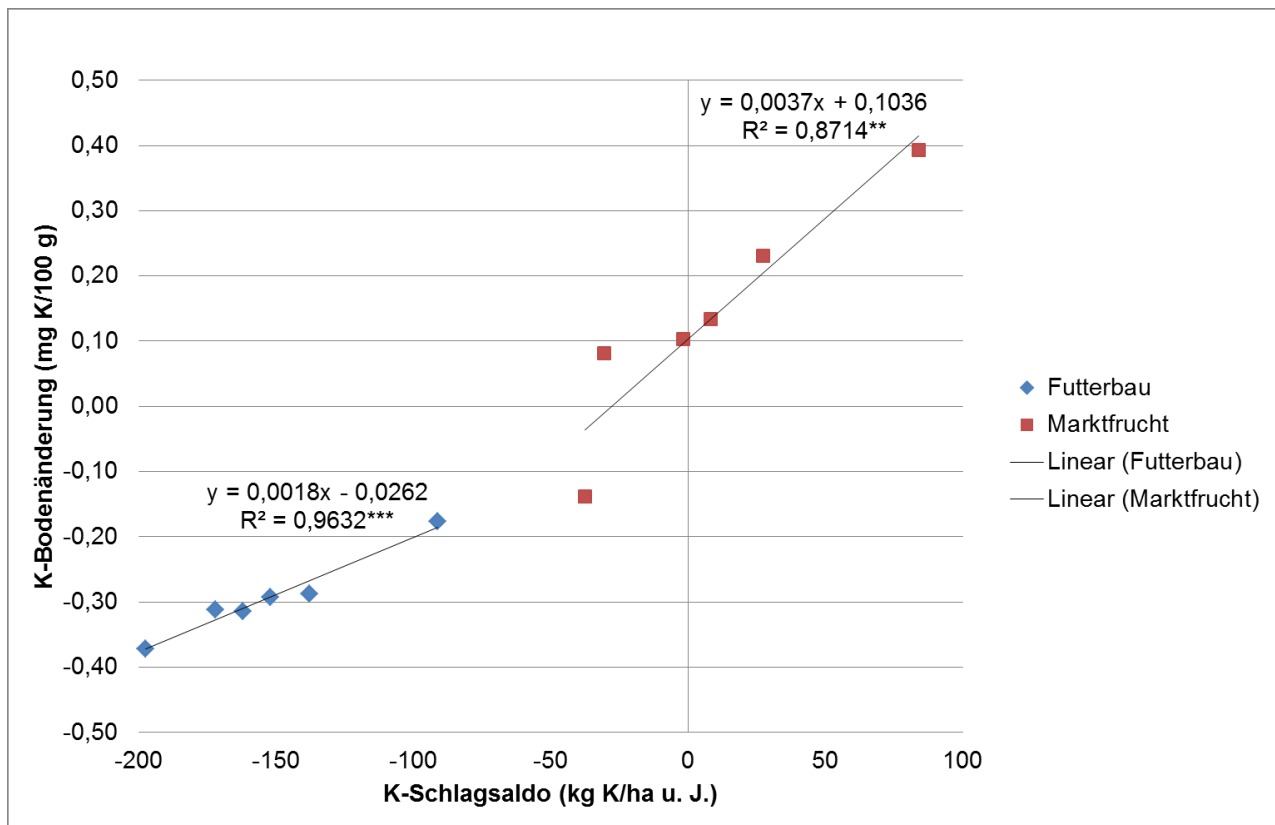


Abbildung 96: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Kalium und der jährlichen Veränderung der K_{DL} -Gehalte im Boden in den Varianten des Futterbaus und der Marktfrucht am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

Bei den Ergebnissen zur K-Bilanzierung wurden in Tabelle 230 eine Aufschlüsselung der K-Salden für die Varianten des Futterbaus und des Marktfruchtbaus vorgenommen. Bilanzierungen nach der einfachen Schlagbilanz führen zu einer Saldendifferenz zwischen beiden Systemen von +160 kg K/ha für die Standortbedingungen in Methau und von +91 kg K/ha und Jahr für Spröda zu Gunsten der Marktfruchtvarianten. Die Werte liegen daher z.T. deutlich über den Differenzen, die zwischen den N-Salden festgestellt worden sind (vgl. Tabelle 227). Durch Berücksichtigung der Bodenbilanz in Folge des Humusumsatzes (N/K = 1/1, vgl. Kap. 3.11) können diese Systemdifferenzen auf Werte von +125 kg K/ha in Methau und von +70 kg K/ha und Jahr in Spröda verringert werden.

Tabelle 230: Korrektur der K-Salden [kg K/ha u. Jahr] durch variierte Berücksichtigung der KG-Aufwüchse bei den Bilanzkomponenten der Versuchsvarianten im Marktfruchtssystem (rechts) für den Standort Methau (oben) und Spröda (unten) ohne Einbeziehung der K_t -Bodenänderung in die Salden

Bei- spiel	Kriterium	Futterbau						Marktfrucht					
		0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN	MW
Methau													
	Zufuhr (Düngung, Sonstige)	0	30	59	113	0	41	0	32	63	121	0	43
1	Abfuhr (100 % KG-Anrechnung)	172	193	197	204	198	193	31	33	36	37	38	35
2	Abfuhr (0 % KG-Anrechnung)	172	193	197	204	198	193	171	177	180	186	186	180
3	Abfuhr (80 % KG-Anrechnung)	172	193	197	204	198	193	59	63	65	67	67	64
1	Saldo (100% KG-Anrechnung)	-172	-162	-138	-91	-198	-152	-31	-2	+27	+84	-38	+8
2	Saldo (inkl 0 % KG-Anrechnung)	-172	-162	-138	-91	-198	-152	-171	-145	-117	-65	-186	-137
3	Saldo (inkl. 80 % KG-Anrechnung)	-172	-162	-138	-91	-198	-152	-59	-31	-2	+54	-67	-21
Zu- satz	K_t -Bodenbilanz (aus Humusumsatz)	-63	-31	-21	+5	-29	-28	-24	+2	+7	+36	+15	+7
Spröda													
	Zufuhr (Düngung, Sonstige)	0	32	64	117	0	43	0	23	46	85	0	31
1	Abfuhr (100 % KG-Anrechnung)	114	123	119	128	105	118	13	16	16	17	13	15
2	Abfuhr (0 % KG-Anrechnung)	114	123	119	128	105	118	87	91	94	98	82	90
3	Abfuhr (30 % KG-Anrechnung)	114	123	119	128	105	118	65	69	71	74	61	68
1	Saldo (100 % KG-Anrechnung)	-114	-91	-55	-11	-105	-75	-13	+7	+30	+68	-13	+16
2	Saldo (inkl 0 % KG-Anrechnung)	-114	-91	-55	-11	-105	-75	-87	-68	-48	-13	-82	-59
3	Saldo (inkl. 30 % KG-Anrechnung)	-114	-91	-55	-11	-105	-75	-65	-46	-25	+11	-61	-37
Zu- satz	K_t -Bodenbilanz	-57	-49	-30	-25	-47	-42	-29	-27	-18	+9	-39	-21

Wie bei den anderen Nährstoffen, können auch für den Nährstoff Kalium Anteile für die Recyclingung durch Mulchung der Klee gras- und Zwischenfruchtaufwüchse veranschlagt werden. Unter Beurteilung der Steigung (b) und der Bestimmtheitsmaße (R^2) der Regressionsgleichungen führen unter den Versuchsbedingungen in Methau eine Anrechnung von 20 % der Klee gras aufwüchse und am Ort Spröda um 50 % der Aufwüchse zu optimalen Ergebnissen beim Nährstoff Kalium, wenn die K_t -Bodenbilanz im Saldo angerechnet wird. Ohne Anrechnung werden optimale Anteile bei 20 % Anrechnung am Standort Methau und von 70 % Anrechnung der Klee gras aufwüchse in Spröda erzielt (Einzel ergebnisse in Tabelle A 4, Anhang).

Beim Kalium liegen nach diesen Ergebnissen die anzurechnenden K-Anteile sehr weit auseinander, da dieser Nährstoff nicht so stark vom Humusumsatz abhängig ist und erhebliche K-Mengen schon bald nach Ausbringung der Düngemittel frei werden und im Boden in Lösung übergehen können. Durch Anrechnung und Korrektur der K-Salden in dem beschriebenen stufenweisen Umfang wird in den graphischen Darstellungen auch eine deutliche Annäherung der Punktwolken zwischen den Anbausystemen in beiden Versuchen erreicht, so dass ebenfalls eine weitgehend homogene Datenwolke entsteht und eine gemeinsame Regressionsgerade berechnet werden kann. Die Gerade weist eine Steigung (b) auf, die als typisch angesehen werden kann, da sie die vormaligen Beschreibungen und Unterschiede zwischen den beiden Anbauorten abdeckt (Abbildung 97).

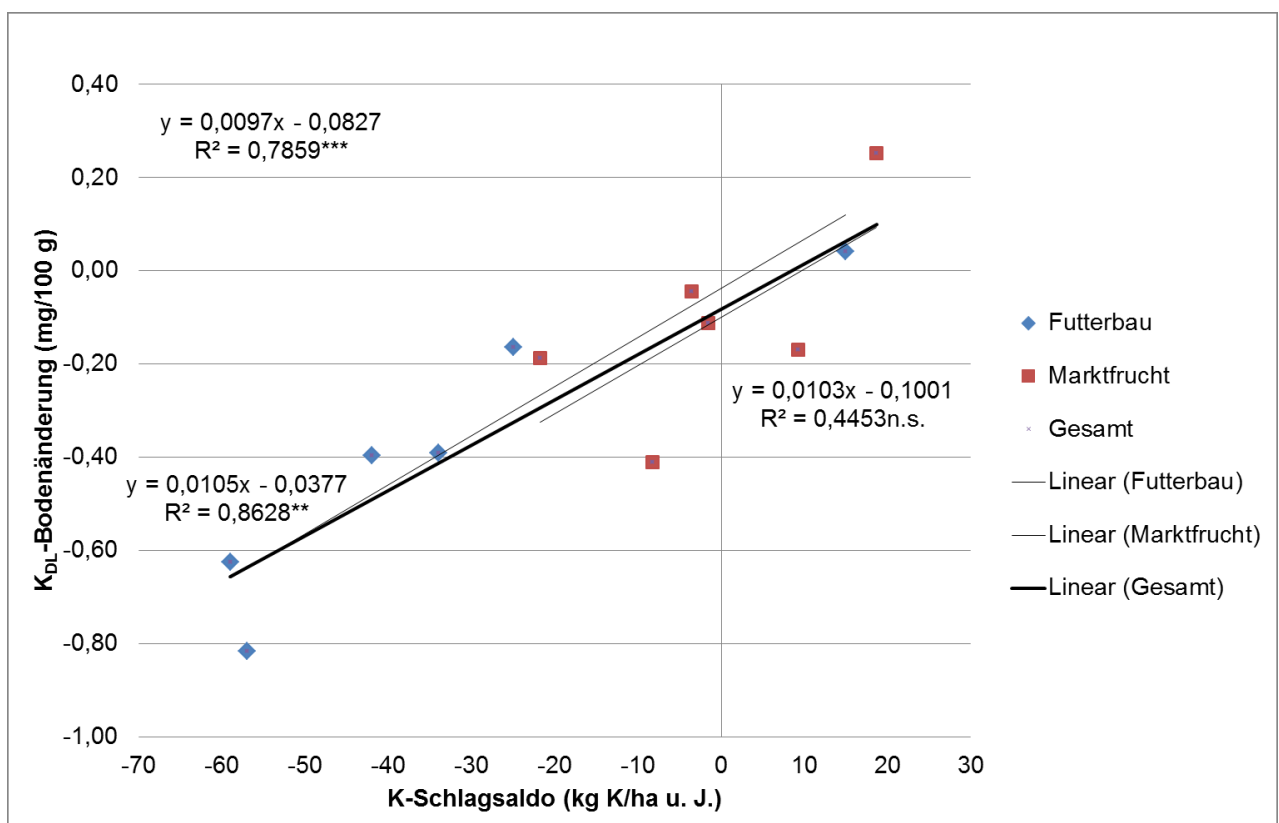
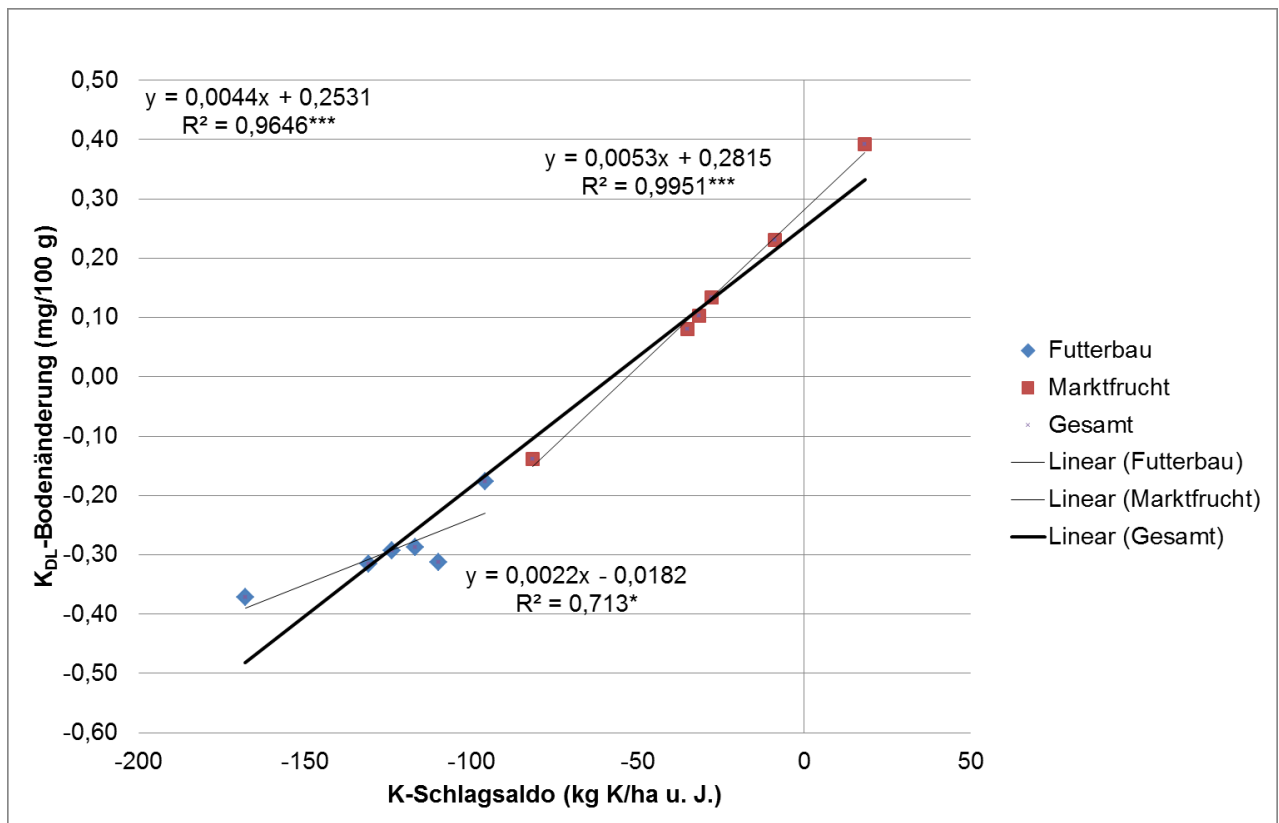


Abbildung 97: Übereinstimmung der statistischen Beziehungen zwischen den korrigierten K-Salden und der Veränderung der DL-löslichen K-Gehalte im Boden der Systeme Futterbau und Marktfrucht am Ort Methau (oben; 20 %ige K-Anrechnung) und Spröda (unten; 50 %ige K-Anrechnung im Kleegras-Aufwuchs, jeweils unter Einbeziehung der K_t -Bodenbilanz im Saldo)

4.6.4 Magnesium

Eine steigende Düngung hat ebenfalls eine deutliche Veränderung der Mg-Gehalte des Bodens bewirkt. In der Gesamtheit sind ebenfalls weitgehend lineare Beziehungen zwischen steigenden Mg-Salden und der jährlichen Bodenänderung des CaCl₂-löslichen Magnesiums zu verzeichnen (Abbildung 98). Unter Berücksichtigung der geringeren statistischen Sicherheit der Gleichungen kann aber doch festgestellt werden, dass beim Nährstoff Magnesium offenbar am Ort Methau eine höhere Umsetzung in die pflanzenverfügbare Nährstoffform des Bodens gelingt als am Ort Spröda.

Durch eine Saldodifferenz von 10 kg Mg/ha erfolgt so in Methau eine Veränderung der Mg-Gehalte des Bodens um umgerechnet 2,7 kg Mg (27 %) und am Standort Spröda von 1,9 kg Mg/ha und Jahr (19 %). Aus dem Verlauf der Geraden kann ein Saldowert und demzufolge auch eine Nachlieferung von ungefähr 5 kg Mg/ha am Ort Methau angenommen werden, bei dem keine Bodenänderung stattfindet. Am Ort Spröda sind die Verlagerung und andere Verluste gegenüber der Nachlieferung ausschlaggebend, so dass bei hoher Schwankung positive Nährstoffsalden zwischen 2 kg und 6 kg Mg/ha vorhanden sein müssen, damit der lösliche Mg-Gehalt des Bodens sich nicht verändert (Bodenänderung = 0 mg Mg/100 g Boden).

Nach Aufschlüsselung der Mg-Salden entsprechend den Anbausystemen können vergleichbare Zusammenhänge zwischen den Nährstoffsalden und der Veränderung der Mg-Gehalte des Bodens erkannt werden (siehe Abbildung 99). Es konnte ebenfalls in graphischen Darstellungen aufgezeigt werden, dass die Punktwolken zwischen Futterbau und Marktfrucht sich aufeinander zubewegen, wenn entsprechend korrigierte Mg-Salden Verwendung finden (aus dem Humusumsatz stammende Mg-Mengen, Anrechnung eines Teils der Mg-Mengen von Kleeerasaufwüchsen; auf Grund hoher Streuung ohne Darstellung).

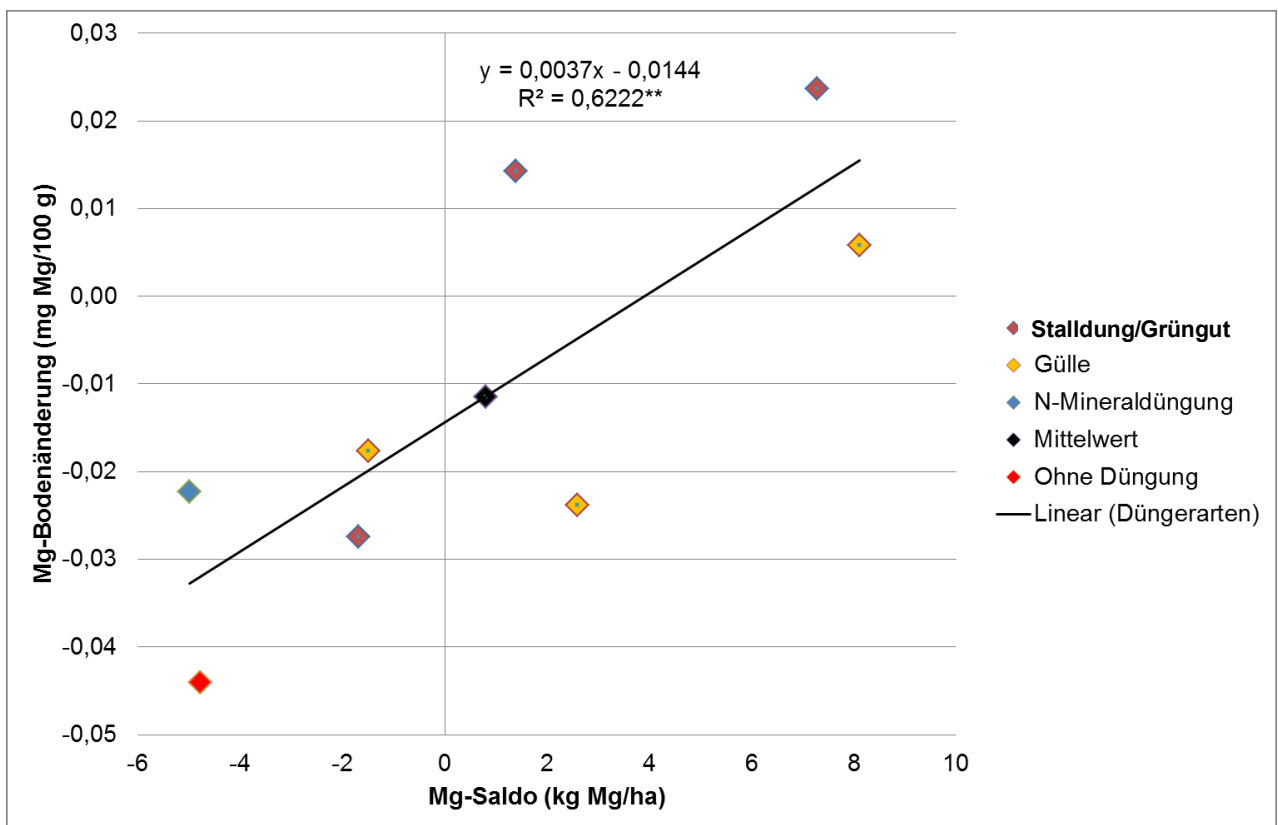
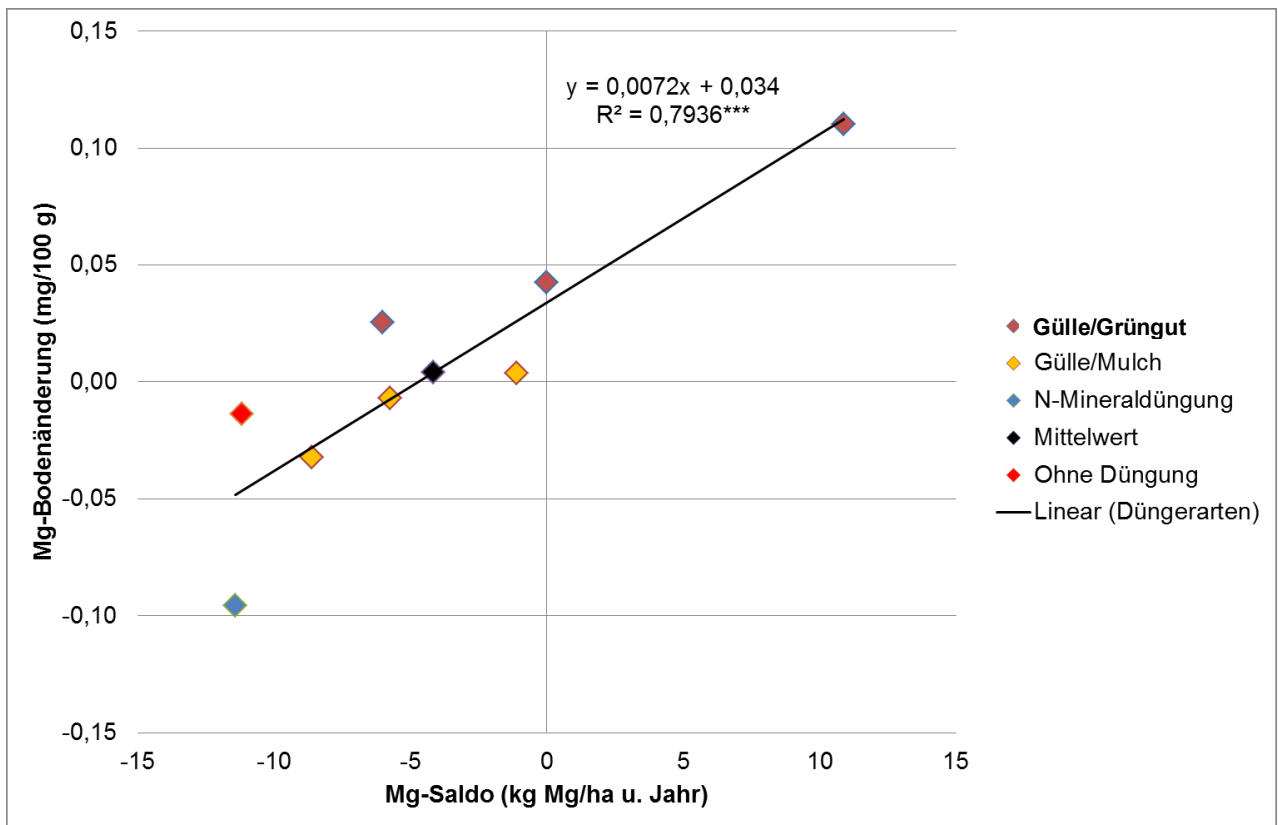


Abbildung 98: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Magnesium und der jährlichen Veränderung der Mg_{CaCl_2} -Gehalte im Boden durch die Zufuhr von verschiedenen organischen Düngemitteln im Durchschnitt der Anbausysteme am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

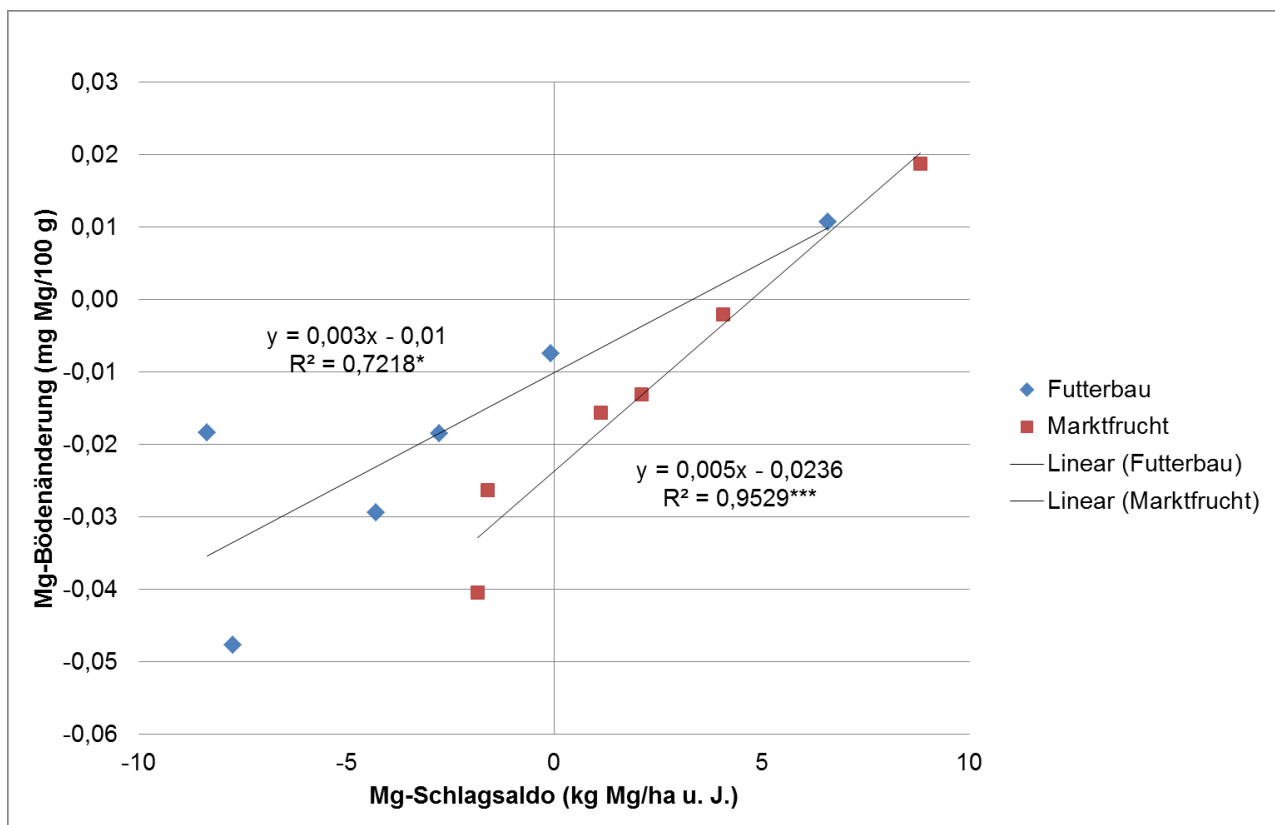
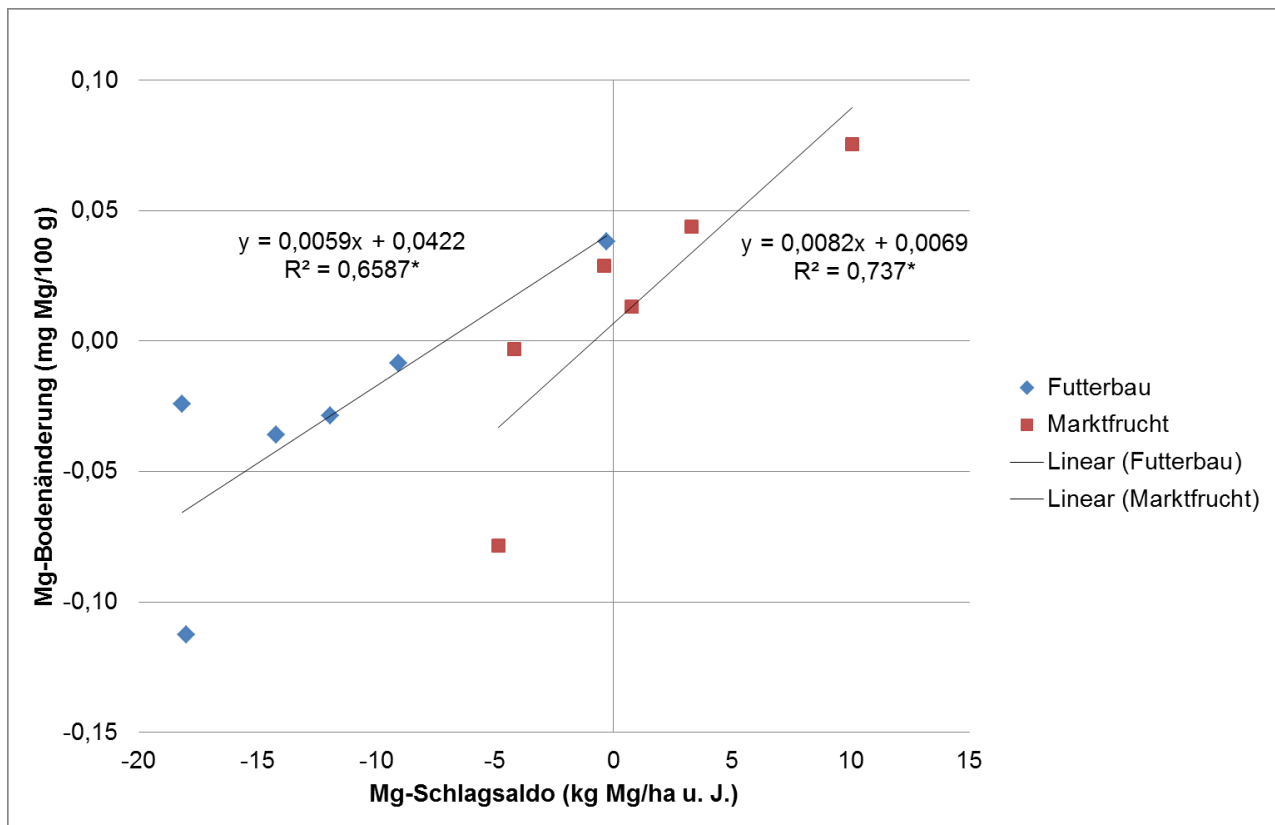


Abbildung 99: Zusammenhang zwischen den Nährstoffsalden an Magnesium und der Veränderung der Mg_{CaCl_2} -Gehalte im Boden in den Varianten des Futterbaus und der Marktfrucht am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten)

4.6.5 Zusammenfassende Anmerkungen

Die untersuchten Düngungs- und Anbauregime haben zu einer bedeutenden Veränderung an Bodenmerkmalen geführt, die auf Grund der großen Datenmenge und der verhältnismäßig langen Versuchsdauer gut quantifiziert werden konnten. Die Auswertungen ergaben weitgehende vergleichbare Veränderungen zwischen den untersuchten Nährstoffen des Bodens, die offensichtlich im Wesentlichen auf den Humusumsatz zurückgeführt werden konnten. Daher können Nährstoffäquivalente berechnet werden, um die Veränderung an Kohlenstoff und Stickstoff des Bodens im Verhältnis zu der Änderung der anderen Nährstoffe darstellen zu können.

Weiterhin konnten die Ursachen für die im Vergleich zum Futterbau deutlich erhöhten Nährstoffsalden des Marktfruchtensystems einer Klärung zugeführt werden. Hierzu konnten die bereits bekannten meistens hoch signifikanten Regressionen zwischen den Nährstoffsalden und folgenden experimentell ermittelten jährlichen Veränderungen der Bodennährstoffe im Verlauf der Versuche verwendet werden: N_t -Gehalte, DL-lösliche Gehalte an P und K. Diese Relationen zwischen Salden und Bodenänderung an Nährstoffen bestehen weitgehend unabhängig von der Höhe und Art der verwendeten Düngemittel.

Durch diese Auswertungen konnte aufgezeigt werden, dass die Unterschiede zwischen den Anbausystemen auf einer (mehrfachen) Anrechnung von Rezyklierungsnährstoffen durch die pflanzliche Zwischenspeicherung und Mulchung an Kleeerasaufwüchsen zurückgeführt werden konnten. Die übergebliebenen Unterschiede zwischen den entsprechend korrigierten Salden beruhen darin, dass im System Futterbau im Durchschnitt etwas geringere Bodenreserven an allen Nährstoffen und an Humus gebildet worden sind bzw. eine höhere Abnahme an Nährstoffen stattgefunden hat als in den vergleichbaren Marktfruchtvarianten. Die MF-Systeme weisen letztlich über eine etwas höhere Nährstoffversorgung auf, die auch zu entsprechend höheren Nährstoffsalden geführt haben. Hierdurch kam es zu einem Anstieg der Nährstoffgehalte und Reserven im Boden, wodurch wiederum auch geringfügig höhere Nährstoffverluste (Atmosphäre, Grundwasser) nachgewiesen werden konnten.

Als zusammenfassendes Ergebnis kann festgehalten werden, dass es zu einer Verbesserung der meistens übertrieben hohen Nährstoffsalden in Systemen mit intensiver Mulchung von Kleeerasaufwüchsen kommt, wenn ein Teil der Aufwüchse als nicht wirksame und recycelte Nährstoffmengen angesehen werden. Die Auswertungen haben ergeben, dass lediglich eine Anrechnung von 30 – 50 % dieser Nährstoff-Mengen in den Salden zu berücksichtigen sind. Wenn nach dieser Vorgabe verfahren wird, dann kann nicht nur eine gute Übereinstimmung zwischen den langfristig als festgelegt bzw. als reaktiv anzusehenden Anteilen der Nährstoffe zwischen den FB- und MF-Varianten erzielt werden. Zwischen den zutreffenden Merkmalen des Bodens und den entsprechend korrigierten Nährstoffsalden hat dann ebenfalls die statistische Signifikanz der Korrelationen zugenommen.

Zwischen diesen Nährstoffsalden und den betreffenden Veränderungen an den festen Bodenreserven dieser Nährstoffe, wie z.B. den jährlichen N_t -Differenzen bzw. N_t -Bodensalden bestehen die engsten Korrelationen. Das trifft beim Nährstoff Stickstoff auch für die Werte an C_{org} -Differenzen und die N-Mineralisation zu (Tabelle 231). Zwischen der jährlichen Entwicklung bzw. den absoluten Gehalten und Mengen an reaktiv wirksamen bzw. löslichen Nährstoffen bestehen ebenfalls verhältnismäßig enge Korrelationen mit den betreffenden entsprechend korrigierten Nährstoffsalden für Stickstoff, Phosphor und Kalium, die meistens sogar bis in 200 cm Bodentiefe nachweisbar sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass entsprechend sorgfältig ermittelte Nährstoffsalden in Form der Schlagbilanz Auskunft geben über die Entwicklung und die Gehalte an den zutreffenden Bodennährstoffen der Ackerkrume und des Untergrundes. Von den geprüften Arten an Nährstoffsalden waren die gewöhnlich ermittelten (aggregierten) Schlagsalden (beim Stickstoff als Bruttobilanz), aber auch die um die Bodensalden korrigierten

Werte als geeignete Formen anzusehen. In Anbausystemen mit höheren Anteilen an gemulchten Leguminosengrasaufwüchsen sollten um die recyklierten Nährstoffmengen korrigierte Salden Verwendung finden (Tabelle 232). Die auf diese Weise korrigierten Nährstoffsalden weisen einerseits eine realistischere Höhe zur Charakterisierung der reaktiv wirkenden Nährstoffüberschüsse auf. Andererseits sind diese Nährstoffsalden durch höhere Korrelationen mit den betreffenden Bodennährstoffen gekennzeichnet.

Tabelle 231: Signifikanzniveau der Korrelationskoeffizienten [r, einseitiger Test] zwischen den korrigierten Nährstoffsalden für Stickstoff, Phosphor und Kalium und verschiedenen Merkmalen der Ackerkrume und des Tiefenprofils des Bodens an den Standorten Methau und Spröda

Merkmal	Methau			Spröda		
	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Stickstoff	Phosphor	Kalium
N-Mineralisation	***			***		
C _{org} -Differenz	***			***		
Gesamt-Nährstoff-Differenz	***	***	***	***	***	***
N _{min} -Frühjahr-Differenz 0-90 cm	**			n.s.		
N _{min} -Herbst-Differenz 0-90 cm	***			n.s.		
DL-lösliche Nährstoff-Differenz 0-30 cm		***	***		***	***
N _{min} -Frühjahr 0-90 cm	(*)			*		
N _{min} -Herbst 0-90 cm	**			**		
DL-lösliche Nährstoffe 0-30 cm		***	***		***	**
DL-lösliche Nährstoffe 0-90 cm		***	***		***	*
Lösliche Nährstoffe 90-200 cm	*	n.s.	n.s.		(*)	n.s.
N-Auswaschung	*			(*)		
Summe reaktive (lösliche) Nährstoffe	**	**	**	(*)	**	*

Tabelle 232: Entwicklung der mittleren Korrelationskoeffizienten [r, einseitiger Test] der Bodenmerkmale bei Verwendung verschiedener Arten an Nährstoffsalden für Stickstoff, Phosphor und Kalium an den Standorten Methau und Spröda

Art Nährstoffsaldo	Methau			Spröda		
	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Stickstoff	Phosphor	Kalium
Nährstoffsaldo (brutto)	0,580*	0,735**	0,764**	0,541*	0,766**	0,511*
Nährstoffsaldo + Bodensaldo	0,507*	0,737**	0,800***	0,579*	0,789**	0,470(*)
Nährstoffsaldo + Mulchkorrektur	0,771**	0,742**	0,766**	0,605*	0,685**	0,683**
Nährstoffsaldo + Bodensaldo + Mulchkorrektur	0,639**	0,714**	0,782**	0,494(*)	0,665**	0,594*

Gelb = höchste Korrelation

4.7 Relation zwischen Nährstoffzufuhr, Nährstoffbereitstellung über Mineralisation und Nährstoffbedarf der Fruchtarten

Eine weitere interessante Frage ist, wie sich im Laufe der Dauerversuche in Folge der Intensivierungsmaßnahmen die Freisetzung an Nährstoffen, insbesondere des Stickstoffs, entwickelt hat und welche Zusammenhänge zwischen der jährlichen Verfügbarkeit dieser Nährstoffe im Boden und der Ertragsentwicklung der angebauten Fruchtarten bestehen. Können quantitative Zusammenhänge zwischen der Verfügbarkeit z.B. an Stickstoff aus der Mineralisation der organischen Substanz unter Berücksichtigung weiterer auftretender Formen an reaktivem Stickstoff, wie den N_{\min} -Mengen, der N-Deposition und der N-Bodenbilanz erstellt werden, die u.a. den nötigen Nährstoffbedarf der heranwachsenden Fruchtarten abdecken?

4.7.1 Humusumsatz und Stickstoff

Auf Basis des Humusumsatzes wurde die N-Mineralisation der Versuche unter Nutzung der Boden-, Wetter-, Düngungs- und Bewirtschaftungsdaten in chronologischer Abfolge in Jahresscheiben mit dem Modell CCB berechnet (siehe Kap. 3.11). An dieser Stelle folgt zunächst eine Dokumentation von Mittelwerten, die jeweils auf Basis der zweiten Versuchshälften für die bereits definierten Fruchtfolgen der Anbauorte Methau und Spröda berechnet worden sind (Tabelle 233).

Für beide Standorte wurden große Unterschiede zwischen den Anbausystemen sowohl in den Humussalden als auch in der N-Mineralisation ermittelt. Durch die Belassung von allen Koppelprodukten und den Kleegrasaufrüchten wurden auf den Marktfruchtflächen deutlich höhere Werte für beide Merkmale berechnet. Darüber hinaus ist auch die Steigerung der Düngungszufuhr durch einen enormen Anstieg beider Werte gekennzeichnet. In Methau sind in den Varianten ohne Düngung bereits positive Humussalden gefunden worden, während in Spröda besonders auf den nicht gedüngten Futterbauflächen es noch zu negativen Humussalden bis zu einer Zufuhr von 1 DE/ha gekommen ist.

Im Laufe der Zeit haben diese Intensivierungsmaßnahmen über einen gesteigerten Humusumsatz zu einer Zunahme der mittleren N-Mineralisation sowohl durch die Düngung als auch durch die spezifische Bewirtschaftung der Anbausysteme geführt. Am Ort Methau ist die N-Mineralisation im Futterbau von ausgangs etwas über 50 kg N/ha (Marktfrucht 99 kg N/ha) auf den Varianten ohne Düngung um ca. 31 kg N/ha (160 %) auf den hoch gedüngten Flächen angestiegen. Auf den Marktfruchtvarianten wurde die N-Mineralisation sogar um 98 kg N/ha (199 %) angehoben.

In Spröda lagen die Ausgangswerte im Futterbau mit 62 kg N/ha (Marktfrucht 125 kg N/ha) bereits auf höherem Niveau als am Vergleichsort Methau. Der Anstieg durch die Intensivierungsmaßnahmen war aber am Ort Spröda auf dem Sandboden im Futterbau mit +26 kg N/ha und 141 % (Marktfrucht +46 kg N/ha, 137 %) z.T. deutlich geringer. In der Tabelle 234 sowie der Tabelle 235 kann die Aufschlüsselung der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Humussalden und die N-Mineralisation an den beiden Versuchsorten in Augenschein genommen werden.

Tabelle 233: Mit dem Modell CCB berechnete Humussalden [oben; kg C_{org}/ha u. Jahr] und N-Mineralisation [unten; kg N/ha u. Jahr] der Fruchtfolge (33,3 % Klee gras, Getreide, Hackfrüchte) unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A – E = Humusversorgungsgruppen)

Methau					Spröda				
0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau									
75,3 C 51,4	157,5 C 58,9	222,6 C 67,0	363,8 D 82,2	204,8 C 64,9	-62,0 B 61,8	-30,9 B 67,9	-7,8 B 74,3	22,1 C 87,4	-19,7 B 72,9
Marktfrucht									
723,0 E 99,1	815,8 E 130,9	971,5 E 152,1	1239,6 E 197,5	937,5 E 144,9	88,0 C 125,1	144,4 C 135,2	155,3 C 144,3	204,9 C 171,4	148,2 C 144,0
Mittelwert									
399,2 D 75,3	486,7 D 94,9	597,1 E 109,6	801,7 E 139,9	571,2 E 104,9	13,0 C 93,5	56,8 C 101,6	73,8 C 109,3	113,5 C 129,4	64,3 C 108,5

Tabelle 234: Mit dem Modell CCB berechnete Humussalden [oben; kg C_{org}/ha u. Jahr] und N-Mineralisation [unten; kg N/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Methau

Methau								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
75,3 51,4	214,6 64,2	332,6 77,9	590,3 103,4	75,3 51,4	100,4 53,6	112,6 56,1	137,3 61,0	101,7 50,4
Marktfrucht								
	SM				M			
723,0 99,1	786,6 120,2	940,2 133,3	1204,0 162,2	723,0 99,1	845,0 141,6	1002,8 170,9	1275,2 232,7	730,2 112,5

Tabelle 235: CCB-berechnete Humussalden [oben; kg C_{org}/ha u. Jahr] und N-Mineralisation [unten; kg N/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten in verschiedenen Düngestufen in den zwei Anbausystemen am Standort Spröda

Spröda								
ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	ohne	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MIN
Futterbau								
	SM				G			
-62,0 61,8	-12,5 72,1	32,8 82,5	86,0 105,6	-62,0 61,8	-49,2 63,7	-48,5 66,1	-41,8 69,2	-63,6 61,9
Marktfrucht								
	M				G			
88,0 125,1	137,9 144,5	159,6 164,1	247,5 209,6	88,0 125,1	151,0 125,9	151,0 124,4	162,3 133,3	91,7 118,5

Je nach Zufuhrhöhe und Umsetzungsbedingungen haben die geprüften Düngemittelarten zu z.T. deutlich unterschiedlichen Werten in den berechneten Humussalden und der N-Mineralisation geführt (Tabelle 236). Die niedrigsten Werte wurden jeweils in den Varianten ohne Düngungszufuhr ermittelt, gefolgt von den Varianten, die eine mineralische N-Düngung erhalten haben. Auch mit Gülledüngung konnte der Humussaldo auf den Futterbauflächen offensichtlich nicht aufrechterhalten werden. Die Güllezufuhr hatte jedoch im Vergleich zu keiner Düngung etwas höhere Werte im Humusumsatz und in der N-Mineralisation zu Folge. Es folgten mit deutlichem Abstand die Varianten mit Stalldung- und Grüngutzufuhr. Mit dem Modell CCB wurden auf beiden Standorten für das Grüngut die höchsten Humussalden und N-Mineralisationswerte ermittelt. Die Humussalden können entsprechend der Ökobewertung den Versorgungsstufen B – E zugewiesen werden.

Tabelle 236: CCB-berechnete Humussalden [oben; kg C_{org}/ha u. Jahr] und N-Mineralisation [unten; kg N/ha u. Jahr] der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der applizierten Düngerarten an den Standorten Methau und Spröda (A – E = Humusversorgungsgruppen)

Methau				Spröda			
Futterbau							
ohne	SM	G	MIN	ohne	SM	G	MIN
75,3 C 51,4	379,2 D 81,8	116,8 C 56,9	101,7 C 50,4	-62,0 B 61,8	35,4 C 86,8	-46,5 B 66,3	-63,6 B 61,9
Marktfrucht							
ohne	SM	M	MIN	ohne	M	G	MIN
723,0 E 99,1	976,9 E 138,6	1041,0 E 181,8	730,2 E 112,5	88,0 C 125,1	181,6 C 172,7	154,7 C 127,9	91,7 C 118,5

Zur Überprüfung der Genauigkeit der berechneten Werte, können die mit dem Modell CCB berechneten Humussalden mit den C_{org}-Differenzwerten verglichen werden, die auf experimentellem Wege an den beiden Versuchsorten ermittelt worden sind (vgl. Tabelle 233, Tabelle 234 u. Tabelle 235 mit Abbildung 79 u. Tabelle 217). Die ermittelten Werte der N-Mineralisation können dagegen nicht an Hand von experimentell ermittelten Daten überprüft werden.

Wie aus Abbildung 100 zunächst eindeutig hervorgeht, wurden zwischen den Düngungsvarianten an beiden Versuchsorten z.T. sehr enge statistische Übereinstimmungen zwischen den experimentell und den berechneten C_{org} -Differenzen in den Versuchen gefunden. Die Wirkung der organischen Düngemittel kann offenbar gut mit Hilfe des Modells CCB ermittelt werden. Lediglich die Unterschiede zwischen den Anbausystemen weisen noch auf Unstimmigkeiten bei dem Umsatz der organischen Nebenprodukte und dem oberflächlich verbrachten Kleeegrasmusch hin. Hierbei scheint noch eine gewisse Überbewertung dieser organischen Materialien zur Humusbildung vorzuliegen, was insbesondere an den Ergebnissen der Methauer Versuche sichtbar wird.

Am Ort Spröda wurden dagegen nur positive Veränderungen der C_{org} -Werte im Verlauf des Versuches nachgewiesen, während mit dem Modell CCB nach entsprechend geringer Zufuhr organischer Materialien auch ein Anteil mit negativen Humussalden ermittelt worden ist. Die ermittelten Differenzen zwischen den meisten Varianten liegen dagegen auf einem hohen Vergleichsniveau, so dass insgesamt auch mit einer genügend hohen Genauigkeit und Brauchbarkeit der berechneten Mineralisationswerte für Stickstoff zu rechnen ist.

Die Tabelle 237 zeigt nun im Vergleich zur N-Gesamtzufuhr einerseits diese ermittelten Werte in der Mineralisation an Stickstoff im Verbund mit weiteren für das pflanzliche Wachstum und der Ertragsbildung potenziell verfügbaren N-Quellen. Die Werte stehen im Vergleich zur kalkulierten Nährstoffaufnahme durch den Spross inklusive Knollen, der Nährstoffaufnahme der Ernte- und Wurzelreste (EWR) bzw. der abzuziehenden N_2 -Bindung (dieser Stickstoff der Leguminosen stammt aus der Atmosphäre) der angebauten Fruchtarten auf den organischen Düngungsvarianten der Anbausysteme an beiden Versuchsorten. Unter Nutzung von Tabellenwerten wurden für die Fruchtarten folgende EWR-Anteile im Vergleich zur Nährstoffaufnahme in der Sprossmenge (= 100 %) veranschlagt:

■ Methau:	Kleegras	39 %
	Getreide	24 %
	Silomais	20 %
	Kartoffeln	20 %
	Fruchtfolge	35 %
■ Spröda:	Kleegras	56 %
	Getreide	28 %
	Silomais	30 %
	Kartoffeln	27 %
	Fruchtfolge	45 %

Hohe Anteile von den mit dem Modell CCB berechneten Werten an N-Mineralisation stammen offenbar aus den N_t -Reserven des Bodens. Auf Grund der teilweise deutlich zu geringen Zufuhren an organischen Materialien haben die N_t -Werte des Bodens um entsprechende Mengen abgenommen. Nach hohen Zufuhren wurden jedoch auch N_t -Zufuhren zu den Bodenreserven ermittelt, die gleichzeitig durch deutliche Zunahmen in der N-Mineralisation gekennzeichnet waren.

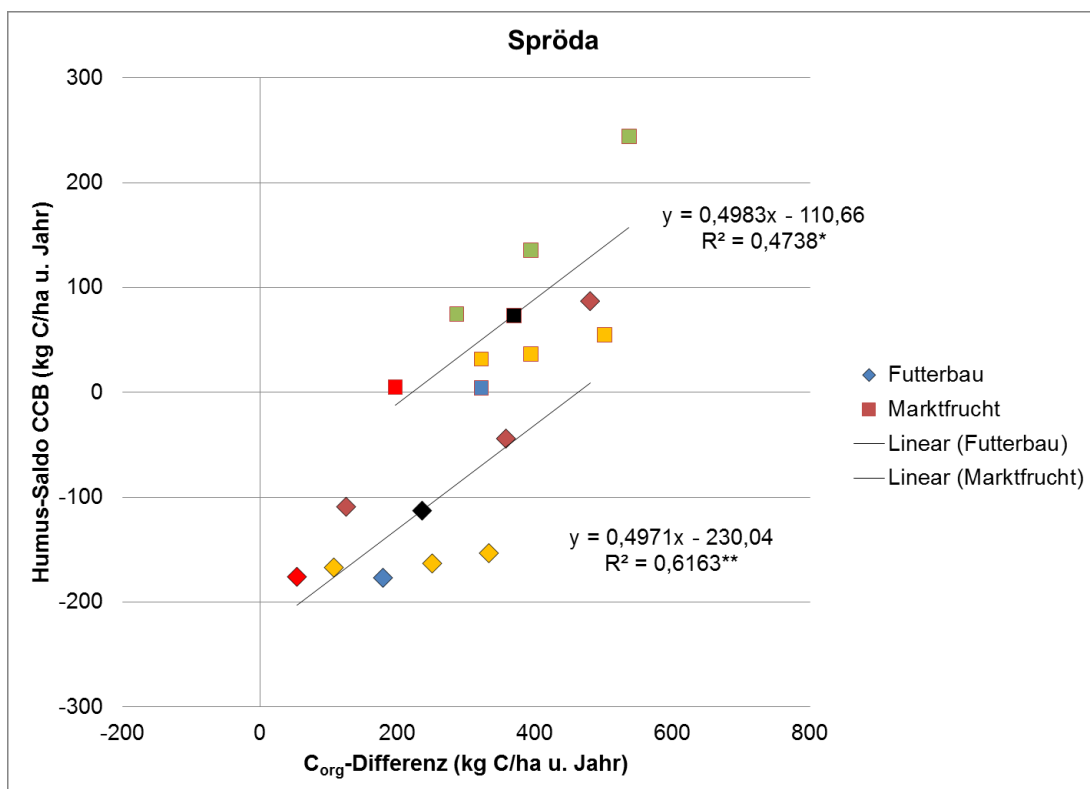
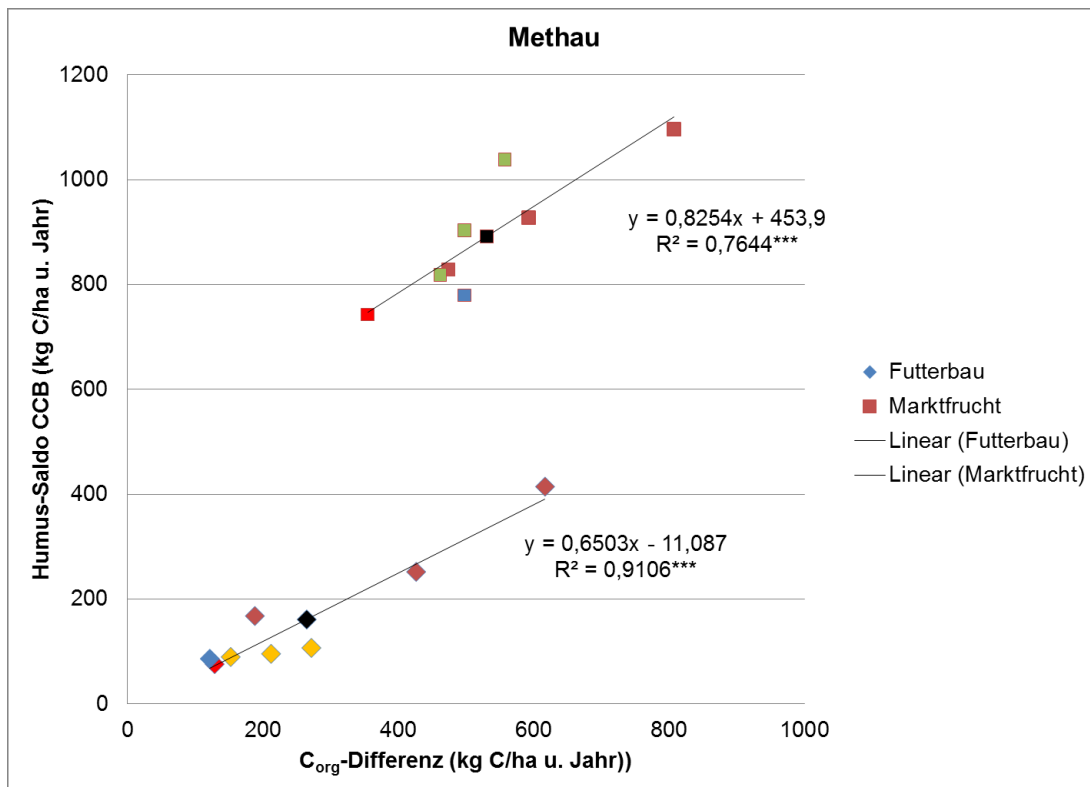


Abbildung 100: Vergleich zwischen gemessener und mit Hilfe des Modells CCB berechneten Veränderungen der C_{org} -Mengen [kg/ha u. Jahr] des Bodens am Versuchsort Methau (oben) und Spröda (unten) (Rot = Ohne Düngung; Violett = Stalldung; Gelb = Gülle; Grün = Grüngut; Blau = N-Mineraldüngung; Schwarz = Mittelwert)

Die aufgeführten Beträge der N-Aufnahme sind von der Fruchtart abhängig. So weisen Mais und Kartoffeln relativ hohe Werte in den aufgenommenen N-Mengen auf, während die N-Aufnahme der Leguminosen aus dem Boden verhältnismäßig gering ist, da ein hoher Anteil über die N_2 -Bindung aus der Atmosphäre stammt. Die aufgenommenen Beträge müssen vom Boden in reaktiver, d.h. in pflanzenverfügbarer Form zur Verfügung

stehen und im Verlauf der Vegetation von den Pflanzenbeständen aufgenommen werden, um die in den Versuchsvarianten erzielten Erträge erreichen zu können. Die Nährstoffaufnahme der zugrunde gelegten sechsfeldrigen Fruchtfolgen bestehen aus folgenden Komponenten:

- 1x EWR-Kleegras (für 2 Jahre) + 2x Kleegras-Spross +
- 2 x EWR-Getreide + 2x Getreide-Spross +
- 1x EWR-Silomais + 1x Silomais-Spross +
- 1x EWR-Kartoffeln + 1x Kartoffel-Spross.

Die zusammengefassten Ergebnisse zum Nährstoff Stickstoff zeigen auf, dass bei Gegenüberstellung von wichtigen Komponenten aus der Fraktion der pflanzenverfügbaren Nährstoffquellen mit den erforderlichen Mengen an aufgenommenen Nährstoffen einzelner Fruchtarten als auch der zugrunde gelegten Fruchtfolge im Durchschnitt der Versuche ein hoher Zusammenhang besteht. So reicht zum Beispiel am Ort Methau im Futterbau in der Regel auf Basis gewöhnlicher Methoden der N-Bedarfsermittlung die Summe aus den N_{\min} -Werten im Frühjahr (0 – 90 cm Bodentiefe) und der N-Mineralisation bereits aus, um die Nährstoffaufnahme der Fruchtfolge (Spross = HP + NP) gut abzudecken. Am Ort Spröda reichen diese pflanzenverfügbaren N-Summen sogar aus, um die Nährstoffaufnahme jeder Pflanzenart in der Regel abzudecken (Tabelle 237).

Zwischen den Orten bestehen somit auch Unterschiede in der Nährstoffausnutzung zur Ertragsbildung. Die geringere Nährstoffeffizienz am Versuchsort Spröda beruht in den meisten Fällen nicht nur auf dem leichten Boden sondern vor allem auf der geringen Ertragsbildung. Auch unter Nutzung vollständigerer Methoden der Düngebedarfsermittlung, so z.B. unter Berücksichtigung der EWR, reicht die Menge an pflanzenverfügbaren N-Quellen aus, um die Ertragsbildung der Fruchtfolgen quantitativ darstellen zu können. So beträgt z.B. in der ersten Variante des Futterbaus in Methau die Summe aus N_{\min} und N-Mineralisation (= 92 kg N/ha), um damit bereits den Sprossentzug der Fruchtfolge von 84 kg N gut abzudecken. Unter Hinzuziehung der Zufuhr sonstiger Quellen wird eine Summe von 147 kg/ha pflanzenverfügbaren Stickstoffs erreicht, wodurch auch der zusätzliche Stickstoff in den Ernte- und Wurzelrückständen der Fruchtfolge mehr als genügend abgedeckt wird und zudem eine gewisse Restmenge an N_{\min} nach der Ernte im Boden gegeben ist.

Auf Grund der Datenzusammenstellung in Tabelle 237 geht aber auch deutlich hervor, dass diese Gegenüberstellung zwischen N-Bereitstellung und N-Bedarf zwar für den Durchschnitt der Fruchtfolgen übereinstimmt, aber für einzelne Fruchtarten bestehen deutliche Unterschiede. Die Nährstoffbereitstellung war für Kleegras und auch für die Getreidearten ausreichend hoch, um den Nährstoffbedarf dieser Arten abzudecken. In Folge der Intensitätsstufen war der Ertragsanstieg bei diesen Kulturen zudem nur verhältnismäßig gering ausgefallen.

Bei den Fruchtarten Mais und Kartoffeln waren z.T. deutlich höhere N-Mengen zur Abdeckung der Nährstoffaufnahme erforderlich, so dass die für den Fruchtfolgedurchschnitt dargestellten Mengen an N-Mineralisation nicht ausgereicht haben (Tabelle 237). Eine jeweils höhere Düngung führte bei diesen Arten daher zu einem deutlicheren Ertragsanstieg, wodurch für diese Fruchtarten die Verfügbarkeit an reaktivem Stickstoff auch als ertragsbegrenzend angesehen werden konnte.

Die Ertragsveränderung richtete sich hierbei in der Regel nicht in erster Linie an den N_{\min} -Gehalten aus, die sich in den Versuchen in Folge einer steigenden Intensität nur relativ gering verändert haben. Dagegen wird ein enger Zusammenhang zwischen den Erträgen und der N-Mineralisation sichtbar, der mit steigender Intensität noch deutlicher sichtbar wird. Da bei den Marktfruchtvarianten der Anteil an recyceltem Stickstoff in den ermittelten Mineralisationsmengen durch das Modell CCB noch nicht abgeschätzt werden konnte, soll auf eine nähere Analyse dieser Prüfglieder verzichtet werden.

Tabelle 237: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr sowie an pflanzenverfügbaren Formen der Zufuhr an Stickstoff [kg N/ha u. Jahr] unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Methau Fruchtfolge						Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Zufuhr (gesamt)	133,3	179,7	211,1	275,1	199,8	95,4	127,9	155,4	215,9	148,7
Zufuhr (reaktiv)										
N _{min} Frühjahr	41	47	46	47	45	47	40	50	54	48
Mineralis. (CCB)	51	59	67	82	65	62	68	74	84	72
Sonstige	55	55	55	55	55	40	40	40	40	40
Summe	147	161	168	184	165	149	148	164	178	160
Bodensaldo	+43	+18	+5	-13	+13	+39	+29	+13	+5	+22
N _{min} -Herbst	38	43	48	55	46	33	35	33	45	37
Aufnahme										
Kleegras Spross	258,6	283,8	287,7	290,3	280,1	172,2	173,5	160,6	170,3	169,1
EWR	106,9	108,9	109,2	109,6	108,7	94,2	94,6	94,0	94,9	94,4
N ₂ -Bindung	-238	-264	-259	-260	-255	-133	-137	-129	-132	-133
Getreide Spross	98,8	103,5	107,6	115,5	106,3	69,6	75,9	72,9	77,4	73,9
EWR	24,9	25,5	25,6	25,7	25,4	20,6	20,9	20,8	21,0	20,8
Mais Spross	142,4	166,4	180,5	185,6	168,8	70,7	71,8	73,9	75,7	73,0
EWR	26,0	28,0	28,3	28,6	27,7	22,3	22,6	22,4	22,4	22,4
Kartoffel Spross	120,6	172,7	190,3	198,1	170,4	71,4	90,3	85,5	95,1	85,6
EWR	28,0	31,4	31,7	32,8	31,0	22,1	23,8	24,0	24,7	23,7
Fruchtfolge ohne										
EWR	83,6	97,6	107,2	112,6	100,3	60,0	64,5	61,4	67,1	63,1
mit EWR	118,8	134,2	143,9	149,7	136,7	90,0	95,0	91,7	97,8	93,5
Marktfrucht										
Zufuhr	113,5	154,5	186,0	243,6	174,4	95,4	125,5	151,2	204,8	144,2
Zufuhr (reaktiv)										
N _{min} Frühjahr	35	38	47	56	44	46	45	52	50	48
Mineralis. (CCB)	99	131	152	198	145	125	135	144	171	144
Sonstige	55	55	55	55	55	40	40	40	40	40
Summe	189	224	254	309	244	211	220	236	261	232
Bodensaldo	+12	-4	-14	-36	-11	+25	+20	+4	-16	+9
N _{min} -Herbst	42	41	45	63	48	36	33	36	36	35
Aufnahme										
Kleegras Spross	272,5	279,0	279,7	277,4	277,1	158,1	165,5	166,1	170,1	165,0
EWR	106,8	108,0	108,1	108,4	107,8	91,1	92,1	91,9	92,8	92,0
N ₂ -Bindung	-185	-209	-204	-193	-198	-120	-121	-120	-122	-121
Getreide Spross	95,0	97,0	100,6	106,1	99,7	71,7	77,8	75,0	78,6	75,8
EWR	24,5	24,6	24,8	24,9	24,7	20,6	20,8	20,7	20,9	20,8
Mais Spross	122,4	125,7	136,4	148,5	133,2	74,7	68,1	77,3	81,1	75,3
EWR	28,4	29,7	30,3	31,1	29,9	21,7	21,7	21,8	22,0	21,8
Kartoffeln Spross	126,9	151,4	157,7	165,1	150,3	74,0	98,4	100,6	104,1	94,3
EWR	28,6	31,3	31,9	32,8	31,2	22,2	24,5	24,8	25,0	24,1
Fruchtfolge ohne										
EWR	102,4	105,9	107,8	115,8	106,9	61,4	68,4	70,0	73,1	68,2
mit EWR	137,9	142,3	144,5	152,8	143,3	90,8	98,4	100,0	103,4	98,1

4.7.2 Grundnährstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium, Schwefel

Für die Grundnährstoffe können in vereinfachter Form ähnliche Kalkulationen vorgenommen werden (Tabelle 238, Tabelle 239, Tabelle 240 u. Tabelle 241). Für den Nährstoff Phosphor betragen die in der zweiten Versuchshälfte analysierten P_{DL} -Gehalte des Bodens am Ort Methau im Futterbau in der ungedüngten Variante 4,7 (und nach hoher Düngung 6,1) mg P/100 g Boden (1 mg P/100 g = 38,1 kg P/ha). Die Bodenbilanz an Phosphor betrug ohne Düngung -6,6 (nach hoher Düngung +0,3) kg P/ha und Jahr und es wurde eine P-Mineralisation um 4,3 (6,8) kg P/ha aus dem Humusumsatz veranschlagt (Tabelle 238). Unter Zugrundelegung ähnlicher Relationen zwischen den Spross- und den EWR-Mengen der Fruchtarten beim Nährstoff Phosphor können für die nicht gedüngte Variante ein Gesamtentzug durch die Fruchtfolge von 32 kg (hoch gedüngte Variante von 39 kg) P/ha berechnet werden. Klee gras und Silomais weisen nach diesen Ergebnissen verhältnismäßig hohe P-Aufnahmen auf.

Es ist zu erkennen, dass beim Nährstoff Phosphor die Bereitstellung von P durch die Mineralisation offenbar bei weitem nicht ausreicht, um den Bedarf für die Ertragsbildung der Fruchtarten abzudecken. Der erforderliche Nährstoffbedarf kann demgegenüber aber relativ einfach durch die pflanzenverfügbaren Gehalte des Bodens abgedeckt werden, wenn diese Reserven nicht zu weit abfallen oder bereits sehr niedrige Ausgangswerte vorhanden sind. So hat z.B. die Aufnahme von 32 kg P/ha lediglich rechnerisch eine Herabsetzung der DL-löslichen P-Reserven von 0,8 mg P/100 g Boden zur Folge. Selbst wenn direkt um die Pflanzenwurzeln eine höhere Herabsetzung zu berücksichtigen ist, reichen die vorhandenen Reserven in diesen Versuchen in allen Varianten aus, um den Bedarf im Laufe der Vegetation abzudecken.

Am Versuchsort Spröda werden ähnlich hohe P_{DL} -Gehalte im Boden vorgefunden. An diesem Ort reichen diese pflanzenverfügbaren P-Reserven ebenfalls gut aus, um den meistens nur halb so hohen Nährstoffbedarf an Phosphor abzudecken. Hierzu würde es lediglich zu einer zwischenzeitlichen Herabsetzung der DL-löslichen P-Reserven um 0,4 – 0,5 mg P/100 g Boden kommen (Tabelle 238).

Tabelle 238: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Phosphor [kg P/ha u. Jahr] unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A–E-Klassen nach KOLBE, 2019: Ökolandbau)

Methau Fruchtfolge						Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Zufuhr	0,0	9,8	19,0	36,1	16,2	0,0	5,1	10,0	20,6	8,9
Zufuhr reaktiv										
P _{DL} -Gehalt [mg/100g]	4,67 D			6,10 D		4,90 D			6,28 D	
Bodensaldo P _{DL} [kg/ha u. J.]	-6,62			+0,28		-9,19			+0,73	
P _{DL} -Änderung durch Aufnahme [mg/100g]	-0,84			-1,01		-0,40			-0,45	
Mineralisation (CCB) [kg P/ha u.J.]	4,26			6,82		5,13			7,26	
Aufnahme										
Kleegrass Spross	27,3	30,0	30,2	30,4	29,5	18,3	18,7	17,7	19,0	18,4
Getreide Spross	18,3	21,1	20,8	21,6	20,4	11,3	12,2	11,8	12,9	12,0
Mais Spross	33,2	39,3	39,8	41,7	38,5	14,2	17,5	17,3	17,3	16,6
Kartoffeln Spross	18,8	23,3	25,9	26,0	23,5	9,5	11,4	11,9	12,7	11,3
Fruchtfolge Spross	23,9	27,5	27,9	28,6	27,0	13,8	15,1	14,7	15,6	14,8
EWR	8			10		6			7	
Marktfrucht										
Zufuhr	0,0	8,0	16,0	30,5	13,6	0,0	4,4	8,8	16,2	7,4
Zufuhr reaktiv										
P _{DL} -Gehalt [mg/100g]	4,88 D			6,18 D		4,97 D			11,57 DE	
Bodensaldo P _{DL} [kg/ha u. J.]	-1,42			+2,11		-6,63			+4,89	
P _{DL} -Änderung durch Aufnahme [mg/100g]	-0,87			-0,98		-0,39			-0,46	
Mineralisation (CCB) [kg P/ha u.J.]	8,22			16,39		10,38			14,23	
Aufnahme										
Kleegrass Spross	29,7	30,2	30,7	31,0	30,4	17,0	18,3	18,9	19,2	18,3
Getreide Spross	19,9	19,7	20,3	20,3	20,1	11,3	12,6	12,2	12,5	12,1
Mais Spross	33,7	35,6	37,7	38,3	36,3	14,9	17,5	19,4	19,5	17,8
Kartoffeln Spross	17,4	21,5	21,8	22,1	20,7	9,7	11,8	12,0	12,9	11,6
Fruchtfolge Spross	25,1	26,2	26,9	27,2	26,3	13,5	15,2	12,0	16,0	15,1
EWR	8			10		6		15,6	7	

In der Tabelle 239 sowie Tabelle 240 wurden die Ergebnisse zwischen der Bereitstellung an reaktiven Nährstoffquellen und den erforderlichen Mengen der Pflanzenaufnahme für die Nährstoffe Kalium und Magnesium zusammengestellt. Besonders an Kalium werden erhebliche Mengen zur Substanzbildung von den Pflanzen aufgenommen, vor allem von den Fruchtarten Kleegrass und Kartoffeln, während durch die Getreidearten nur verhältnismäßig geringe Nährstoffmengen ausreichen (Tabelle 239). Im Durchschnitt der veranschlagten Fruchtfolge sind am Beispiel des Ortes Methau durchaus K-Mengen zwischen 200 – 250 kg/ha zur Ertragsbildung erforderlich. Hierdurch würden sich die K_{DL}-Gehalte des Bodens ungefähr zwischen 5 mg und 7 mg/100 g zwischenzeitlich reduzieren können. In Anbetracht der relativ hohen Ausgangsgehalte ist eine derartige K-Entnahme ohne weiteres möglich, zumal oft besonders die Gehalte an löslichem Kalium im Verlauf der Vegetation noch deutlich ansteigen können (siehe erhebliche Freisetzungsmengen an Kalium aber auch an Magnesium im Rahmen der Mineralisation und anderer bodenchemischer Prozesse).

Für den Nährstoff Magnesium bestehen am Ort Methau ebenfalls keine Engpässe zwischen Verfügbarkeit und Nährstoffbedarf (Tabelle 240). Die konventionelle Klasse B wird zudem im Ökolandbau als ausreichend angesehen, um den Bedarf optimal abzusichern. Am Ort Spröda hingegen wurde die Versorgungsklasse A in den Varianten mit keiner oder niedriger organischer Düngung erreicht. An diesem leichten Standort können die Mg-Vorräte des Bodens durchaus als ertragsbegrenzend angesehen werden. In diesen Fällen gelingt den Pflanzen es nicht mehr, über eine zwischenzeitliche Absenkung der geringen verfügbaren Mg-Gehalte des Bodens ihren Nährstoffbedarf zu decken.

Tabelle 239: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Kalium [kg K/ha u. Jahr] unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A–E-Klassen nach KOLBE, 2019: Ökolandbau)

Methau Fruchtfolge						Spröda Fruchtfolge				
Kriterium	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Zufuhr	0,0	42,6	83,2	159,5	71,3	0,0	32,9	65,7	123,1	55,4
Zufuhr reaktiv										
K _{DL} -Gehalt (mg/100g)	9,13DE			11,02DE		7,20DE			18,25E	
Bodensaldo K _{DL} [kg/ha u. J.]	-11,89			-6,74		-40,92			+2,09	
K _{DL} -Änderung durch Aufnahme [mg/100g]	-5,15			-6,49		-3,02			-3,52	
Mineralisation (CCB) [kg K/ha u.J.]	64,21			102,69		77,27			109,28	
Aufnahme										
Kleegras Spross	247,2	269,6	271,6	275,7	267,0	181,9	188,6	177,0	195,4	185,7
Getreide Spross	46,6	48,3	50,3	53,6	49,7	34,0	35,7	34,6	37,8	35,6
Mais Spross	131,3	157,8	172,8	186,5	162,1	100,8	111,6	114,6	116,2	110,8
Kartoffeln Spross	153,0	212,3	233,0	245,8	211,0	94,3	133,4	135,0	145,3	127,0
Fruchtfolge Spross	145,3	167,7	174,9	183,1	167,8	104,5	115,6	112,1	121,3	113,4
EWR	51			64		47			55	
Marktfrucht										
Zufuhr	0,0	44,5	88,7	172,2	76,4	0,0	24,1	48,2	89,5	40,5
Zufuhr reaktiv										
K _{DL} -Gehalt [mg/100g]	13,13DE			17,50 E		11,24DE			17,02 E	
Bodensaldo K _{DL} [kg/ha u. J.]	+3,08			+14,97		-9,44			+12,60	
K _{DL} -Änderung durch Aufnahme [mg/100g]	-5,90			-6,52		-2,95			-3,34	
Mineralisation (CCB) [kg K/ha u.J.]	123,85			246,81		156,33			214,27	
Aufnahme										
Kleegras Spross	292,2	297,7	299,9	309,4	299,8	183,0	184,3	190,5	198,1	189,0
Getreide Spross	49,5	46,4	48,7	47,3	48,0	36,0	37,7	35,3	35,7	36,1
Mais Spross	124,9	126,4	136,8	145,3	133,4	69,0	66,3	77,7	76,4	72,4
Kartoffeln Spross	191,5	223,3	231,7	247,8	223,6	103,3	139,3	143,3	149,1	133,7
Fruchtfolge Spross	166,6	173,0	177,6	184,4	175,4	101,7	108,3	112,1	115,5	109,4
EWR	58			64		46			52	

Tabelle 240: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Magnesium [kg Mg/ha u. Jahr] unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda (A–E-Klassen nach ALBERT et al., 2007: konvention. Landbau)

Kriterium	Methau Fruchtfolge					Spröda Fruchtfolge				
	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Zufuhr	0,0	7,3	14,1	26,5	12,0	0,0	4,2	8,3	16,0	7,1
Zufuhr reaktiv										
Mg _{CaCl2} -Gehalt [mg/100g]	6,86 B			7,73 B		2,34AB			3,07 B	
Bodensaldo Mg _{CaCl2} [kg/ha u. J.]	-0,92			+1,45		-2,39			+0,54	
Mg _{CaCl2} -Änderung durch Aufnahme [mg/100g]	-0,58			-0,65		-0,20			-0,25	
Mineralisation (CCB) [kg Mg/ha u.J.]	33,39			53,40		40,18			56,83	
Aufnahme										
Kleegrass Spross	24,6	25,5	25,5	25,6	25,3	11,3	11,8	11,2	12,5	11,7
Getreide Spross	7,0	7,9	7,6	7,9	7,6	3,6	4,0	3,7	4,0	3,8
Mais Spross	23,1	26,4	24,8	24,9	24,8	7,8	9,0	9,3	9,0	8,8
Kartoffeln Spross	9,7	13,3	14,9	15,7	13,4	5,6	7,8	7,8	8,5	7,4
Fruchtfolge Spross	16,0	17,8	17,6	17,9	17,3	7,2	8,0	7,8	8,4	7,9
Fruchtfolge EWR	6			7		3			4	
Marktfrucht										
Zufuhr	0,0	5,3	10,7	20,1	9,0	0,0	3,2	6,4	11,5	5,3
Zufuhr reaktiv										
Mg _{CaCl2} -Gehalt [mg/100g]	7,16 B			8,26 B		2,13 A			2,93 B	
Bodensaldo Mg _{CaCl2} [kg/ha u. J.]	-0,12			+2,87		-2,02			+0,94	
Mg _{CaCl2} -Änderung durch Aufnahme [mg/100g]	-0,52			-0,57		-0,20			-0,24	
Mineralisation (CCB) [kg Mg/ha u.J.]	64,40			128,34		81,29			111,42	
Aufnahme										
Kleegrass Spross	22,9	23,7	24,2	23,3	23,5	10,3	11,2	11,4	11,7	11,1
Getreide Spross	7,8	7,5	7,4	7,5	7,5	3,4	3,8	3,7	3,7	3,7
Mais Spross	17,5	18,1	19,3	19,0	18,5	7,6	8,5	10,1	9,7	9,0
Kartoffeln Spross	10,3	12,8	13,3	13,2	12,4	6,2	8,0	8,6	8,8	7,9
Fruchtfolge Spross	14,8	15,5	16,0	15,6	15,5	6,9	7,8	8,1	8,2	7,7
Fruchtfolge EWR	5			6		3			4	

Für den Nährstoff Schwefel wurden die S_{min}-Reserven im Frühjahr sowohl von 0 – 30 cm als auch von 0 – 90 cm Bodentiefe aufgeführt (Tabelle 241). Besonders im Unterboden befinden sich noch erhebliche Reserven an Schwefel aus den hohen S-Depositionen der vorausgehenden Jahrzehnte. Zur zweiten Versuchsphase konnten somit zudem noch Werte von ca. 10 kg S/ha an jährlicher Deposition veranschlagt werden.

Außerdem ist zu erkennen, dass die überschlagsmäßig veranschlagte S-Mineralisation am Ort Methau sowohl im Futterbau-System als auch auf den Marktfrucht-Flächen in den Varianten ohne Düngungszufuhr nicht ausreicht, um den Bedarf zur Nährstoffaufnahme der Fruchtarten alleine abzudecken. Besonders Kleegrass,

auch wegen der hohen EWR-Anteile, sowie Silomais weisen erhebliche Aufnahmemengen an Schwefel zur Ertragsbildung auf. Da in der Summe zwischen den S_{\min} , den S-Depositionswerten und der S-Mineralisation noch genügend Reserven zur Verfügung standen, war die S-Abdeckung der Fruchtarten nach dieser Aufstellung für beide Versuchsorte noch ohne Probleme möglich.

Tabelle 241: Nährstoffaufnahme der Fruchtarten in Relation zur Gesamt-Nährstoffzufuhr an Schwefel [kg S/ha u. Jahr] unter Berücksichtigung der Düngungsintensität an den Standorten Methau und Spröda

Kriterium	Methau Fruchtfolge					Spröda Fruchtfolge				
	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
Futterbau										
Zufuhr	11,7	15,1	18,1	23,9	17,2	12,3	15,8	19,2	25,6	18,2
Zufuhr reaktiv										
S_{\min} (0-30cm)	21			15		45			63	
S_{\min} (0-90cm) [kg/ha]	60			59		63			68	
S-Deposition [kg/ha]	10			10		10			10	
Mineralisation (CCB) [kg S/ha u.J.]	5,14			8,22		6,18			8,74	
Aufnahme										
Klee gras Spross	18,0	19,9	20,0	20,3	19,6	11,0	11,1	10,4	11,0	10,9
Getreide Spross	9,1	9,2	9,4	9,9	9,4	4,8	5,1	4,9	5,2	5,0
Mais Spross	20,7	24,2	24,8	24,9	23,7	10,7	11,1	11,1	11,3	11,0
Kartoffeln Spross	10,7	13,6	15,2	15,0	13,6	5,8	7,0	7,2	7,8	6,9
Fruchtfolge Spross	14,3	16,0	16,5	16,7	15,9	8,0	8,4	8,1	8,6	8,3
Fruchtfolge EWR	5			6		4			4	
Marktfrucht										
Zufuhr	11,7	14,8	18,0	23,9	17,1	12,3	14,6	16,8	20,6	16,1
Zufuhr reaktiv										
S_{\min} (0-30cm)	18			13		36			29	
S_{\min} (0-90cm) [kg/ha]	58			61		71			61	
S-Deposition [kg/ha]	10			10		10			10	
Mineralisation (CCB) [kg S/ha u.J.]	9,91			19,75		12,51			17,14	
Aufnahme										
Klee gras Spross	18,8	19,6	19,6	19,7	19,4	10,4	10,7	10,6	11,0	10,7
Getreide Spross	9,1	8,8	9,0	8,9	9,0	4,9	4,9	4,9	5,0	4,9
Mais Spross	19,4	19,9	20,7	21,8	20,4	9,7	9,2	10,3	10,8	10,0
Kartoffeln Spross	10,7	13,0	13,4	13,7	12,7	5,8	7,6	7,9	8,1	7,4
Fruchtfolge Spross	14,3	15,0	15,2	15,5	15,0	7,7	8,0	8,2	8,5	8,1
Fruchtfolge EWR	5			6		4			4	

Die Erkenntnisse aus diesem Kapitel können folgendermaßen zusammengefasst werden. Eine Beschränkung der Ertragsbildung der Fruchtarten kann auf Grund der vorliegenden Ergebnisse fast nur für den Nährstoff Stickstoff veranschlagt werden. Hierbei führen anscheinend geringe Reserven an diesem Nährstoff in erster Linie zu einer Ertragsbegrenzung bei den Fruchtarten, die durch relativ große Mengen an Nährstoffaufnahmen

gekennzeichnet sind: Mais, Kartoffeln. Daher würden sich Kalkulationsverfahren zum Stickstoff auch im Ökolandbau lohnen, um zu einer besseren Düngebedarfsermittlung zu kommen.

In zweiter Linie könnten die Nährstoffreserven für Phosphor (und am Ort Spröda auch an Magnesium) besonders auf den nicht gedüngten Futterbauflächen so knapp werden, dass die Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalten derart abnehmen, so dass die Ertragsbildung hierdurch begrenzt werden könnte. Durch die hohen Reserven im Boden (Untergrund) und die noch zu registrierende S-Deposition war Schwefel in den Versuchen bisher kein begrenzender Faktor zur Ertragsbildung.

4.8 Komprimierte Darstellung der Wirkung von Standort, Anbausystem und Düngung

Von den Dauerversuchen sind in den vorausgehenden Kapiteln aus Ertrags- und Inhaltsstoffmessungen der angebauten Fruchtarten und Fruchtfolgen, Analysen der Ackerkrume und im Tiefenprofil des Bodens und berechneten Werten auch mit Hilfe von Modellen insgesamt weit über 80 Merkmale erfasst und deren Einzelwirkungen umfassend beschrieben worden. Je nach untersuchtem Einflussfaktor konnten Merkmale mit deutlichen Reaktionen, aber auch solche mit geringen oder gar keinen Wirkungen beschrieben werden. Auf Grund der Vielzahl von Ergebnissen besteht deshalb eine gewisse Unübersichtlichkeit über das Wirkungsspektrum der untersuchten Haupteinflussfaktoren. Daher soll in diesem Kapitel mit Hilfe der Anwendung besonderer Methoden versucht werden, sowohl die Wirkungsrichtung und -stärke als auch durch Aufstellung von Rangfolgen die untersuchten Merkmale zu bewerten, damit das Wirkungsspektrum der Einflussfaktoren besser veranschaulicht werden kann.

Wenn, wie in diesen Auswertungen oft beschrieben, z.B. durch Anwendung der Varianzanalyse keine gesicherten Variantenunterschiede bei einzelnen Merkmalen ermittelt werden konnten, so ist der Einsatz von bestimmten multivariaten Methoden manchmal mit einer höheren Erfolgsaussicht behaftet, um die Wirkung der Einflussfaktoren genauer zu beschreiben. So hatte sich auch der Einsatz der Diskriminanzanalyse (DA) bereits in der ersten Versuchsphase bewährt, um alle wesentlichen Varianten an Einflussfaktoren durch Zusammenfassung des vielfältigen Merkmalsspektrums signifikant trennen zu können (BECKMANN et al., 2002). Von den damals erhobenen Merkmalen wurde in der Regel ein hoher Anteil in die jeweiligen DA-Analysen aufgenommen.

Zu den vorliegenden Auswertungen wurde von den insgesamt ermittelten Merkmalen zunächst ein Spektrum von 49 Merkmalen ausgesucht, das insbesondere die zweite Versuchshälfte und die Situation zu Ende der Versuche gut beschreiben kann. Dieses Merkmalsspektrum diente dann dazu, um nachfolgend genannte untersuchte Einflussgrößen, die bei der DA-Methode als Gruppen bezeichnet werden, mathematisch-statistisch trennen zu können:

- Standort (Methau, Spröda)
- Anbausystem (Futterbau, Marktfrucht)
- Düngemittelart (feste organische Düngemittel Stalldung und Grüngut, Gülle, N-Mineraldüngung)
- Düngungsintensität der organischen Düngemittel (0,0 DE, 0,5 DE, 1,0 DE, 2,0 DE/ha).

4.8.1 Standort

Durch die Anwendung der Diskriminanzanalyse konnten die beiden Standorte, wie bereits in der ersten Versuchsphase beschrieben, mit einer sehr hohen statistischen Sicherheit (F-Wert, Wilks' Lambda) und

einem Klassifizierungsergebnis von jeweils 100 % Zuordnung getrennt werden. Folgende Merkmale inklusive deren Wirkungsstärke (%) wurden in die Analyse aufgenommen:

■ N-Effizienz	26,8
■ Silomais-Ertrag	26,6
■ N _t -Differenz Boden	19,3
■ Mg _{CaCl2} -Tief 90 – 200 cm	16,9
■ Kleeertrag	8,8
■ Sedimentationswert Weizen	1,6.

Von der Gesamtzahl an Merkmalen wurde jedoch die überwiegende Anzahl wegen zu geringer Toleranzwerte nicht in die DA-Analyse aufgenommen. Hierdurch wird angedeutet, dass zwischen diesen Merkmalen so enge Korrelationen bestehen, wodurch sie nicht als unabhängige Merkmale angesehen werden können. Im Vergleich zur ersten Versuchsphase hat die Qualität der ermittelten Merkmalsergebnisse daher deutlich zugenommen, so dass die Diskriminanzanalyse zwar nach wie vor als Mittel zur Trennung der Versuchsstandorte geeignet erscheint, deren Ergebnisse jedoch nur noch eine verhältnismäßig geringe Aussagekraft zur Bewertung des Merkmalspektrums zukommt.

In Ergänzung zu diesen statistischen Analysen wurden daher in einer Gegenüberstellung die Differenzen der ermittelten Merkmale in relativem Maßstab der beiden Standorte (Methau = 0,0 %) in abnehmender Rangfolge graphisch dargestellt (Abbildung 101; DA = in der Diskriminanzanalyse aufgenommene Merkmale). Es ist deutlich zu erkennen, dass es im Vergleich zum Standort Methau eine z.T. deutlich unterschiedliche Zusammensetzung des Merkmalspektrums am Standort Spröda zum Versuchsende gegeben hat. Zunächst können Merkmale genannt werden, die z.B. auf Unterschiede in den Bodenarten der Standorte hinweisen. Diese Ergebnisse sprechen für sich, haben aber wenig mit den hier zu behandelnden Einflüssen der zu bewertenden Versuche zu tun. Hierzu zählen u.a. folgende Merkmale: pH-Wert Boden, P-, K- und Mg-Gehalte in der Ackerkrume sowie im Tiefenprofil des Bodens.

Andere Merkmale weisen oft deutliche Differenzen zwischen den beiden Standorten auf und können eher auf Ursachen der Versuchsanstellung zurückgeführt werden. Am Standort Spröda wurden generell weniger Merkmale mit positiven Differenzen als mit negativen Werten im Vergleich zu Methau ermittelt. Zu den positiven Veränderungen gehören vor allem eine Zunahme der Salden der Nährstoffe P, K, S. Die Tiefenverlagerung an Stickstoff (N_{min}-Gehalt) ist auf dem Sandstandort deutlich höher ausgeprägt. Die Nährstoffgehalte an N, Rohprotein und an K sowie der Sedimentationswert liegen in den Fruchtarten der Nichtleguminosen auf z.T. deutlich höherem Niveau. Es folgt eine Reihe von Merkmalen mit keinen oder nur geringen Unterschieden zwischen den Standorten, wie z.B. den N_{min}- und den S_{min}-Gehalten und der N-Mineralisation des Bodens, den P- und den Rohasche-Gehalten sowie den TM- und Nitrat-Gehalten der Fruchtarten.

In Spröda weisen die Merkmale der Nährstoff- und TM-Zuführen, die Gehalte und Differenzen der C_{org}-Gehalte, die N-Effizienz, die Differenz der P-Gehalte des Bodens sowie einige Erträge an Fruchtarten und der GE-Erträge der Fruchtfolge im Vergleich zum Standort Methau ein geringfügig bis mittleres niedrigeres Niveau auf (Abbildung 101). Dagegen sind die Gehalte an löslichem P, K und Mg sowie auch an N_t des Bodens durch die höchsten Abnahmen und Veränderungen während der Versuchszeit am Ort Spröda gekennzeichnet. Diese Ergebnisse weisen auch auf eine verhältnismäßig intensive konventionelle Vorbewirtschaftung in den Jahren vor Beginn des Ökoversuches in Spröda hin.

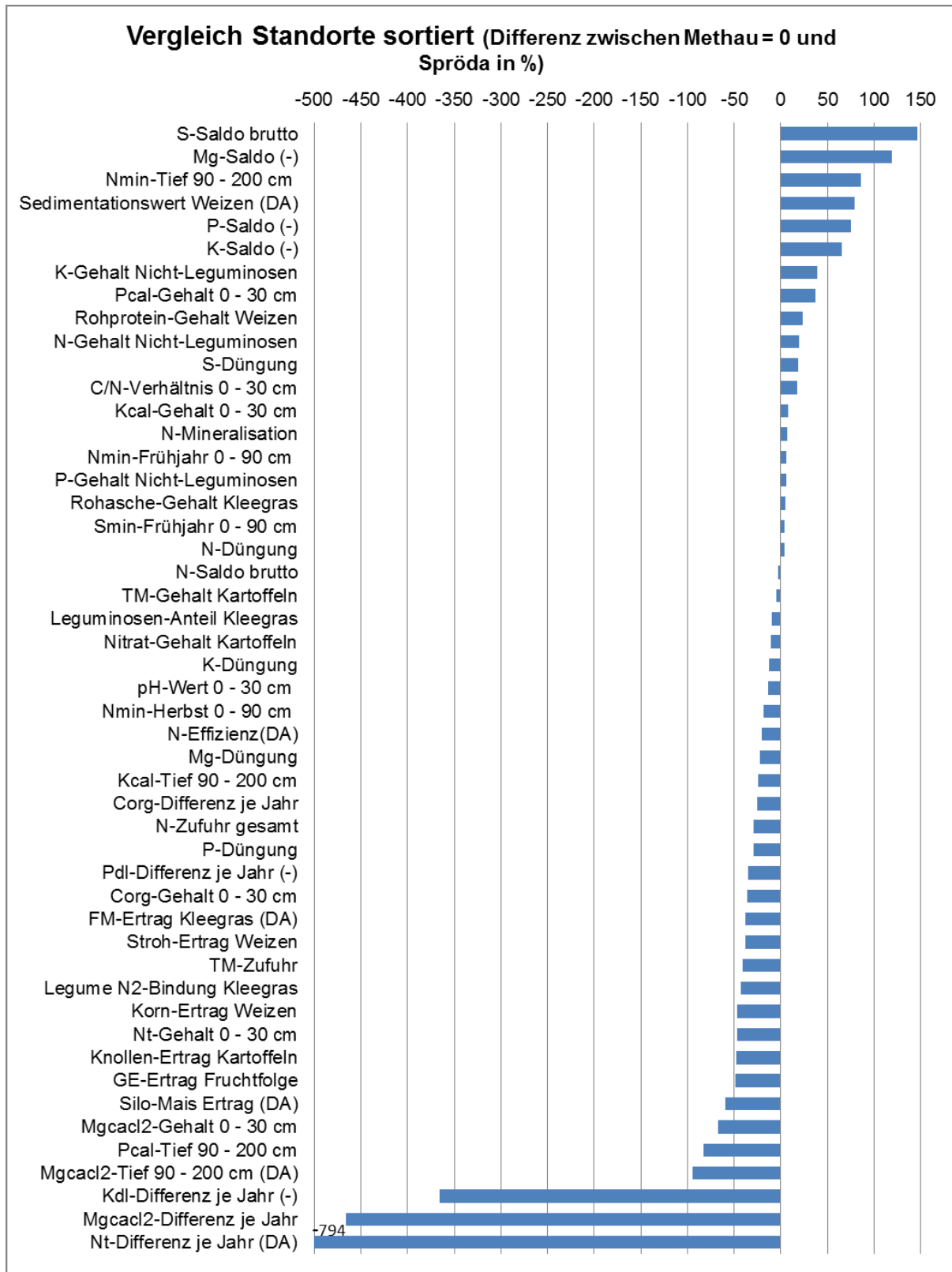


Abbildung 101: Rangfolge der relativen Wirkung der Standorte Methau [= 0,0 %] im Vergleich zu Spröda auf die Veränderung des Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte am Standort Methau; (DA) = Merkmal in Diskriminanzanalyse)

4.8.2 Anbausystem

Die diskriminanzanalytische Trennung zwischen den Anbausystem-Gruppen Futterbau und Marktfrucht weist einen hoch gesicherten F-Wert auf und es wurde ebenfalls ein Klassifizierungsergebnis von jeweils 100 % Zuordnung erreicht. Von insgesamt 49 Merkmalen wurden lediglich folgende sechs Merkmale in die Analyse aufgenommen (Wirkungsstärke in %):

■ N-Gehalt Nichtleguminosen	38,4
■ Rohprotein-Gehalt Weizen	31,1
■ Mg _{CaCl2} -Differenz 0 – 30 cm	14,1
■ Knollenertrag Kartoffeln	11,2
■ Legume N ₂ -Bindung Klee gras	4,2
■ S-Düngung	1,0.

Wie aus Abbildung 102 zu ersehen ist, wurden jeweils aus dem ermittelten Spektrum mit starker positiver und negativer Wirkung sowie auch aus dem Bereich mit sehr geringen Unterschieden zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht einige Merkmale in die DA-Analyse aufgenommen. Durch die Belassung aller Nebenprodukte (Stroh) der Fruchtarten sowie der Mulchung der Klee gras aufwüchse auf den Versuchsflächen bestand der größte Unterschied zwischen beiden Systemen in der TM-Zufuhr, die mit Werten von 385 % im Marktfruchtsystem deutlich höhere Werte annahm. Hierdurch kam es zu einer bedeutenden Zunahme der Nährstoffsalden und daher auch zum Anstieg der Gehalte und der Differenzwerte aller gemessenen Grundnährstoffe (P, K, Mg) sowie auch der berechneten jährlichen Differenzen bei den N_f- und C_{org}-Gehalten des Bodens, wodurch u.a. auch eine höhere Humusbildung angedeutet wird.

Durch die hohe TM-Zufuhr kam es auch zu einem deutlichen Anstieg der N-Mineralisation, obwohl die N_{min}-Gehalte des Bodens inklusive der Tiefenverlagerung an Stickstoff, die Nährstoffgehalte der Nichtleguminosen und der Sedimentationswert von Weizen sich kaum verändert haben. Die Ertragsreaktion der gesamten Fruchtfolge wurde ebenfalls kaum beeinflusst, während die Erträge an Kartoffeln geringfügig höhere Werte und die Erträge an Weizen und Silomais auf den Marktfruchtflächen etwas geringere Werte annahm. Die Zufuhr an organischen Düngemitteln war entsprechend dem Marktfruchtsystem z.T. deutlich geringer ausgeprägt, was offenbar u.a. zu einer Abnahme der S_{min}-Werte im Frühjahr geführt hat. Durch die Belassung der Klee gras aufwüchse wurde auch die legume N₂-Bindung und die gesamte Effizienz des Nährstoffs Stickstoff auf den Marktfruchtflächen im Vergleich zum Futterbau z.T. deutlich negativ beeinflusst (Abbildung 102).

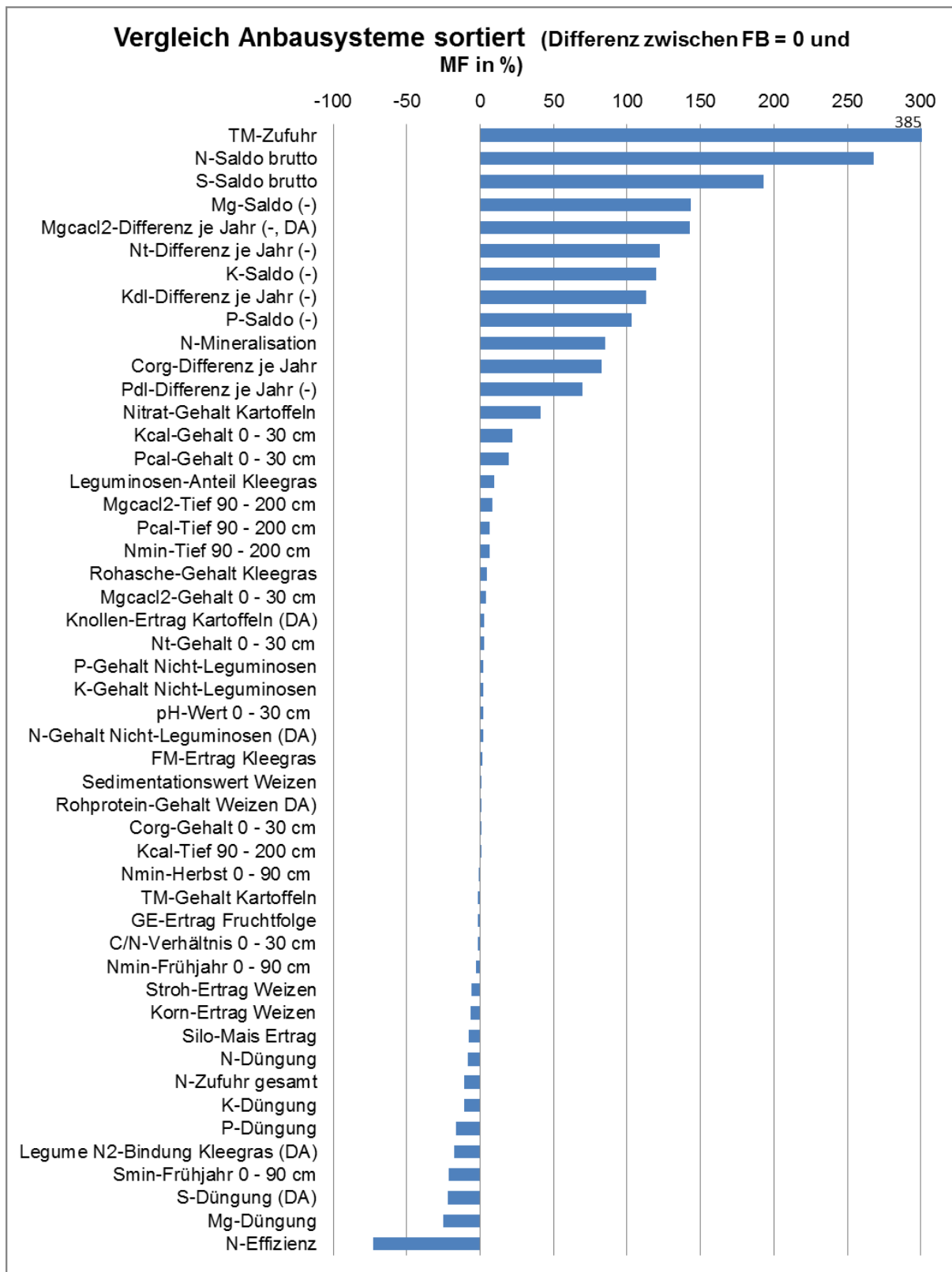


Abbildung 102: Rangfolge der relativen Wirkung der Anbausysteme Futterbau [= 0,0 %] im Vergleich zur Marktf Frucht auf die Veränderung des Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte im System Futterbau; (DA) = Merkmale in Diskriminanzanalyse)

4.8.3 Düngerarten

Zur Aufbereitung des Datenmaterials zur Formulierung der Gruppen für die Düngemittelarten wurden aus rechentechnischen Gründen die Werte für die Grüngutvarianten (M) den Stalldivarianten (SM) hinzuaddiert, so dass diese Gruppe als feste organische Düngemittel tituliert werden kann (SM/M), die im Vergleich zu der Gruppe der Güllevarianten (G) und der Versuchsglieder mit mineralischer N-Düngung (MIN) steht. Die diskriminanzanalytische Verrechnung führte wiederum in den Klassifizierungsergebnissen zu einer jeweils 100%igen Zuordnung und zu einer hoch signifikanten Trennung aller Düngerarten-Gruppen, die durch folgende F-Wert-Matrix gekennzeichnet ist:

	SM/M	G
G	25540***	
MIN	108961***	58278***

Wie aus der Höhe der F-Werte entnommen werden kann, lassen sich die Unterschiede zwischen den festen organischen Düngern auf der einen Seite sowie den Gülledüngern und der Gruppe der N-Mineraldüngung auf der anderen Seite am besten voneinander trennen. Die Anzahl aufgenommener Merkmale ist wiederum relativ gering, folgende Wirkungsstärken (%) konnten diesen Merkmalen zugeschrieben werden:

■ N _t -Differenz Boden	20,5
■ Mg-Saldo	19,4
■ P-Saldo	17,9
■ P _{DL} -Differenz Boden 0 – 30 cm	17,2
■ Mg _{CaCl2} -Differenz Boden 0 – 30 cm	11,4
■ N _{min} -Gehalt Tief 90 – 200 cm	7,2
■ P-Düngung	6,4

Im Vergleich zwischen den bisher untersuchten Düngemitteln oder auch im Vergleich zu den Varianten ohne Düngungszufuhr weisen die aufgenommenen Merkmale deutliche positive oder negative Differenzen auf (Abbildung 103; DA = in Diskriminanzanalyse aufgenommene Merkmale). Auch in der graphischen Darstellung ist zu erkennen, dass zwischen der Wirkung der N-Mineraldüngung und den anderen Düngerarten die größten Unterschiede in der Reaktion der Merkmale bestehen. Dabei liegen die Güllevarianten den Varianten der N-Mineraldüngung etwas näher beieinander als die festen organischen Düngemittel.

Da durch die N-Mineraldüngung keine Zufuhren an anderen Nährstoffen erfolgt sind, bestehen die höchsten negativen Veränderungen in diesen Varianten durch Verringerung der Gehalte und der Salden an den Grundnährstoffen P, K, Mg und S, während die direkte Zufuhr an reaktivem Stickstoff durch den Kalkammonsalpeter zunächst die Leguminosenanteile und besonders die legume N₂-Bindung des Klee-grases stark negativ beeinflusst haben. Dagegen wurden die Ertragsleistungen der angebauten Fruchtarten und die GE-Erträge der gesamten Fruchtfolge im Vergleich zu den organischen Düngemitteln mit nur geringfügigen Unterschieden insgesamt positiv beeinflusst.

Durch die N-Mineraldüngung wurden eine vergleichsweise etwas geringere Gesamtzufuhr an Stickstoff, ein geringerer N-Saldo, eine niedrigere N-Mineralisation und auch eine etwas geringere Abnahme der N-Effizienz ermittelt. Trotzdem wurden die Gehalte an N-haltigen Inhaltsstoffen der Nichtleguminosen, der Sedimentationswert von Weizen und die Gehalte an pflanzenverfügbaren N-Mengen im Boden so deutlich erhöht, dass auch besonders die verlagerten N-Mengen im Tiefenprofil und darüber hinaus auch die P- und Mg-Gehalte im Untergrund besonders durch die N-Mineraldüngung, in deutlich geringerem Umfang auch

durch die Gülledüngung, angehoben worden sind. Durch die vergleichsweise geringe TM-Zufuhr über die Düngemittel erfolgten nach N-Mineraldüngung dagegen nur ein deutlich geringerer Anstieg bzw. eine geringere jährliche Veränderung der C_{org} - und N_f -Gehalte des Bodens (Abbildung 103).

Mit den organischen Düngemitteln wurden demgegenüber höhere Mengen an Trockenmasse dem Boden zugeführt, daher liegen die C_{org} - und N_f -Gehalte und besonders die jährlichen C_{org} - und auch die N_f -Differenzen des Bodens auf deutlich höherem Niveau. Hierdurch wurden also besonders nach Stalldungzufuhr, aber auch nach Gülledüngung eine deutlich höhere zwischenzeitliche Festlegung an Kohlenstoff und Stickstoff im Boden erreicht als nach N-Mineraldüngung.

Da die legume N_2 -Bindung durch die organischen Düngemittel leicht positiv, aber auf keinen Fall negativ beeinflusst worden ist, wie es nach N-Mineraldüngung zu verzeichnen war, sind die Gesamtnährstoffzufuhren an Stickstoff höher als nach N-Mineraldüngung ausgefallen, aber auch die Nährstoffsalden waren nach festen organischen Düngemitteln z.T. deutlich höher. Daher hat die N-Effizienz besonders nach festen und flüssigen organischen Düngern vorübergehend etwas geringere Werte angenommen. Die zwischenzeitlich festgelegten Nährstoffmengen gelten aber nicht als Verluste, da mit der Zeit über die Mineralisation eine vollständige Freisetzung zu erwarten ist.

Im Vergleich zu keiner Düngung sind auch die Erträge der angebauten Fruchtarten und der GE-Ertrag der Fruchtfolge durch Zufuhr der organischen Dünger verhältnismäßig stark angestiegen. Dies kann auch auf die verbesserten Bedingungen zur N-Mineralisation zurückgeführt werden. Insgesamt ist auch die Versorgung an Grundnährstoffen nach organischer Düngung für alle untersuchten Nährstoffe (P, K, Mg, S), gemessen in den Gehalten und den jährlichen Veränderungsraten in der Ackerkrume, besonders nach Stalldung, aber auch nach Gülledüngung angestiegen, wodurch sogar die P- und K-Gehalte in den Nichtleguminosen und die Rohaschewerte im Klee gras etwas positiv reagiert haben. Auf die besondere Wirkung der Stalldungzufuhr für die S-Versorgung sei hingewiesen.

Durch die höhere Mineralisation hat sich die Versorgung mit Stickstoff im Vergleich zu den Varianten mit keiner Düngung verbessert. Das Ausmaß ist aber nach Gülledüngung im Vergleich zur N-Mineraldüngung nur halb so hoch, nach Stalldungzufuhr noch deutlich geringer, wenn man die Entwicklung der N_{min} -Werte im Frühjahr heranzieht, so dass sowohl die N_{min} -Werte im Herbst als auch das Verlagerungspotenzial an Nährstoffen im Tiefenprofil besonders bei den Varianten mit festen organischen Düngern exorbitant geringer ausgefallen ist. Auf Grund des dauerhaft niedrigeren Angebots an reaktivem Stickstoff sind dann aber auch die Nitrat-Gehalte in Kartoffelknollen, die Sedimentationswerte als Maß für die Backqualität von Weizenkörnern bei Anwendung dieser Düngemittel am geringsten angestiegen. Auch im N-Gehalt der Nichtleguminosen und den Rohproteingehalten von Weizen sind kaum Veränderungen im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung zu erkennen (Abbildung 103).

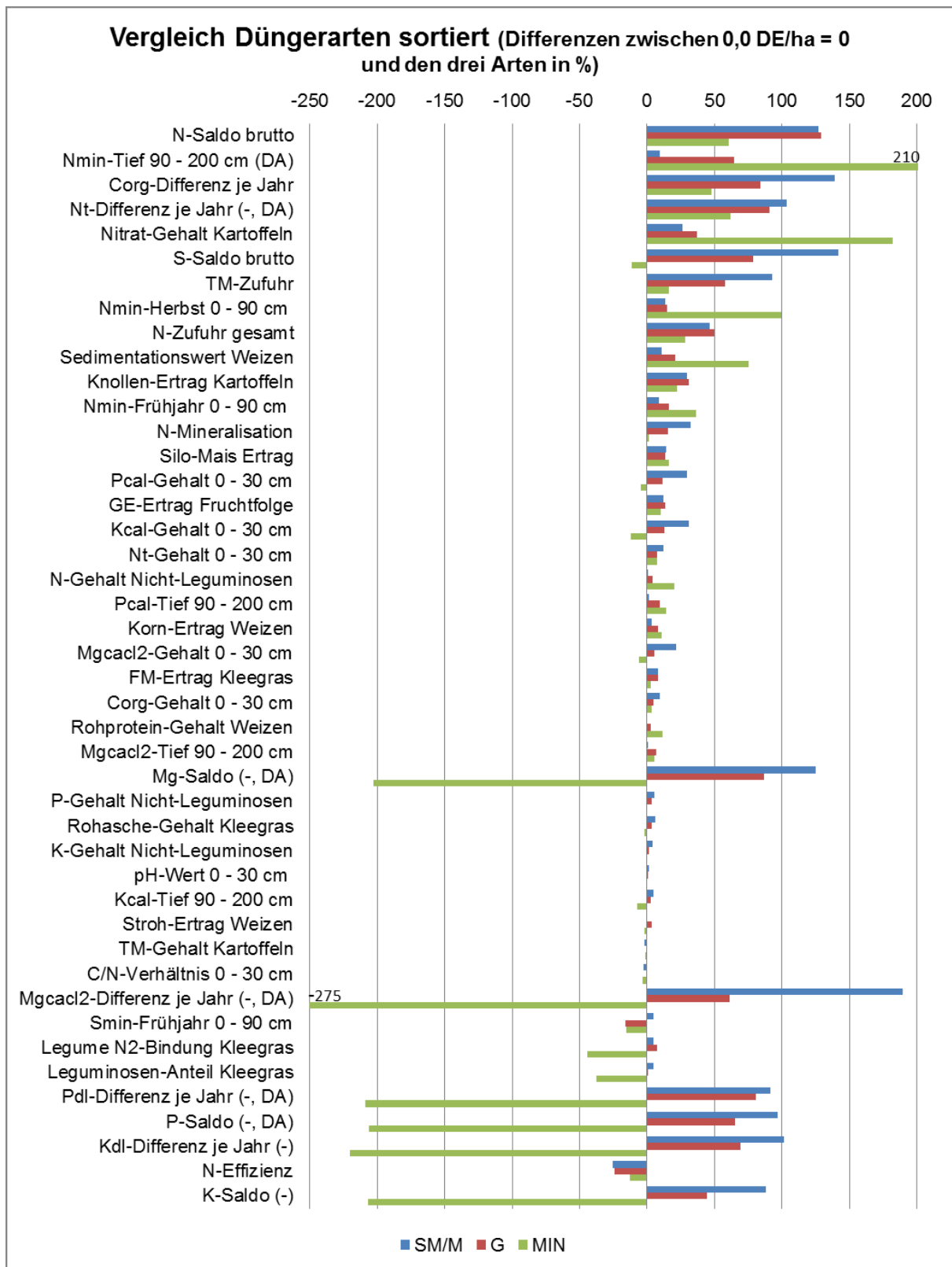


Abbildung 103: Rangfolge der relativen Wirkung der Düngemittelarten ohne Düngung [= 0,0 %] im Vergleich zu Stallmist inkl. Grüngut (SM/M), Rindergülle (G) und N-Mineraldüngung (MIN) auf die Veränderung des Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte in Vergleichsgruppe ohne Düngung; (DA) = Merkmale in Diskriminanzanalyse, zusätzlich P-Düngung)

4.8.4 Düngungsintensität

Die entsprechenden Mittelwerte der vier Steigerungsstufen von 0,0 – 2,0 DE/ha der Prüfglieder mit organischen Düngemitteln wurden als Düngungsgruppen definiert, die an Hand der erhobenen 49 Merkmale mit Hilfe der Diskriminanzanalyse einer Trennung unterzogen worden sind. Insgesamt erfolgte an Hand des Wilks' Lambda eine hoch signifikante DA-Analyse, die Klassifikationsergebnisse wiesen hierzu ebenfalls jeweils eine 100%-Zuordnung der vier Düngungsgruppen auf. Durch die F-Wert-Matrix wurde eine signifikante Trennung aller Gruppen aufgezeigt, deren statistische Stärke wies aber insgesamt ein etwas geringeres Niveau auf:

	0,0 DE	0,5 DE	1,0DE
0,5 DE	4736*		
1,0 DE	27259**	27928**	
2,0 DE	16280**	12505**	10477**.

Die Ergebnisse der F-Werte waren vergleichbar mit denen, die bereits für die erste Versuchsphase von BECKMANN et al. (2002) ermittelt worden waren. Bei jenen Auswertungen wurde zwar eine noch höhere Anzahl an Merkmalen in die DA-Analyse aufgenommen, doch es wurden für nachfolgende Merkmale vergleichbare Ergebnisse mit den aktuellen DA-Auswertungen am Versuchsende ermittelt: N_{\min} -Gehalte, Erträge der Fruchtarten, Nährstoffsalden, Nährstoff-Differenzen Boden. Insgesamt wurden 12 Merkmale in die aktuelle DA-Analyse aufgenommen (Wirkungsstärke in %):

■ K_{DL} -Differenz Boden 0 – 30 cm	15,9
■ Leguminosen-Anteil im Klee gras	13,9
■ N_t -Differenz Boden 0 – 30 cm	13,7
■ Mg-Düngung	13,1
■ N_{\min} -Frühjahr 0 – 90 cm	12,0
■ TM-Gehalt Kartoffeln	11,1
■ K-Saldo	6,2
■ P_{DL} -Differenz Boden 0 – 30 cm	5,7
■ S-Düngung	2,4
■ Stroh-Ertrag Weizen	2,3
■ GE-Ertrag Fruchtfolge	2,0
■ Mg_{CaCl_2} -Differenz Boden 0 – 30 cm	1,7.

Wie aus Abbildung 104 ersichtlich ist, verteilen sich die aufgenommenen Merkmale auf das gesamte Wirkungsspektrum. Im Durchschnitt der organischen Düngemittel werden im Vergleich zu den Varianten mit keiner Düngung (= 0,0 %) fast nur positive Differenzen ermittelt, die in Folge zunehmendem Düngungsniveau noch weiter ansteigen. Viele der registrierten Merkmale verhalten sich in Folge jeweils stufenweiser Verdopplung der Düngung proportional zum Düngungsniveau, z.B. entsprechend der ausgewiesenen Gesamt-N-Zufuhr. An diesen Ergebnissen ist der enge korrelative Zusammenhang zwischen den ermittelten Merkmalen deutlich zu erkennen, der dafür gesorgt hat, dass viele der Merkmale wegen zu geringer Toleranz nicht in die DA-Analysen aufgenommen werden konnten.

Da mit den organischen Düngemitteln gleichzeitig neben der zugeführten Trockenmasse auch viele Nährstoffe stufenweise erhöht wurden, haben sich alle entsprechenden Merkmale in ähnlicher Weise positiv verändert. Im Vergleich zum stufenweisen Zuführungsniveau an Stickstoff sind die Erträge an Fruchtarten inklusive des

Kleegrases sowie der GE-Erträge der gesamten Fruchtfolge jeweils nur verhältnismäßig geringfügig erhöht worden. In einem noch geringeren Ausmaß haben sich gleichzeitig die Nährstoffgehalte z.B. in den Nichtleguminosen oder die Rohasche im Kleegras verändert. Das trifft auch noch für den Gehalt an Rohprotein im Weizenkorn zu, der sich im Vergleich zu keiner Düngung nur nach sehr hoher organischer Düngung etwas erhöht hat, obwohl gleichzeitig die Sedimentationswerte des Weizens sich deutlich verändert haben. Auch die Gehalte an Nitrat sind in Kartoffelknollen nach hoher Düngung deutlicher angestiegen.

Wie auf Grund der relativen Darstellungsweise zu sehen ist, haben sich das pflanzliche Wachstum und die Nährstoffaufnahme der Pflanzen durch die organische Düngung im Vergleich zur zugeführten Düngermenge nur mäßig verbessert. Der Ertragszuwachs ist daher in Folge der organischen Düngung begrenzt, oft war in Folge steigender Düngung deutlich der abnehmende Ertragszuwachs zu erkennen. Auf Grund dieser Ergebnisse haben die durchgeführten Nährstoffbilanzierungen dann zu einer deutlichen, oft sogar überproportionalen Zunahme der Nährstoffsalden von annähernd allen Nährstoffen geführt, da die berechneten Nährstoffentzüge der Fruchtarten nur verhalten angestiegen sind. Das hat dann auch rechnerisch zu einer entsprechenden Abnahme der Nährstoffeffizienz beigetragen, wie dies am Beispiel des Stickstoffs aufgeführt worden ist.

Durch die Zufuhr der Düngermengen haben sich die Trockenmasse- und Nährstoffreserven des Bodens deutlich verändert, wie dies an den zunehmenden jährlichen Nährstoff-Differenzen an C_{org} und N_t und an dem zwischenzeitlichen Anstieg der nichtreaktiven Stickstoff- und Humusmengen des Bodens zu erkennen ist. Die aufgeführte Nährstoffeffizienz ist daher weitgehend als scheinbar zu bezeichnen, da diese Reserven in den Werten nicht berücksichtigt sind. Mit der Zuführung der organischen Düngemittel ist dann aber auch der Umsatz an Humus deutlich angestiegen, wie dies am Beispiel der berechneten N-Mineralisation sichtbar wird. Daraufhin sind nicht nur die N_{min} - und die S_{min} -Gehalte des Bodens erhöht worden, sondern da die Mineralisation auch die anderen Nährstoffe umfasst, sind die Veränderungsraten aller registrierter Grundnährstoffe ebenfalls deutlich angestiegen, wodurch die pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte im Boden für N, P, K, Mg und S nicht nur in der Ackerkrume zugenommen haben (Abbildung 104).

Auf Grund des Anstiegs an reaktivem Stickstoff im Boden waren jedoch auch, neben den Leguminosenanteilen nach hoher Düngung, die berechneten Werte in der legumen N_2 -Bindung des Kleegrases bereits nach verhaltener organischer Düngung wieder etwas abgefallen. Besonders nach stetig hoher organischer Düngung sind aber auch die N_{min} -Herbstwerte als Anzeichen einer höheren Nährstoffverlagerungsgefahr verhältnismäßig deutlich angestiegen. Die Verlagerung und Auswaschung von Nährstoffen hat daher besonders nach sehr hoher Düngung mit 2,0 DE/ha mit der Zeit in diesen Versuchen auch zugenommen, was nicht nur an Hand der N_{min} -Werte, sondern auch durch die höheren löslichen P-, K- und Mg-Gehalte im Tiefenprofil nachzuweisen ist. Das Ausmaß der N-Verlagerung umfasst aber im Vergleich zur N-Mineraldüngung bei den organischen Düngemitteln ein deutlich geringeres Niveau (vgl. Abbildung 103 u. Abbildung 104).

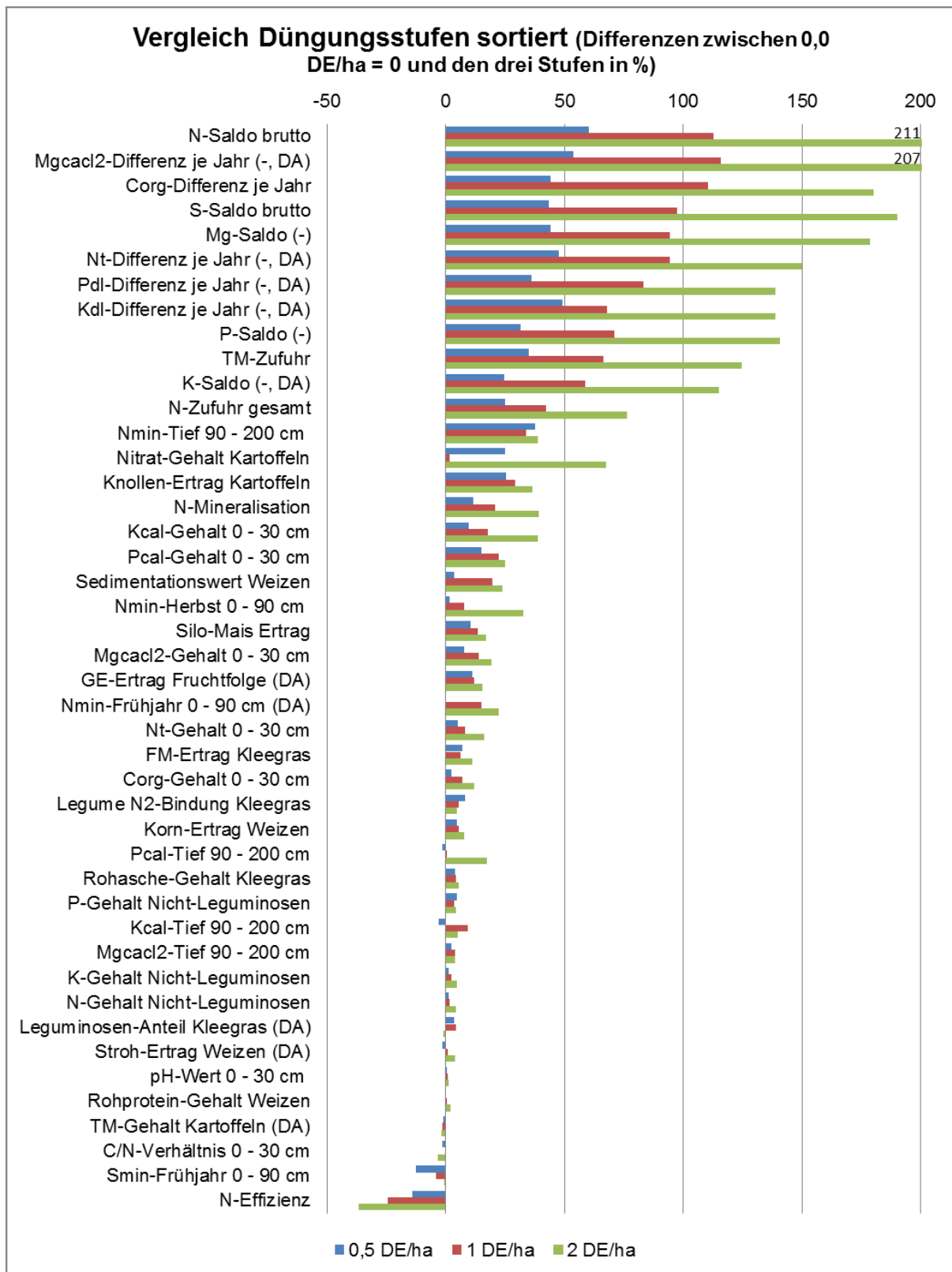


Abbildung 104: Rangfolge der relativen Wirkung der Düngungsintensität ohne Düngung [= 0,0 %] im Vergleich zu 0,5 DE, 1,0 DE und 2,0 DE/ha Düngung auf die Veränderung des Spektrums von 49 repräsentativen Merkmalen ((-) = negative Ausgangswerte in Vergleichsgruppe ohne Düngung; (DA) = Merkmal in Diskriminanzanalyse, zusätzlich S- und Mg-Düngung)

4.8.5 Vergleich zwischen organischer und mineralischer N-Düngung

Die Auswertungen über die Ergebnisse der geprüften Düngemittel brachten insbesondere zwischen den organischen Düngemitteln und der N-Mineraldüngung deutliche Unterschiede zutage. Schon früh im Verlauf der Versuche ist aufgefallen, dass die N-Mineraldüngung bei vergleichbarer N-Zufuhr und N-Salden offensichtlich zu höheren Werten in den reaktiven Anteilen an Stickstoff geführt hat. An Hand der mittleren Werte der gesamten Dauerversuche können diese Unterschiede in Abbildung 105 quantitativ veranschaulicht werden.

Für den Vergleich wurden die über den rezyklierten Stickstoff des Klee gras-Gliedes korrigierten N-Salden der gesamten Versuchszeiten als Vergleichsmaßstab verwendet (siehe Kap 4.6). Die ermittelten Nährstoffsalden liegen am Anbauort Spröda auf etwas höherem Niveau, darüber hinaus sind gute Vergleichsmöglichkeiten zwischen den Varianten mit organischen Düngemitteln und denen mit N-Mineraldüngung gegeben.

Wie die Abbildung 105 (oben) über die Durchschnittswerte der N_{\min} -Gehalte der Varianten bei Erhebung im zeitigen Frühjahr zeigen, sind keine großen Unterschiede sowohl zwischen den Standorten als auch zwischen mineralischer und organischer Düngung zu erkennen. Die genauen Mittelwerte lauten für die organischen Varianten in Methau 46 kg N/ha und für Spröda 48 kg N/ha, während bereits für die mineralischen Varianten 58 kg N/ha bei den N_{\min} -Werten analysiert worden sind (= 120 – 126 %).

Bei den Erhebungen nach der Ernte wurden dagegen bereits deutlichere Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Varianten sichtbar (Abbildung 105, Mitte). Die mittleren N_{\min} -Gehalte haben in Methau 48 kg N/ha und in Spröda nur noch 36 kg N/ha im Herbst betragen. Auf den jeweiligen N-Mineraldüngungs-Varianten wurden demgegenüber mit durchschnittlich 75 kg N/ha über 156 – 207 % der Werte mit organischen Düngern erreicht.

Bei dem Verlagerungspotenzial im Tiefenprofil verschieben sich die Relationen zwischen den Bodenarten insbesondere zwischen den Varianten der organischen Düngung in der Weise, dass auf dem leichten Boden in Spröda mit durchschnittlich 20 kg N/ha eine mehr als doppelt so hohe Menge ermittelt worden ist als auf dem tiefgründigen Lössboden mit lediglich 9 kg N/ha in 90 – 200 cm Bodentiefe (Abbildung 105, unten). Das Verlagerungspotenzial der N-Mineraldüngung liegt aber mit Werten um etwas über 33 kg N/ha nochmals zwischen 170 – 380 % über den Mengen der organisch gedüngten Versuchsvarianten. Diese Unterschiede sind als besonders bemerkenswert zu bezeichnen. Durch diese Ergebnisse kann nach fortgesetzter N-Mineraldüngung ein unverhältnismäßig höheres Verlagerungs- und Verlustpotenzial an Stickstoff nachgewiesen werden als bei fortgesetzter vergleichbarer organischer Düngung mit Stalldung, Grüngut oder Gülle.

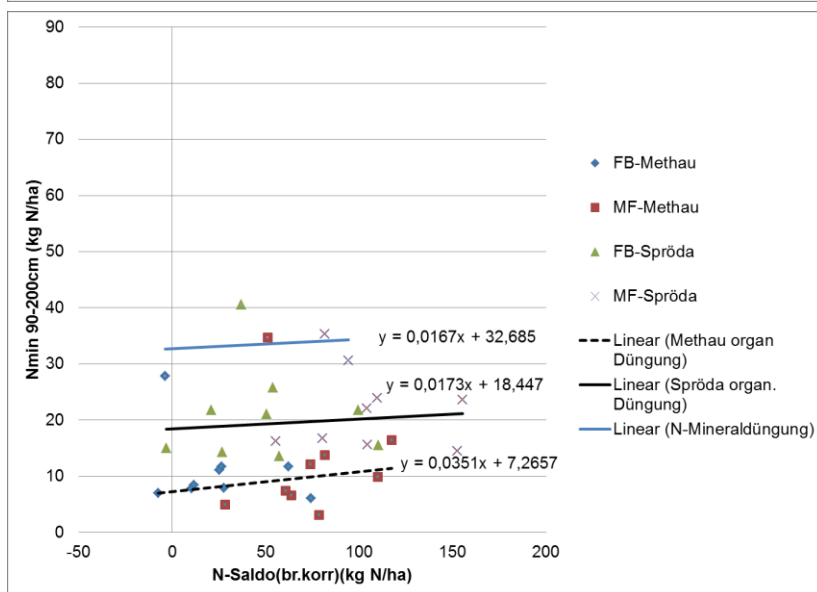
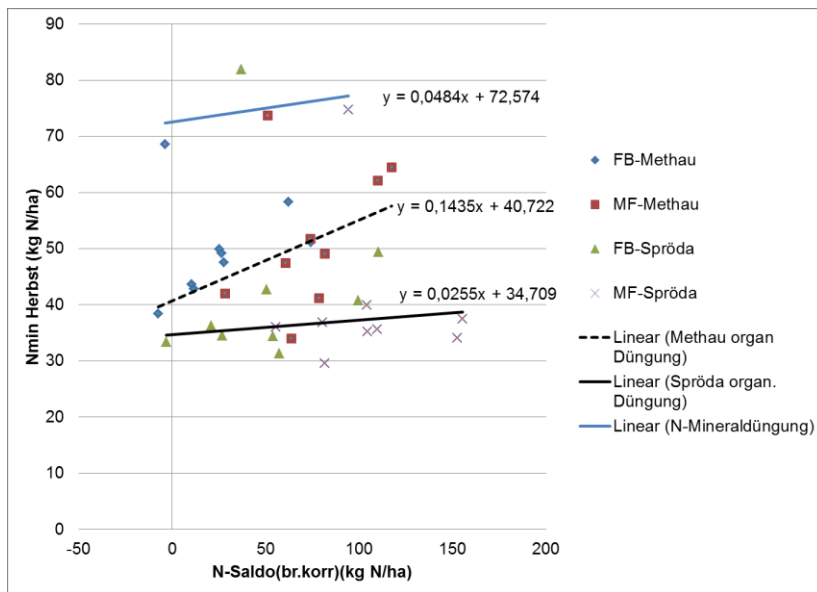
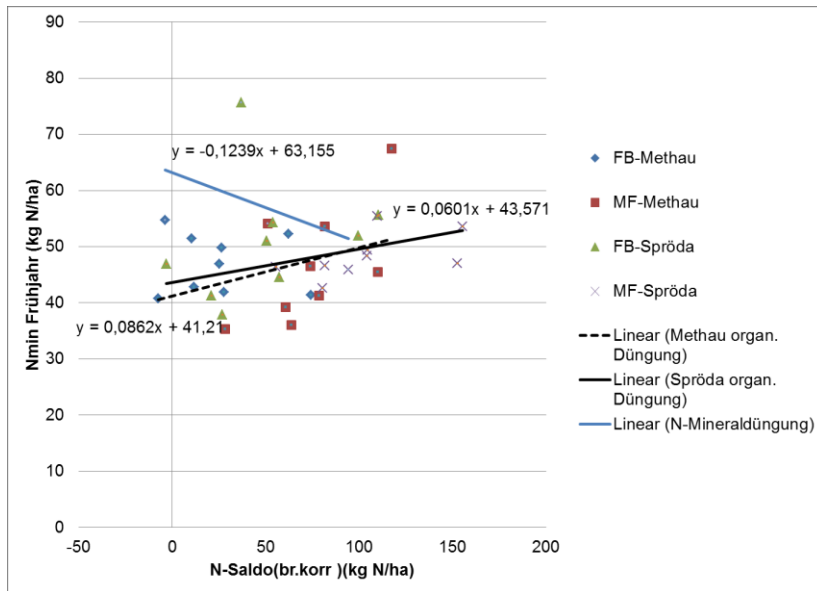


Abbildung 105: Zusammenhang zwischen langfristig verabreichten Düngemitteln und den Relationen zwischen den durchschnittlichen N_{min} -Werten in 0 – 90 cm Bodentiefe im Frühjahr, im Herbst und den N_{min} -Gehalten in 90 – 200 cm Tiefe sowie den korrigierten N-Bruttosalden des Sandbodens in Spröda und des Lößbodens in Methau

4.8.6 Zusammenfassender Vergleich zwischen den Einflussfaktoren

In einer abschließenden vereinfachten Gegenüberstellung können die Unterschiede in der Wirkung der untersuchten Einflussfaktoren auf das ermittelte Merkmalspektrum miteinander verglichen werden (Tabelle 242). In dieser Darstellung sind die Faktoren des Standortes, der Anbausysteme, der Düngungsintensität der organischen Düngemittel sowie die festen organischen Düngemittel (Stalldung, Grüngut), Flüssigdünger in Form der Gülle und die N-Mineraldüngung einzeln aufgeführt worden. Wie zu sehen ist, gibt es z.T. große Unterschiede z.B. zwischen dem Faktor Standort und der Wirkung der Anbausysteme sowie zwischen den organischen Düngemitteln und der Wirkung der N-Mineraldüngung auf das Spektrum der untersuchten Merkmale.

So können die Erträge sowie auch die erfassten Inhaltsstoffe der Fruchtarten vor allen Dingen durch die Wahl des Standortes verändert werden, die anderen Faktoren haben auf diese Merkmale nur einen geringen Einfluss. Durch die N-Mineraldüngung können darüber hinaus auch einige Inhaltstoffe, wie z.B. der Nitratgehalt von Kartoffelknollen und die Backeigenschaften von Weizen z.T. deutlich beeinflusst werden. Die N-Mineraldüngung zeichnet sich auch, neben Spröda als leichtem Standort, besonders dadurch aus, dass auf Grund der höheren N_{\min} -Werte besonders im Herbst dann das N-Verlagerungspotenzial erheblich größere Ausmaße annehmen kann. Andere Merkmale, wie Unterschiede im pH-Wert, einzelnen Grundnährstoffen wie z.B. dem Mg-Gehalt, den C_{org} -Gehalten und den C/N-Verhältnissen des Bodens können auch auf die Bodenart sowie auf andere Einflussgrößen des Standortes zurückgeführt werden.

Der Einfluss der Anbausysteme ist im Vergleich zu den anderen Faktoren durch eine relativ geringe Veränderung des Ertragsniveaus der Fruchtarten gekennzeichnet. Hervorzuheben sind jedoch Unterschiede in den ermittelten Nährstoffsalden, die zu einer entsprechenden Veränderung der N-Effizienzen geführt haben. Die höheren Nährstoffsalden des Marktfruchtensystems haben jedoch zu einer entsprechenden Erhöhung der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte des Bodens geführt, die verursacht worden sind durch die deutlichen Unterschiede in den zugeführten Mengen an Trockenmasse durch das Mulchen der Kleeerasaufwüchse und die Belassung des Strohs auf den Flächen.

Zwischen der Düngungsintensität und der Wirkung der einzelnen organischen Düngemittel auf das Merkmalspektrum besteht eine hohe Übereinstimmung. Nach langjähriger Anwendung ist der Einfluss der einzelnen organischen Düngemittel auf die Erträge der angebauten Fruchtarten relativ gleichförmig ausgebildet. Das liegt daran, weil die stetige Düngung mit festen organischen Düngemitteln zu einer höheren Anreicherung an C_{org} und N_t im Boden geführt hat. Hierbei wurde die Ertragsbildung dann vor allem von der gleichzeitig höheren N-Mineralisation stabilisiert, während bei einer fortgesetzten Gülle-Zufuhr keine so ausgeprägte Erhöhung der Humusreserven und der N-Mineralisation erfolgt ist und die Ertragsbildung in höherem Maße durch den direkt verfügbaren N-Anteil im Dünger abgesichert wurde (Tabelle 242).

Nach entsprechend langer Versuchsdauer wird in der Summe dann ein ähnlich hohes Ertragsniveau zwischen den festen und flüssigen Düngemitteln erreicht. In diesem Punkt gibt es auch eine gewisse Übereinstimmung zwischen der N-Mineraldüngung und der Güllezufuhr, da in beiden Nutzungsarten dann jedoch auch ein erhöhtes Verlagerungspotenzial für Stickstoff und auch für Phosphor im Tiefenprofil des Bodens zu verzeichnen ist.

Tabelle 242: Wirkungsvergleich der Einflussfaktoren auf die Veränderung der ermittelten Merkmale [-, + = rel. Ab- bzw. Zunahme um 5 – 50 %; --, ++ = 50 – 100 %; ---, +++ = > 100 % im Vergleich zum jeweiligen Standard = 0 %]

Merkmal	Standort	Anbau-system	Organ. Düng.höhe	SM/M	G	MIN
	Methau = 0	FB = 0	Ohne = 0	Ohne = 0	Ohne = 0	Ohne = 0
FM-Ertrag Klee gras	-		+	+	+	
Korn-Ertrag Weizen	-	-	+		+	+
Stroh-Ertrag Weizen	-	-				
Silo-Mais Ertrag	--	-	+	+	+	+
Knollen-Ertrag Kartoffeln	-		+	+	+	+
GE-Ertrag Fruchtfolge	-		+	+	+	+
N-Gehalt Nicht-Leguminosen	+					+
P-Gehalt Nicht-Leguminosen	+			+		
K-Gehalt Nicht-Leguminosen	+					
TM-Gehalt Kartoffeln						
Nitrat-Gehalt Kartoffeln	-	+	++	+	+	+++
Rohprotein-Gehalt Weizen	+					+
Sedimentationswert Weizen	++		+	+	+	++
Rohasche-Gehalt Klee gras		+	+	+		
Leguminosen-Anteil Klee gras	-	+		+		-
Legume N ₂ -Bindung Klee gras	-	-	+	+	+	-
pH-Wert 0 - 30 cm	-					
N _{min} -Frühjahr 0 - 90 cm	+		+	+	+	++
N _{min} -Herbst 0 - 90 cm	-		+	+	+	+++
N _{min} -Tief 90 - 200 cm	++	+	+	+	++	+++
S _{min} -Frühjahr 0 - 90 cm		-	-	+	-	-
P _{cal} -Gehalt 0 - 30 cm	+	+	+	+	+	-
P _{cal} -Tief 90 - 200 cm	--	+	+		+	+
K _{cal} -Gehalt 0 - 30 cm	+	+	+	+	+	-
K _{cal} -Tief 90 - 200 cm	-		+	+		-
Mg _{cacl2} -Gehalt 0 - 30 cm	--		+	+	+	-
Mg _{cacl2} -Tief 90 - 200 cm	--	+			+	+
C _{org} -Gehalt 0 - 30 cm	-		+	+	+	
N _f -Gehalt 0 - 30 cm	-		+	+	+	+
C/N-Verhältnis 0 - 30 cm	+					
TM-Zufuhr	-	+++	+++	+++	++	+
N-Zufuhr gesamt	-	-	++	++	++	+
N-Saldo brutto		+++	+++	+++	+++	++
P-Saldo	++	+++	+++	+++	++	---
K-Saldo	++	+++	+++	++	+	---
Mg-Saldo	+++	+++	+++	+++	++	---
S-Saldo brutto	+++	+++	+++	+++	++	-
N-Effizienz	-	--	-	-	-	-
C _{org} -Differenz je Jahr	-	++	+++	+++	++	+
N _f -Differenz je Jahr	---	+++	+++	+++	++	++
P _{dl} -Differenz je Jahr	-	++	+++	++	++	---
K _{dl} -Differenz je Jahr	---	+++	+++	+++	++	---
Mg _{cacl2} -Differenz je Jahr	---	+++	+++	+++	++	---
N-Mineralisation	+	++	+	+	+	

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

5.1 Überblick

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der kurz- und langfristigen Auswirkungen unterschiedlicher ackerbaulicher Anbausysteme (Marktfrucht- und Futterbau-System) im Ökologischen Landbau unter Anwendung verschiedener Düngemittel (ohne Düngung, Stallmist-, Grüngut- u. Gülledüngung) in 4 Dünge-stufen (von 0 DE/ha bis 2 DE/ha) auch im Vergleich zur N-Mineraldüngung, die auf einem kleinen Variantenanteil ebenfalls zur Anwendung kam.

5.1.1 Vergleich zwischen 1. und 2. Versuchsphase

Wenn die Ergebnisse aus den ersten acht Jahren (= erste Phase der Dauerversuche, BECKMANN et al., 2001, 2002; KOLBE et al., 2003) mit denen der zweiten Phase verglichen werden, so sind neben vielen weitgehend übereinstimmenden auch eine Reihe z.T. deutlich gegensätzlicher Ergebnisse registriert worden, die folgendermaßen aufgeführt werden können:

Zeitabschnitt:	1. Versuchsphase	2. Versuchsphase
■ Vergleich zwischen FB- u. MF-System:		
-Ertragsniveau der Fruchtarten	FB höher als MF	MF höher als FB
-Entwicklung C _{org} -Gehalt Boden	FB höher als MF	MF höher als FB
-N-Verlagerung Untergrund	gering, keine Unterschiede	MF etwas höher als FB
-Rohprotein im Weizenkorn	MF höher als FB	Methau: FB höher als MF Spröda: MF höher als FB
■ Einfluss steigender organischer Düngung:		
-Erträge der Fruchtarten	rel. geringe Unterschiede	größere Ertragsunterschiede
-N-Verlagerung Untergrund	gering, kaum Unterschiede	mit d. Düngerhöhe ansteigend
-Entwicklung N _r -Gehalt Boden	teilweise Abnahme	Anstieg der Gehalte
■ Vergleich der Düngemittel:		
-Ertragsniveau der Fruchtarten	MIN u. Gülle oft höher als SM	SM oft höher als Gülle u. MIN
-Entwicklung C _{org} -Gehalt Boden	SM Anstieg G, MIN teilweise Abfall	SM, M deutlicher Anstieg, G, MIN geringer Anstieg.

Einige Unterschiede können sicherlich auch durch die verbesserte Datenlage erklärt werden, was ja z.B. nicht nur für die Beurteilung der Entwicklung der C_{org}-Gehalte des Bodens von Bedeutung ist. Viele andere Unterschiede zwischen den Versuchsphasen bleiben aber bestehen, so dass es die Frage zu klären gibt, warum diese z.T. gegensätzlichen Entwicklungen dokumentiert werden konnten.

Zur experimentellen Bearbeitung der aufgezeigten Fragestellungen war der relativ hohe Umfang von über 80 Merkmalen der Pflanzen und des Bodens von besonderer Bedeutung, wobei auch der Untergrund mit in das Untersuchungsspektrum aufgenommen worden ist. Hierbei hat sich der Einsatz der Rammkernsonden besonders bewährt, um das Verlagerungspotenzial an Nährstoffen z.T. bis unter 200 cm Bodentiefe zu erfassen. Zu diesem Untersuchungspunkt war es wichtig, bis weit unter den durchwurzelbaren Bodenhorizont Proben zu entnehmen, weil nur dadurch das Verlustpotenzial an Nährstoffen eindeutig zu bestimmen war. So konnte in den Versuchen nachgewiesen werden, dass eine pflanzliche Nährstoffentnahme von z.B. Stickstoff

auf dem Lößboden in Methau bis in eine Bodentiefe von ca. 150 cm und auf dem Sandboden in Spröda bis in eine Tiefe von 100 – 120 cm Bodentiefe gegeben war. Vergleichsuntersuchungen in der Literatur durch Verwendung ähnlicher Bohrmethode, Lysimeter oder von Saugkerzen unter Berücksichtigung von geringeren Bodentiefen sind daher kaum geeignet, Landbausysteme z.B. in ihrem Verlagerungs- und Verlustpotenzial an Stickstoff sicher zu bewerten. Diese Ergebnisse müssen daher kritisch hinterfragt werden (siehe RUHE et al., 2001; TAUBE et al., 2005; KELM et al., 2007a,b; KNOBLAUCH et al., 2013).

Am Beispiel der unterschiedlichen zeitlichen Entwicklung der Ertragsleistungen der Fruchtarten zwischen den Anbausystemen Futterbau (Kleegrasaufwuchs u. Koppelprodukte abgefahren) und Marktfrucht (Aufwüchse u. Koppelprodukte nicht abgefahren) können diese unterschiedlichen Entwicklungen heute einer Klärung zugeführt werden (siehe Abbildung 9, GE-Erträge; Abbildung 102, DA-Analyse Anbausysteme). An beiden Standorten können zudem parallele Entwicklungen der Erträge beobachtet werden. Am Versuchsanfang lagen die Erträge der FB-Varianten oft über denen der MF-Varianten, wie es ebenfalls z.B. SCHMITT & DEWES (1997) bereits beschrieben haben. Mit zunehmender Versuchszeit waren aber die MF-Varianten durch einen deutlicheren Ertragsanstieg gekennzeichnet. Unterschiede zwischen Systemen mit Belassen bzw. Abfuhr der Kleegrasaufwüchse sind auch von anderen Autoren untersucht worden (SURBÖCK et al., 2017).

Durch das Marktfruchtsystem sind von Beginn der Versuche an jedes Jahr z.T. erhebliche Mengen an organischen Materialien, neben 2 – 3 Kleegrasaufwüchsen insbesondere auch alle Koppelprodukte der angebauten Getreidearten in Form von Stroh auf den Schlägen verblieben. Durch die weiten C/N-Verhältnisse im Stroh greifen die Mikroorganismen beim Strohabbau auf die Bodenreserven an pflanzenverfügbarem Stickstoff zurück. Somit kam schon früh der Verdacht auf, dass besonders das Stroh über eine N-Sperre die direkten Nachfrüchte, wie den Maisanbau, in ihrer Ertragsleistung negativ beeinflusst haben könnte (siehe BECKMANN et al., 2002).

Da diese Frage wegen der gleichzeitigen Mulchung der Kleegrasaufwüchse nicht in den Dauerversuchen einer Lösung zugeführt werden konnte, wurde ein separater Versuch zur Stroh- und Gründüngung angelegt. Durch die Ergebnisse dieses Versuches konnten die umfangreichen experimentellen Erfahrungen im konventionellen Landbau auch für die Bedingungen des ökologischen Landbaus bestätigt werden, wonach eine erhebliche Zuführung am Beispiel von Weizen-Stroh zu folgenden Veränderungen im Boden und der Nachfrucht Hafer geführt hat (SCHUSTER & KOLBE, 2015):

- N_{\min} -Frühjahr (0 – 60 cm Tiefe): -6 kg N/ha (= -12 %)
- Gründüngung (Leguminosen, Gras): Erhöhung der N_{\min} -Gehalte ohne die Lücke zu schließen: +14 kg N/ha (= +27 %)
- Kornertrag Hafer: -4 bis -5 %
- Strohertrag Hafer: -10 %.

In der Summenwirkung dürften sich die Erhöhung der N_{\min} -Mengen durch den Verbleib der Kleegrasaufwüchse (Mulchen) und die Reduzierung der N_{\min} -Mengen durch die Strohzufuhren fast ausgleichen. In den Versuchen wurden auch auf den Marktfruchtflächen insgesamt nur unwesentlich höhere oder gar keine höheren N_{\min} -Werte weder im Frühjahr noch im Herbst an beiden Versuchsorten analysiert.

Kombinationen von Stroh- und Gründüngung gelten daher auch im konventionellen und ökologischen Landbau als günstig, um die kurzfristigen negativen Folgen der Strohzufuhr abzumildern (SCHUSTER & KOLBE, 2015). Aus einigen Versuchen wurde sogar die Schlussfolgerung gezogen, dass Stroh- und Gründüngung einer Stallmistdüngung gleichzusetzen ist (siehe KÖHN & LIMBERG, 1996).

5.1.2 Humusauf- und -abbau sowie Nährstoffmineralisation im Zeitverlauf

Erkenntnisse aus diesen Kurzzeitversuchen sind aber nicht unbedingt übertragbar, wenn diese Maßnahmen über die Zeit kontinuierlich weiter betrieben werden, wie in einem landwirtschaftlichen Betrieb oder auch in einem Dauerversuch. So konnte z.B. ALBERT (1999) an Ergebnissen aus zwei Dauerversuchen in Sachsen feststellen, dass negative Auswirkungen einer kontinuierlichen Strohdüngung auf die Erträge der Fruchtarten besonders in den Anfangsjahren der Versuche aufgetreten sind.

Nach Beginn einer solchen Maßnahme erfolgt in den ersten Jahren zunächst eine Zuführung des Stroh- und des darin enthaltenen Stickstoffs zu den dann ansteigenden Humusreserven des Bodens. Mit fortschreitender Versuchsdauer wird der umgesetzte Anteil aus der jährlich frisch zugeführten und aus den zurückliegenden Jahren bestehenden Restmengen an organischer Substanz immer größer bis ein Gleichgewichtszustand im Humusgehalt erreicht wird (SAUERBECK, 1985; GUTSER et al., 2010; KOLBE & ZIMMER, 2015). Unter Beibehaltung der Maßnahme steigen die Humusgehalte und die N-Reserven des Bodens dann nicht mehr weiter an, die N-Festlegung durch die Strohzufuhr wird durch eine N-Freisetzung in Folge des Humusumsatzes in gleicher Höhe ausgeglichen, so dass keine unterschiedliche Ertragsbeeinflussung mehr stattfindet (siehe THOMSEN et al., 2011).

Wie diese Ergebnisse zeigen, sind nach Beginn eines Dauerversuchs diese beschriebenen akkumulierenden Wirkungen durch die zugeführte organische Substanz zu beachten. Bei der stetigen Belassung des Stroh- auf den Flächen, wie in den hier zu behandelnden Versuchsvarianten des Marktfruchtensystems, erfolgt keine Zufuhr an Nährstoffen von außen, daher gleichen sich zwischenzeitliche Festlegung und Freisetzung an Nährstoffen mit der Zeit aus. Nur durch das regelmäßige Mulchen der Kleegrasaufläufe erfolgt eine Nettozufuhr an Stickstoff durch die legume N_2 -Bindung.

Durch diese Maßnahmen lag die Zufuhr an organischer Substanz durch die Pflanzenmaterialien und die darin enthaltenen Nährstoffe z.T. auf ein Vielfaches höher als im Vergleich zu den Varianten des Futterbaus, auf denen diese Koppelprodukte stetig abgeerntet und damit von den Versuchsflächen entfernt worden sind. Infolge dieser unterschiedlichen Behandlung der Anbausysteme kam es auf den Marktfruchtvarianten schließlich zu einer deutlich stärkeren Akkumulation an C_{org} -Gehalten, an Stickstoff und anderen Nährstoffen im Boden als auf den Futterbauflächen.

Durch den gleichzeitig mit der Zeit ansteigenden Humusumsatz erfolgte ein stetiger Anstieg der Menge an Nährstoffmineralisation, so dass die pflanzenverfügbaren Gehalte an Stickstoff und auch besonders an pflanzenverfügbaren Grundnährstoffen im Boden der MF-Varianten deutlich angestiegen sind. Durch diese Entwicklung hat sich das zunächst am Versuchsanfang benachteiligte Ertragspotenzial der MF-Flächen mit der Zeit so stark verbessert, dass die Erträge der FB-Varianten durch die der MF-Flächen überflügelt worden sind.

Diese chronologischen Veränderungen sind in den Versuchen für viele Merkmale mit einem meistens linearen Ansatz untersucht und bestätigt worden (siehe Kap. 4.1.2.5, Kap 4.5). Die Ursachen dieser gefundenen Veränderungen können in den Versuchen weitgehend auf die sich wiederholenden jährlichen Zufuhren von organischen Materialien verschiedener Quellen zurückgeführt werden. In diesen natürlichen biologischen Systemen unterliegt der nachfolgende Abbau und die Mineralisation der zugeführten organischen Substanz in Abhängigkeit von Höhe und Qualität der Materialien, der Bodenart und den klimatischen Bedingungen des Standortes bestimmten Gesetzen, die in der Regel mit exponentiellen mathematischen Funktionen gut beschrieben werden können (PAUL & CLARK, 1989).

Danach erfolgt von einer Zugabe an organischen Materialien in den ersten Jahren ein wesentlich deutlicherer Abbau, der in den nachfolgenden Jahren immer kleiner wird, bis in einigen Jahrzehnten die gesamte

zugeführte Substanz des ersten Jahres abgebaut ist. Bei Fortführung der Versuche entsprechend den Versuchsplänen mit stetiger Substanzzufuhr kommt es daher zu einer kumulativen Gesamtwirkung, bis nach einigen Jahrzehnten ein Gleichgewichtszustand erreicht ist, indem die im Durchschnitt jährlich zugefügte Menge an Materialien dann auch vollständig pro Jahr abgebaut wird (KOLBE & ZIMMER, 2015).

Es ist daher anzunehmen, dass die gefundenen zeitlichen Veränderungsraten an bestimmten Merkmalen in den Versuchen nicht linear fortgeführt werden können, da auf Grund der kumulativen Wirkung des Humusumsatzes diese Veränderungen durch Erreichen des Gleichgewichtszustandes beendet werden. Auf Grund von Erfahrungswerten aus der Auswertung von Dauerversuchen kann unter den hiesigen Umsatzbedingungen in der Regel angenommen werden, dass das Gleichgewicht aus praktischer Sicht in etwa nach 20 – 30 Jahren erreicht wird. Durch folgende logarithmische Funktion kann diese spezifische Wirkung auf den Humusumsatz und die Mineralisation recht gut beschrieben werden, die mit Hilfe des Modells CCB (FRANKO et al., 2011; KOLBE & ZIMMER, 2015) erstellt worden ist:

$$\blacksquare \text{ Relativer Mineralisationsumfang (\%)} = 27,903 \ln(x \text{ Jahre}) + 11,687 \quad (R^2 = 0,980^{***}).$$

Da die hier zu behandelnden Versuche insgesamt zwischen 14 – 16 Jahre durchgeführt worden sind, kann auf Grund der mathematischen Funktion bereits in etwa eine Gesamtwirkung im Bereich zwischen 85 – 90 % veranschlagt werden. Am Beispiel der Veränderung des Ertrages kann somit angenommen werden, dass ein experimentell festgestellter Ertragsanstieg oder -Abfall von 20 dt/ha lediglich noch um weitere gut 2 dt/ha ansteigen bzw. abfallen wird, bis das Gleichgewicht des untersuchten Anbausystems erreicht wird.

Wie in den hier vorgestellten Versuchen kann dieses Auseinanderdriften der Versuchsvarianten entsprechend den vorteilhaften oder unvorteilhaften Veränderungen in den Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit mit fortschreitender Versuchsdauer auch in anderen Dauerversuchen mit entsprechenden Fragestellungen beobachtet werden (CASTELL et al., 2016; KOCH, 2019b). In einer Metastudie von KOLBE (2007, 2008c) wurde ebenfalls diese differenzierte Wirkung von organischen Düngemitteln nach einmaliger und nach jährlicher Anwendung in Dauerversuchen auf die Erträge und die Qualität von Kartoffeln nachgewiesen. Dieses spezielle Nachwirkungsvermögen nach fortgesetzten anbautechnischen Maßnahmen (Zwischenfrüchte, organische Düngemittel) wurde zudem in speziellen Feld- und Gefäßversuchen näher untersucht (MÜLLER et al., 2022). Lediglich MÖLLER & FRIEDEL (2016) messen diesen Mechanismen zur Erhöhung der Nährstoffnachlieferung und -effizienz nur eine geringe Bedeutung zu.

Von diesen Veränderungen können sowohl absolute Werte als auch relative oder absolute Differenzwerte von vielen hier untersuchten Merkmalen der Versuche betroffen sein. Bei der Darstellung und Diskussion der erlangten Ergebnisse zur quantitativen Analyse der Versuche und der Schlussfolgerungen für die landwirtschaftliche Praxis sind diese noch zu erwartenden Veränderungen immer mit zu berücksichtigen, um die erlangten Ergebnisse einer möglichst objektiven Bewertung unterziehen zu können.

5.1.3 Wirkung der Umstellung auf ökologische Bewirtschaftungsformen

Diese Veränderungen treffen grundsätzlich auch für die Zeit einer Betriebsumstellung auf ökologische Produktionsverfahren zu, da je nach Intensität der mittleren konventionellen Vorbewirtschaftung durchaus unterschiedliche Entwicklungen für verschiedene Merkmale nach Beginn der ökologischen Bewirtschaftung zu beobachten sind. So wurden die Ertragsentwicklungen nach erfolgter Umstellung in der landwirtschaftlichen Praxis recht gut untersucht. Besonders in Folge des Wegfalls der mineralischen N-Düngung fallen die Erträge je nach Fruchtart in unterschiedlichem Ausmaß zunächst in den ersten 2 – 3 Umstellungsjahren sehr deutlich ab, um dann, je nach den Bewirtschaftungsbedingungen, in den nachfolgenden Jahren wieder langsam anzusteigen (HEIßENHUBER & RING, 1992; KOLBE, 1997; FREYER, 2016a; MÖLLER, 2018).

Diese grundsätzliche Entwicklung des Ertragsniveaus der Fruchtarten kann hier auch durch die eigenen und andere Versuchsergebnisse bestätigt werden (siehe HOFFMANN & HÜBNER, 2001; GUNST et al., 2007; HONEGGER et al., 2014; NEUHOFF, 2015). Im Vergleich zu dem vorausgehenden hohen konventionellen Düngungs- und Ertragsniveau auf den Versuchsstationen war das Niveau der Erträge der Fruchtarten an den Standorten Methau und Spröda zunächst nach Beginn der Dauerversuche deutlich niedriger. Im Laufe der Zeit sind die Erträge aber dann je nach dem Intensitätsniveau in dem beschriebenen unterschiedlichen Ausmaß wieder angestiegen.

In Abhängigkeit von diesem Bewirtschaftungsniveau sind in den hier vorgestellten Versuchen neben den Erträgen auch nachfolgend genannte Merkmale im Verlauf der ökologischen Versuchsführung zunächst ebenfalls abgefallen: N-haltige Komponenten (Boden: N_{\min} , N_t ; Pflanzen: Nitrat, Rohprotein), Grundnährstoffe im Boden (P, K, Mg), pH-Wert. In anderen Dauerversuchen wird von ähnlichen Veränderungen berichtet (EMMERLING & SCHRÖDER, 2000; OEHL et al., 2002; BAKKEN et al., 2005; CORMACK, 2005; GOSLING & SHEPHERD, 2005; QUINTERN et al., 2006; RASMUSSEN et al., 2006; BOLDRINI et al., 2008; GRUBER, 2009).

Auch in landwirtschaftlichen Betrieben werden diese Veränderungen in der chemischen Bodenfruchtbarkeit nach Umstellung auf Ökolandbau registriert (LOES & OGAARD 1997, 2003; LOES, 2003). Nach Untersuchungen von SCHULTE (1996) stammen offenbar die sehr niedrigen Nährstoffgehalte von verhältnismäßig alten Ökobetrieben noch aus einer Zeit, in der die Umstellung bereits vor der Aufdüngungsphase im konventionellen Landbau erfolgt ist. Einen Überblick über Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Anbauverfahren geben SEUFERT et al. (2012) und SANDERS & HEß (2019), wobei im Detail nicht unterschieden wird, ob die Daten aus der landwirtschaftlichen Praxis oder aus speziellen Exaktversuchen stammen.

Dagegen sind die C_{org} -Gehalte sowie die C/N-Verhältnisse in beiden hier vorgestellten Versuchsanstellungen im Boden im Vergleich zur konventionellen Vorbewirtschaftung angestiegen, wie dies auch oft in der landwirtschaftlichen Praxis beobachtet werden kann. Nur in Bewirtschaftungsformen mit (flächenunabhängiger) hoher Tierproduktion kann es auch zu abnehmenden Humusgehalten nach Umstellung auf Ökolandbau kommen (GATTINGER et al., 2012). Die Anbauverfahren weisen im Durchschnitt höhere C_{org} -Gehalte auf, weil sie trotz des geringeren Ertragsniveaus in der Regel Fruchtfolgen mit Futterleguminosen in Gemengen mit Gräserarten mit ihren hohen Anteilen an Ernte- und Wurzelrückständen sowie über organische Düngemittel meistens höhere Zufuhren an organischer Substanz aufweisen (KOLBE, 2009a, 2011). Dagegen findet bei genauen Analysen und genügend langer Versuchsdauer einer Umstellung auf Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung in der Regel keine Humusvermehrung, sondern lediglich eine Umverteilung der Gehalte an Humus im Tiefenprofil des Bodens statt (MÄDER et al., 2011; MALLAST et al., 2015).

Durch die oft Jahrzehnte andauernde hohe mineralische oder auch organische Düngung ist es unter konventioneller Bewirtschaftung z.B. zu einer deutlichen Erhöhung der N_t -Gehalte und damit auch zu einer Verengung der C/N-Verhältnisse gekommen (KOLBE, 2015b, 2016). Hierauf beruhen die später nach der Umstellung oft analysierten negativen Veränderungen im N_t -Pool des Bodens. Analytierte Nährstoffsalden für Stickstoff und die berechneten N-Effizienzen sind darüber hinaus eng abhängig von der Gesamt-Nährstoffzufuhr. Auf diesen Zusammenhängen beruhen dann oft die festgestellten Relationen zwischen Nährstoffsalden und Boden- N_t -Veränderungen und geben daher kaum Sorge zu einem „Effizienz-Nachhaltigkeits-Dilemma“ (MAYER et al., 2017).

5.2 Möglichkeiten und Grenzen steigender Intensivierung im Ökolandbau und deren Umweltwirkung

In den nachfolgenden Ausführungen richtet sich der Schwerpunkt der Diskussion auf einen Vergleich zwischen verschiedenen Aspekten einer steigenden Intensivierung von ökologischen Anbauformen entsprechend den erhaltenen Versuchsergebnissen der beiden Dauerversuche und der Literatur. Im Vordergrund der Betrachtungen stehen Einflüsse der Düngung und des Anbauumfangs an Leguminosen in den Fruchtfolgen im Vergleich zu Ergebnissen aus der landwirtschaftlichen Praxis unter Einbeziehung der Umweltwirkungen und des Klimawandels. Wichtige Merkmale werden dabei z.T. mehrfach und von verschiedenen Seiten behandelt.

Aspekte der Weiterentwicklung von ökologischen Anbauverfahren mit deren günstigen und ungünstigen Auswirkungen (Stichworte: Konventionalisierung, Intensivierung, Qualität, Nachhaltigkeit) werden in die Diskussion eingeschlossen (HAAS & DEITERT, 2004; DAMHOFER et al., 2009; SOMMER, 2010; NIGGLI, 2013; KÜHLING et al., 2015; SOMMER et al., 2015; FREYER, 2016b; FREYER et al., 2016; KÖPKE, 2016; BLUMENSTEIN, 2017; MULLER et al., 2017; HALLER et al., 2020; REMPELOS et al., 2021). Einen wichtigen Überblick über bedeutende Dauerversuche mit dem Themenbereich des ökologischen Landbaus können bei URBATZKA et al. (2011) und MAYER & MÄDER (2016) eingesehen werden, eine Auflistung von Literatur über Betriebsuntersuchungen findet sich bei KOLBE (2015a) und COOPER et al. (2018).

Oft ist allerdings die Verwendung der Daten aus der Literatur nicht so einfach möglich. Die Verfahren und Methoden zur Datenerhebung und -aufbereitung aus den dokumentierten Dauerversuchen und Betriebserhebungen sind sehr vielfältig, manchmal auch von sehr unterschiedlicher Qualität, was eine verantwortungsvolle Nutzung oft einschränkt. Das trifft sicherlich auch für die eigenen hier dokumentierten Versuchsdaten zu. So wurde eher auf die Erhebung einer reichhaltigen Merkmalspalette geachtet, die in vielen Fällen zudem ohne direkte Wiederholungen erhoben worden ist. Bei der Darstellung von Zusammenhängen ist z.B. die singuläre statistische Auswertungsform der Varianzanalyse im Vergleich zum Nutzen eher hinderlich und oftmals auch übertrieben aufwändig in der Handhabung (siehe HIRSCHAUER et al., 2016). Daher kamen in dieser Arbeit bei den überwiegenden Auswertungsschritten verstärkt statistische Methoden zur Anwendung, bei denen mehrere Merkmale gleichzeitig direkt oder indirekt berücksichtigt worden sind (Regressionsanalyse, Diskriminanzanalyse u. a. multivariate statistische Methoden).

Einige Diskussionsbeiträge mussten darüber hinaus aber auch oft eingeschränkt werden oder es bedurfte z.T. eines erheblichen Aufwandes zur Reorganisation und Umrechnung, weil die dokumentierten bzw. verwendeten Daten der Dauerversuche oder Betriebserhebungen aus nachfolgenden Gründen oft erhebliche Mängel aufwiesen:

- Deutliche Unterschreitung der Mindestanzahl von Versuchsjahren oder der untersuchten Bodentiefe zur sicheren Dokumentation von bestimmten Merkmalen, wie zum Beispiel Ergebnisse der C_{org} -Gehalte oder der Humusbilanzierung (BERNER et al., 2008; BROCK, 2009; KRAUSS et al., 2020).
- Zu geringe Anzahl an Jahren bzw. Nutzung von unvollständigen Fruchtfolgezyklen zur Dokumentation von Boden- oder Pflanzendaten und von Berechnungen zur Nährstoffbilanzierung, was besonders im Ökolandbau auf Grund der Heterogenität der Fruchtfolgen wichtig ist (HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; CHMELIKOVA et al., 2021).
- Verwendung von ungenügenden oder nicht standardisierten Formen (z.B. entspr. PARCOM-Richtlinie, PARCOM, 1993) oder ungebräuchlichen Formen der Nährstoffbilanzierung (TLL, 2010; KÜSTERMANN et al., 2010; ENGELMANN & HÜLSBERGEN, 2012; SCHMID et al., 2012; CASTELL et al., 2016; REIMER et al., 2020; Chmelikova et al., 2021).

- Kein oder zu geringer Bezug auf Flächen- oder Schlagebene bzw. Beschränkung der Untersuchungsmethoden auf Nährstoff- und Humusbilanzen unter weitgehender Nichtberücksichtigung von Ergebnissen der Bodenuntersuchung und anderen Nachhaltigkeitsindikatoren der Bodenfruchtbarkeit bei wichtigen Aussagen zum Nährstoffmanagement von Betrieben (HÜLSBERGEN & KÜSTERMANN, 2005; SOMMER, 2010; HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013). Diese methodischen Mängel z.B. auf dem Gladbacherhof hätte durch Anwendung allgemein verbreiteter prophylaktischer Verfahren zum Nährstoffmanagement (siehe MUNRO et al., 2002; KOLBE & SCHUSTER, 2011) einen ertragsbegrenzenden Nährstoffmangel früher erkannt und behoben werden können.
- Teilweise Nutzung von sehr ungenauen Methoden zur Berechnung der legumigen N₂-Bindung oder zur Humusbilanzierung oder N_t-Bodenbilanz, die besonders in den ökologischen Anwendungsformen nur geringe statistische Sicherheiten oder über gar keinen Zusammenhang mit der Realität aufweisen. Besonders in der konventionellen Praxis übliche Formen zur Berechnung der N₂-Bindung von Leguminosen zeigen keinen Zusammenhang mit Ergebnissen aus Exaktversuchen auf (WENDLAND et al., 2012; siehe KOLBE, 2009b). Zwischen entsprechenden Ergebnissen zur Humusbilanzierung, z.B. mit der Methoden HE, bestehen extreme und stark schwankende Ergebnisse im Vergleich zu den C_{org}-Veränderungen in Validierungsversuchen (BROCK, 2009; BROCK et al., 2013; HOF-KAUTZ, 2019; siehe KOLBE, 2012a).
- Verwendung von Methoden mit zu geringer Beprobungstiefe unterhalb des Wurzelhorizonts (z.B. Saugkerzen, Lysimeter) zur Beurteilung des Verlagerungs- und Auswaschungspotenzials an Nährstoffen in den Bodenuntergrund (JUNG et al., 1989; STAUFFER & SPIESS, 2001; KELM et al., 2007a,b; ASKEGAARD, 2008; HEYN, 2013). Nicht nur auf Grund des periodischen Anbaus von Tiefwurzlern sind diese Methoden zur Anwendung insbesondere im Ökolandbau ungeeignet.
- Aussagen z.B. zu Unterschieden zwischen Anbausystemen der landwirtschaftlichen Praxis und Betrieben, die (teilweise) aus Exaktversuchen stammen (GATTINGER et al., 2012; SEUFERT et al., 2012; MAYER & MÄDER, 2016; SANDERS & HEß, 2019).
- Betonung auf kurzfristigen Maßnahmen und Erfolgen auf Grund von Versuchsergebnissen z.B. entsprechend der ersten Versuchsphase ohne entsprechende Berücksichtigung von Ergebnissen oder Erkenntnissen aus genügend langen Dauerversuchen (zweite Phase) oder Betriebsführungen der Praxis in einigen heutigen Konzepten zur Pflanzenernährung und Düngung im Ökolandbau (MÖLLER & FRIEDEL, 2016; MÖLLER, 2019).

5.2.1 Einfluss „mittlerer“ Intensitäten (Fruchtfolgeanteile um 33 % Leguminosen)

In den letzten Jahrzehnten sind die in der landwirtschaftlichen Praxis etablierten Anbauverfahren des ökologischen Landbaus von unterschiedlichen Autoren mehrfach auf deren Auswirkungen auf die betriebliche Bodenfruchtbarkeit und die potenziellen Umweltwirkungen untersucht worden (DIEZ & WEIGELT, 1986; SCHULTE, 1996; HEGE et al., 2003; QUIRIN et al., 2006; HAAS, 2010; KOLBE, 2000, 2015a; HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; FRIEDEL et al., 2014; RAUSSEN et al., 2019).

Durch einen Vergleich dieser Untersuchungen mit den hier präsentierten Versuchsergebnissen kann in etwa die Schlussfolgerung gezogen werden, dass zwischen den geprüften Futterbau- und Marktfruchtssystemen entsprechend der Versuchsvariante 0,5 DE/ha organischer Düngung und einem Anbauumfang von ungefähr 33 % Leguminosen in den Fruchtfolgen eine relativ hohe Übereinstimmung mit der mittleren Situation in der landwirtschaftlichen Praxis des ökologischen Landbaus in Deutschland bzw. in Mitteleuropa besteht. Durch die eigenen Versuchsergebnisse und unter Hinzufügung einiger Erkenntnisse aus bestimmten Dauerversuchen können diese Ergebnisse vervollständigt und vertieft werden (ANON., 1995; MÄDER et al.,

2002; OEHL et al., 2002; ZIMMER & DITTMANN, 2004, 2010; KÖPKE et al., 2006; GRUBER & THAMM, 2008; MEYER et al., 2021a).

Hierzu wurden zunächst einige zentrale Ergebnisse aus den hier vorgestellten Versuchen zur besseren Vergleichbarkeit in Tabelle 243 zusammengefasst (die ebenfalls für die weitere Diskussion als relative Ausgangswerte = 100 % gesetzt werden können, siehe Tabellen weiter unten). In den Dauerversuchen wurden Fruchtfolgen mit einem Anbauumfang von durchschnittlich 33 % (bis maximal 50 %) Futterleguminosen, 25 – 33 % Getreidearten, 21 – 33 % Hackfrüchte (Kartoffeln, Mais) und 7 – 17 % Zwischenfrüchte angebaut. In der landwirtschaftlichen Praxis werden folgende Werte für eine mittlere Anbauzusammensetzung genannt:

	32 Ökobetriebe Sachsen (MEYER et al., 2021b)	Deutschland (KTBL, 2015)
Futter- u. Körnerleguminosen	39 %	42 %
Getreidearten	48 %	47 %
Hackfrüchte (Kartoffeln, Mais, Ölfrüchte, Feldgemüse)	13 %	11 %

In der landwirtschaftlichen Praxis und in diesen Vergleichsvarianten der Dauerversuche wurden unter den Bedingungen eines relativ hohen Anbauumfangs an Leguminosen durchaus vergleichbare Werte in der legumen N₂-Bindung zwischen 78 kg N/ha auf dem Lehmboden in Methau und 56 kg N/ha auf dem Sandboden in Spröda erzielt. In den Versuchen werden auf diesem Intensitätsniveau die höchsten Werte im Anteil an Leguminosen im Leguminosengras-Gemenge und auch die höchsten Werte in der legumen N₂-Bindung erlangt. Als zentraler Orientierungswert liegt auch die Zufuhr an organischen Düngemitteln in der landwirtschaftlichen Praxis im Wertebereich der hier präsentierten Versuchsvarianten (siehe KOLBE, 2015a; MEYER et al., 2021b; Tabelle 243).

Auch die Ergebnisse der Nährstoff- und Humusbilanzierung liegen sowohl von den berechneten Mittelwerten als auch von den dokumentierten Schwankungsbreiten im Bereich der dokumentierten Versuchsergebnisse der Intensitätsstufe um 0,5 DE/ha und Jahr. Auf der Basis durchaus vergleichbarer Nährstoffgehalte des Bodens lagen z.B. die Mittelwerte von 32 Ökobetrieben aus Sachsen bei einem N-Saldo von 32 kg/ha, einem P-Saldo von -10 kg/ha, einem K-Saldo von -60 kg/ha und einem Humussaldo von +150 kg HÄQ/ha (MEYER et al., 2021b). RAUSSEN et al. (2019) ermittelte für den Ökolandbau des Landes Hessen ein P-Saldo von -10 kg/ha und ein K-Saldo von -50 kg/ha. Bei diesen nicht auf Betriebsebene ermittelten Nährstoffsalen waren jedoch auch die N-Salden mit -20 kg/ha veranschlagt worden.

Entsprechend einem sehr umfangreichen Datenmaterial aus etlichen Bundesländern wurde durch KOLBE (2015a) ein mittlerer Humussaldo von +143 kg HÄQ/ha (Versorgungsstufe C) mit einer mittleren Schwankungsbreite von -178 HÄQ bis +720 HÄQ/ha berechnet. Die in den hier präsentierten Versuchen ermittelten Humussalden liegen im Mittelwert und in der Schwankungsbreite auf etwas höherem Niveau (Tabelle 243). Da zwischen den Ergebnissen der Humusbilanzierung mit der STAND-Methode und den Veränderungen der Gehalte im Boden eine hohe korrelative Beziehung von $r = 0,744^{***}$ besteht (KOLBE, 2012a), wurden nur die experimentell ermittelten Werte dargestellt, sie entsprechen den C_{org}-Differenzmengen (kg C/ha u. Jahr).

Diese Ökobilanzierung führte in den Versuchen im Vergleich zur konventionellen Vorbewirtschaftung zu einem geringen Anstieg in den C_{org}-Gehalten zwischen +0,035 % C_{org} auf dem Sandboden und +0,144 % C_{org} auf dem Lehmboden. Auch diese Werte können durch Befunde in der ökologischen Praxis bestätigt werden (CAPRIEL, 2010; KOLBE, 2009a, 2012b). Die Werte von GATTINGER et al. (2012) liegen mit einem Durchschnitt von +0,18 % C_{org} etwas höher, hierbei wurden jedoch, neben Praxisstudien auch Ergebnisse aus

Dauerversuchen mit z.T. extremeren Versuchsanstellungen und aus anderen klimatischen Regionen mit berücksichtigt.

Die so beschriebenen durchschnittlichen Anbauverhältnisse haben zu einem N-Entzug geführt, der in der landwirtschaftlichen Praxis in etwa zwischen 87 – 123 kg N/ha liegt (KOLBE, 2000, 2015a; HÜLSBERGEN & SCHMID, 2010; HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; MEYER et al., 2021b). In den Versuchen lagen die abgefahrenen N-Mengen je nach Anbausystem auf dem leichten Boden zwischen 38 – 114 kg N/ha und auf dem Lehmboden zwischen 72 – 180 kg N/ha und Jahr. Diese Nährstoffentzüge entsprachen GE-Erträgen um 43 dt/ha auf Sand- und um 80 dt/ha auf dem Lehmboden (Tabelle 243).

Tabelle 243: Mittlere Werte einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit der Futterbau- und Marktfruchtsysteme der Düngungsvariante 0,5 DE/ha auf dem Lehmlandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda

	Organ. Düngung [kg N/ha]	GE-Ertrag [dt GE/ha]	N-Saldo (brutto) [kg N/ha]	P-Saldo [kg P/ha]	K-Saldo [kg K/ha]	Humus-Saldo¹⁾ [kg HÄQ/ha / Klasse]	N_{min}-Frühjahr [kg N/ha 0 – 90 cm Bodentiefe]	P_{CAL} [mg P/100 g]	K_{CAL} [mg K/100 g]
Methau									
Futterbau									
KP abgefahren	37	82	±0	-17	-120	+158 C	ca. 45	3,9 C	7,4 C
Marktfrucht									
KP verbleibt, Mulchen	33	78	+87	-7	-14	+433 D	38	4,3 C	11,6 D
Spröda									
Futterbau									
KP abgefahren	32	43	+14	-10	-89	+82 C	40	5,2 D	10,4 D
Marktfrucht									
KP verbleibt, Mulchen	30	43	+83	-2	-1	+214 C	45	7,0 D	10,7 D
Mittelwerte	33	62	46	-9	-56	+222 C	42	5,1	10,0

KP = Koppelprodukt; 1) = Humussaldo ~ C_{org}-Differenz (kg/ha u. Jahr): zwischen Humussaldo der STAND-Methode und der C_{org}-Veränderung besteht eine enge Korrelation von r = 0,744*** (KOLBE, 2012a)

Obwohl es in allen Varianten mit 0,5 DE/ha zu einem geringen Anstieg der Humusgehalte gekommen ist, sind entsprechend der relativ intensiven Vorbewirtschaftung die N_t-Gehalte des Bodens auf dem Sandboden noch um 20 – 29 kg N/ha und Jahr und auch auf dem Lehmboden im geringen Umfang abgefallen. Dagegen sind die verlagerten und von Auswaschung betroffenen N-Mengen auf diesen Varianten außerordentlich gering, was ebenfalls aus Erhebungsuntersuchungen in der landwirtschaftlichen Praxis bestätigt wird und auf die Vorteile dieser Anbauformen für den Umwelt- und insbesondere den Wasserschutz hinweist (KOLBE, 2000; HAAS, 2010). Das trifft auch im Allgemeinen auf die klimarelevanten Spurengase zu (HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; GATTINGER et al., 2019), die ebenfalls bereits in der ersten Versuchsphase dieser Dauerversuche untersucht worden sind (MODEL, 2003; MODEL et al., 2004).

Es ist bemerkenswert, dass auch in Folge einer steigenden Intensität zwischen den Varianten mit 0,0 DE bis über 1,0 DE/ha die Verlagerung und Auswaschung an Nährstoffen nur in einem sehr geringen Umfang

zunimmt. Das trifft auch für die ermittelten geringen Differenzen zwischen den Varianten des Futter- und des Marktfruchtbaus zu, obwohl zwischen diesen Anbausystemen große Unterschiede in der Zufuhr an organischen Materialien bestehen. Hierdurch wurden zwar deutlich höhere Humusbilanzen für die Marktfrucht-Varianten berechnet, demgegenüber werden jedoch nur sehr geringe Differenzen in den ermittelten Erträgen zwischen Futter- und Marktfruchtbau gefunden (Tabelle 243).

Auch die berechneten vollständigen Nährstoffsalden zeigen deutliche Unterschiede zwischen diesen Anbausystemen auf, worauf schon in der ersten Versuchsphase hingewiesen worden ist (BECKMANN et al., 2001, 2002). Hierbei ist jedoch der Anteil an rezyklierten Nährstoffen durch das mehrmalige Mulchen der Kleeerasaufwüchse zu bedenken (siehe SCHMITT & DEWES, 1997; HEUWINKEL, 2001), wodurch die Salden nur scheinbar so hohe Werte annehmen. Berechnungsversuche, die gemulchten Kleeerasaufwüchse vollständig in den Bilanzierungen nicht zu berücksichtigen (siehe SCHMID et al., 2013), führten jedoch zu unrealistischen Ergebnissen. Werden jedoch entsprechend der hier präsentierten experimentellen Ergebnisse nur 30 – 50 % der Nährstoffe in den Kleeerasaufwüchsen angerechnet, so können mit den Futterbauvarianten überprüfbare und vergleichbare Ergebnisse in den Nährstoffsalden realisiert werden.

Werden die Nährstoffsalden in dieser Weise korrigiert, so fallen die N-Salden der Marktfruchtvarianten deutlich ab, die negativen P- und K-Salden werden jedoch ebenfalls um entsprechende Beträge weiter abgesenkt. So kann in einem Beispiel aus Methau bei Berücksichtigung hoher Aufwuchsmengen an Kleeeras der N-Saldo von ausgangs 142 kg N/ha auf 63 kg N/ha und aus Spröda bei verhältnismäßig geringen Kleeerasmengen in der entsprechenden Variante mit 0,5 DE/ha von 101 kg N/ha auf 80 kg N/ha herabgesetzt werden. Die auf diesem Weg korrigierten Salden spiegeln den verbliebenen reaktiven N-Umfang wesentlich besser ab, da dann sowohl die verlagerten N-Mengen als auch die Wirkungen auf den Humus- und den N_t -Gehalt zwischen den beiden Anbausystemen quantitativ vergleichbar sind und berechnete Korrelationen eine höhere statistische Sicherheit aufweisen. Durch diese Vorgehensweise ist die Ermittlung von realistischen Nährstoffsalden zwar fachlich deutlich verbessert worden, die Bilanzierung ist aber mit einem höheren Aufwand verbunden.

Schon in früheren Untersuchungen wurden sehr enge statistische Regressionen zwischen den berechneten Nährstoffsalden und der Veränderung von bestimmten Nährstoffgehalten des Bodens ermittelt (siehe KOLBE & KÖHLER, 2008; FARACK et al., 2019; MEYER et al., 2021a). In Bezug auf den Nährstoff Stickstoff wurde in den Versuchen auf dem Lehmboden berechnet, dass ein Kulminationsbereich um 50 kg N-Saldo/ha erforderlich ist, damit mindestens keine Veränderungen mehr in den N_t -gehalten des Bodens gewährleistet werden ($r = 0,936^{***}$), auf dem vormals hoch gedüngten Sandboden in Spröda waren sogar ca. 100 kg N-Saldo/ha erforderlich ($r = 0,969^{***}$). Bei N-Salden unterhalb dieser Werte nehmen die N_t -Gehalte ab, wie es ja auch in diesen Versuchen über einen großen Versorgungsbereich der Fall ist (siehe Tabelle 243), bei höheren Werten nehmen sie im Boden zu. Bei Fortführung dieser mittleren Intensität würden sich die C_{org} - und N_t -Gehalte der Bodenkrume am Beispiel der Futterbauflächen in 10 Jahren folgendermaßen verändern:

■ Methau: +0,042 % C_{org} TM, -0,006 % N_t TM

■ Spröda: +0,016 % C_{org} TM, -0,001 % N_t TM.

Auf Grund der Ergebnisse der Humusbilanzierung, die bei Verwendung der STAND-Methode in sehr enger Beziehung zur Veränderung der Bodengehalte steht (KOLBE, 2012a), würden sich die C_{org} -Gehalte bis zur Erreichung eines neuen Gleichgewichtes in etwa noch um +0,090 % in Methau bzw. um insgesamt 0,047 % C_{org} in Spröda erhöhen. Die Veränderung der Humus- und Stickstoffreserven des Bodens sind bei dieser mittleren Intensität nicht besonders groß.

Bei den untersuchten Grundnährstoffen bestehen ebenfalls enge Beziehungen zwischen den jeweiligen Salden und der zeitlichen Bodenänderung der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte. Auch in anderen Dauerversuchen wurden enge Beziehungen zwischen der Veränderung der mit verschiedenen Lösungsmitteln extrahierten Nährstoffe wie z.B. dem Phosphat und den berechneten Nährstoffsalden ermittelt (ALBERT, 1980; OEHL et al., 2002). Die Verwendung dieser mathematischen Relationen hat sich zur Bemessung der Grunddüngung im Ökolandbau bewährt (KOLBE et al., 1999; KOLBE, 2010).

In den hier vorgestellten Versuchen dürfen die P-Salden auf dem Lehm Boden höchstens -5 kg P/ha und auf dem durchlässigeren Sandboden mindestens ca. +2 kg P/ha annehmen, ohne dass sich die Nährstoffgehalte an DL- bzw. CAL-löslichem Phosphat im Boden verändern. Da in den Vergleichsversuchen z.T. deutlich negativere P-Salden ermittelt worden sind, kam es auf beiden Standorten bei dieser relativ geringen Intensität zu einer Abnahme der P-Gehalte in der Bodenkrume (Tabelle 243). Entsprechend diesen deutlich negativen P-Salden würden sich die P_{DL} -Gehalte der Bodenkrume in den Futterbausystemen in 10 Jahren in folgender Weise verändern: Methau -0,85 mg P/100 g, Spröda -1,92 mg P/100 g Boden. Da diese Ergebnisse in den Nährstoffsalden auch in der Praxis des Ökolandbaus im Durchschnitt zutreffen, sind in einigen Erhebungen ähnliche zeitliche Trends bestätigt worden (KOLBE, 2015a). So nimmt nach LEISEN (2013) der P-Gehalt um ca. 0,5 – 1,0 mg P/100 g je Jahrzehnt im Boden der landwirtschaftlichen Ökobetriebe ab.

In Untersuchungen zum Nährstoff Kalium konnten ebenfalls diese Kulminationspunkte zwischen Nährstoffsalden und der Bodenveränderung bestätigt werden. Am Versuchsort Methau können auf Grund der hohen Nachlieferung aus dem Lößboden negative K-Salden zwischen 50 – 60 kg K/ha bestehen, ohne dass die DL- oder CAL-löslichen K-Werte im Boden abnehmen. Auf dem Sandboden sollten sie dagegen mindestens +10 kg K/ha betragen, weil hier auch Kalium in höherem Ausmaß einer Verlagerung und Auswaschung unterliegt, während die Nachlieferung nur verhältnismäßig gering ist.

Wie aus Tabelle 84 hierzu zu entnehmen ist, liegen die K-Salden in beiden Versuchsanstellungen dieser mittleren Intensitätsstufe auf einem entsprechend deutlich negativen Niveau. Im Durchschnitt der Futterbauflächen kann folgende Veränderung der K_{DL} -Werte der Ackerkrume für 10 Jahre berechnet werden: Methau -2,75 mg/100 g, Spröda -1,39 mg/100 g Boden. Da auch in der landwirtschaftlichen Praxis derartig negative Salden weit verbreitet sind, kann erwartet werden, dass auch die K-Gehalte des Bodens in der Zukunft weiter abnehmen werden. Oft erfolgt hierbei eine Abnahme der Klassen C – E und eine entsprechende Zunahme der Klassen A und B (KOLBE, 2015a; KOLBE & MEYER, 2021).

Lediglich beim Nährstoff Schwefel ist für Ostdeutschland noch eine Besonderheit zu beachten. Auf Grund der hohen atmosphärischen Zufuhr aus früheren Jahrzehnten und einer S-Deposition von 11 – 12 kg S/ha und Jahr im Verlauf der vorgestellten Versuche, ist mit einer ausreichenden S-Versorgung zumindest auf den schwereren Böden zu rechnen, da zudem noch erhebliche S-Mengen im Tiefenprofil durch die Pflanzenwurzeln erreichbar sind. Auch Pflanzenarten mit hoher S-Aufnahme, wie die Futterleguminosen und Silomais, konnten noch ausreichend ernährt werden. Nur auf dem Sandboden in Spröda ist abzusehen, dass diese Vorräte im Laufe der Versuche im Untergrund so deutlich abgenommen haben, dass sie nicht mehr nutzbar sind. In Ostdeutschland besteht daher z.Zt. auch in der Praxis des Ökolandbaus noch keine akute Gefahr eines deutlichen S-Mangels (MEYER et al., 2021b).

Aus diesem Grund war zu erwarten, dass das Wachstum und die Ertragsbildung von Pflanzenarten mit zudem relativ geringer Nährstoffaufnahme, wie den Körnerleguminosen, in speziellen S-Düngungsversuchen nicht nur in Ostdeutschland bisher kaum beeinflusst werden konnte (SCHMIDTKE & LUX, 2015; GRUBER & WEGNER, 2017). Bei weiter abnehmenden Werten in der Deposition und im Profiluntergrund ist aber auch unter den ostdeutschen Verhältnissen mit einem S-Mangel unter ökologischen Anbaubedingungen zu rechnen, wie dies heute bereits in Westdeutschland für bestimmte Pflanzenarten der Fall ist (BECKER et al., 2015).

Mit Hilfe des Modells CCB (FRANKO et al., 2011; KOLBE et al., 2013) wurden für jede Variante und für jedes Versuchsjahr die Humusbilanzen und die Mineralisation an Stickstoff ermittelt. Die erhaltenen Werte in den Humusbilanzen brachten eine gute Übereinstimmung zwischen der gemessenen Veränderung der Humusgehalte (siehe Tabelle 243) und den berechneten Werten. Somit war auch die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die jährlich ermittelten Werte in der N-Mineralisation mit der Realität im Einklang stehen (siehe MEYER & KOLBE, 2021).

Für die Intensitätsstufe 0,5 DE/ha wurden am Ort Methau im Durchschnitt der Futterbauvarianten Werte um 59 kg N/ha und auf den Marktfruchtflächen (ohne Abzug des Rezyklierungsanteils) von 131 kg N/ha berechnet. Auf dem Sandboden haben die entsprechenden Werte für den Futterbau 62 kg/ha bzw. 135 kg/ha an N-Mineralisation betragen. Unter Anrechnung dieser Werte an N-Mineralisation sowie der üblichen Merkmale zur N-Düngebedarfsermittlung waren, auch bei zusätzlicher Abdeckung des N-Bedarfs der Fruchtarten durch die einbezogenen Ernte- und Wurzelreste, in jedem Fall die Summen der zur Aufnahme bereitgestellten pflanzenverfügbaren Nährstoffmengen ausreichend, um das erzielte Ertragsniveau im Durchschnitt der gesamten Fruchtfolgen abzudecken.

Für einzelne Fruchtarten, die für die Ertragsbildung eine verhältnismäßig hohe Nährstoffaufnahme erfordern wie z.B. Mais und Kartoffeln, im Gegensatz zu Getreide und Klee gras, war jedoch die Nährstoffbereitstellung an Stickstoff bereits bei einem mittleren Intensitätsniveau nicht mehr ausreichend, wodurch eine Ertragsbegrenzung insbesondere dieser Kulturen sichtbar wurde. In Folge steigenden Düngungsniveaus reagierten diese Hackfrüchte auch mit einem deutlicheren Ertragsanstieg als die anderen hier geprüften Arten. Der Nährstoff Stickstoff erweist sich somit auch im Ökolandbau als ein ertragsbegrenzender Einflussfaktor, wie dies auch in anderen Versuchsarbeiten bereits nachgewiesen werden konnte (DELLEN, 2001; BERRY et al., 2002; GUNST et al., 2013; MÖLLER & FRIEDEL, 2016; KOLBE, 2021).

Im Gegensatz zum Stickstoff können auch Ertragsbegrenzungen bei den Grundnährstoffen auftreten, wenn bestimmte Mindestwerte an pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalten im Boden unterschritten werden, wie dies unter den Bedingungen im Ökolandbau z.B. auch für die Nährstoffe Phosphor und Kalium durch eine Metaanalyse vieler Feldversuche aus Deutschland nachgewiesen werden konnte (KOLBE, 2019). Auf Grund der noch relativ hohen Versorgung mit den Nährstoffen P und K (Klassen C – D, Tabelle 243) sind diese ertragsbegrenzenden Verhältnisse jedoch in den hier vorgestellten Versuchen noch nicht eingetreten.

Bei den Grundnährstoffen umfasste die jährliche P- und K-Freisetzung durch den Humusumsatz und anderen Prozessen lediglich in etwa 15 – 30 % der von den heranwachsenden Pflanzen direkt aufgenommenen Nährstoffmengen. Zur Abdeckung des P-Bedarfs wurde daher eine vorübergehende Abnahme der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte im Verlauf der Vegetationsperiode am Versuchsort Spröda von lediglich 0,4 mg P/100 g und in Methau von höchstens 1,0 mg P/100 g Boden veranschlagt. Auch beim Nährstoff Kalium lag die berechnete Abnahme mit 3 – 5 mg K/100 g Boden auf relativ niedrigem Niveau. Daher war für beide Nährstoffe im Durchschnitt der Versuche unter Beachtung des Mineralisierungsanteils mit keinem Mangel zu rechnen, da in keinem Fall die ertragsbegrenzenden Werte (Klasse B oder A, KOLBE, 2019) erreicht oder unterschritten worden sind.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass die Versuchsergebnisse zu den beschriebenen mittleren Intensitäten auch für einen weiten Bereich an ökologischen Praxisbetrieben zutreffen, die sowohl über einen gewissen Umfang an Tierhaltung aufweisen und durch eine Landbewirtschaftung gekennzeichnet sind, die weitgehend dem Typus des Gemischtbetriebes gleichen. Das trifft sowohl auf diese beschriebenen Formen in ein und demselben Betrieb zu, die daher seit langer Zeit als ein Idealbild des Ökolandbaus angesehen werden (HAUG, 1974; SEURI, 2008; REMPELOS et al., 2021). Ähnliche Ergebnisse werden auch bei Mittelwertbildung

zwischen üblichen viehhaltenden und viehlosen Betrieben ganzer Regionen oder Länder erhalten. Der Anteil an Viehhaltung ist in diesen Betrieben oft mindestens so hoch, damit der notwendige Fruchtfolgeanteil an Feldfutter sinnvoll genutzt werden kann. Die viehhaltenden Betriebe weisen hierbei in der Regel über ein- bis zweijährige Ackerfutterbestände auf, während viehlose Betriebe oft über einjährige Bestände zur Mulchnutzung oder/und über einen gewissen Anbauumfang an Körnerleguminosen verfügen.

Bei diesen Betriebsformen oder Regionen „wird der Ackerbau maßgeblich durch die flächengebundene Tierhaltung beeinflusst. Die anfallenden Wirtschaftsdünger werden auf die Flächen zurückgeführt und dienen der Pflanzenernährung. Der Anbau des Feldfutters ist sowohl die Grundlage der Fütterung als auch das Boden aufbauende Glied innerhalb der Fruchtfolgen. In diesen Gemischtbetrieben lässt sich die Bodenfruchtbarkeit ... noch relativ einfach absichern.“ (KOLBE & SCHUSTER, 2011). Wie die hier gezeigten Untersuchungen offenbaren, kann diese Betriebsgestaltung für viele Bereiche als optimal angesehen werden. Es ist tatsächlich in diesen Betriebsformen wesentlich einfacher, „die Bodenfruchtbarkeit durch die weitgehend geschlossenen Nährstoffkreisläufe relativ einfach abzusichern.“

Genauere Untersuchungen in den Landwirtschaftlichen Betrieben bzw. in entsprechenden Dauerversuchen, wie sie hier zu behandeln sind, haben aber ebenfalls offenbart, dass bei Betrachtung längerer Zeiträume auch bei diesen klassischen Biobetrieben z.B. die Nährstoffkreisläufe mehr oder weniger weit geöffnet sind und es deshalb Handlungsbedarf auf verschiedenen Ebenen des schlagbezogenen betrieblichen oder überbetrieblichen Nährstoffmanagements besteht (KOLBE, 2015a; MEYER et al., 2021b).

5.2.2 Einfluss niedriger Intensitäten (Viehlosigkeit, Marktfruchtanbau) mit 33 % Leguminosen in den Fruchtfolgen

Es ist schon seit langer Zeit bekannt, dass landwirtschaftliche Betriebsformen mit höherer Spezialisierung, auf Standorten mit geringer natürlicher Fruchtbarkeit und bei weitgehender Viehlosigkeit ein z.T. deutlich höheres Gefährdungspotenzial zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit aufweisen (ALVERMANN, 1990; SCHMIDT, 1997, 2004; EMMERLING & SCHRÖDER, 2000; BERRY et al., 2003; SCHULZ, 2012). Ein hoher Anteil an Ursachen wird hierbei z.B. den viehlos wirtschaftenden Betrieben angehaftet, die sich auf Grund der einfacheren Grundstrukturen heute einer weiten Verbreitung erfreuen, bei deren Benennung als Marktfrucht- bzw. Ackerbaubetriebe jedoch Ungenauigkeiten auftreten können.

So fallen unter diese Bewirtschaftungsform Betriebe, deren Fruchtfolgen unter anderem auch einen höheren Anteil an Feldgemüse aufweisen können, dessen ordnungsgemäße Führung in der Regel ohne organische Düngungszufuhr kaum möglich ist. Daher kann es bei einfacher Sortierung zwischen Futterbau- und Marktfruchtbetrieben zu Ergebnissen kommen, dass sich die Mittelwerte in wichtigen Kriterien der Bodenfruchtbarkeit zwischen diesen beiden Anbauformen z.T. kaum unterscheiden (siehe MEYER et al., 2021b). Werden von den Marktfruchtbetrieben die Feldgemüse anbauenden Formen separat aufgeführt, so kann eine wesentlich genauere Charakterisierung der Betriebstypen gelingen (KOLBE, 2015a; KOLBE & MEYER, 2021).

Ein wesentliches Kennzeichen dieser Ackerbau- oder Marktfruchtbetriebe ist, dass im Vergleich zu anderen verbreiteten Formen nur sehr geringe Mengen oder gar keine organischen Düngemittel zur Verfügung stehen. Auch bei vereinzelt Zukauf werden auf den Flächen nur verhältnismäßig geringe Düngermengen eingesetzt. Außerdem fällt bei diesen Betrieben auf, dass bei deren Anbauumfang an oftmals nicht ökonomisch verwertbaren Leguminosen, insbesondere an Futterleguminosen, die legume N₂-Bindung um 5 – 15 kg N/ha und Jahr niedriger liegt als auf den anderen Betrieben (KELM et al., 2007a,b; HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; KOLBE, 2015a; KOLBE & MEYER, 2021).

Der Verzicht auf jegliche organische Düngung führte auch in den eigenen Versuchen sowohl zu einer Reduzierung des Leguminosenanteils im Klee-grasgemenge um 4 – 6 %, insbesondere auf den Marktfruchtflächen, als auch zu einer durchaus vergleichbaren absoluten bzw. relativen Abnahme der legumen N₂-Bindung um 2 – 12 % auf den viehlosen Systemen im Vergleich zu den Varianten mit einer Intensität um 0,5 DE/ha. Nach diesen Untersuchungen reichen also alleine die durch eine noch verhältnismäßig geringe organische Düngung ausgelösten Verbesserungen der legumen N₂-Bindung aus, um die Abnahme der N₂-Bindung bei Viehlosigkeit zu erklären.

In der landwirtschaftlichen Praxis kommt allerdings oft hinzu, dass der Fruchtfolgeanteil an Futterleguminosen reduziert und der an Körnerleguminosen erhöht wird, was sich zusätzlich negativ auf das N₂-Bindungspotenzial der gesamten Fruchtfolge auswirken kann. Siehe ausführliche Diskussion von Effekten des Leguminosenanteils in der Fruchtfolge auf verschiedene Merkmale im Ackerbau von SCHMIDTKE & RAUBER (2000), SCHMIDT (2004), SCHULZ (2012) und KOLBE (2013).

Der Verzicht auf die organische Düngung und die reduzierte legume N₂-Bindung wirken sich nicht nur deutlich auf die Ergebnisse der N-Bilanzierung aus, sondern es ist ebenfalls eine Abnahme der Humussalden in der Praxis und in den Versuchsanstellungen zu beobachten. Stickstoff- und Humusbilanzen stehen hier oft in enger Verbindung. Unter den Anbaubedingungen der praktischen Marktfruchtbetriebe werden dann oft N- und Humussalden ermittelt, die meistens noch geringe positive Werte aufweisen und somit der Versorgungsklasse C zuzuweisen sind (KELM et al., 2007a,b; HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; KOLBE, 2015a). Gegenüber den Futterbaubetrieben bzw. dem Durchschnitt der Ökobetriebe haben sich die N-Salden aus diesen praktischen Anbauerhebungen zwischen 10 – 25 kg N/ha verringert. In den hier dokumentierten Versuchen waren es nach absolutem Verzicht auf organische Düngung etwas höhere Abnahmen, die zwischen der 0,0-DE- und der 0,5-DE-Variante in etwa 25 – 35 kg N/ha betragen haben. ZIMMER & DITTMANN (2010) ermittelten auf Sandboden zwischen Anbausystemen mit 0,7 GV/ha bzw. ohne Düngung eine Abnahme der N-Salden um 23 kg N/ha und Jahr.

Bei den erhobenen Humusbilanzierungen sanken die Werte in der landwirtschaftlichen Praxis zwischen dem Durchschnitt der Betriebe und den reinen Marktfruchtbetrieben je nach Berechnungsgrundlage zwischen 70 – 190 kg HÄQ/ha (= 68 – 44 % des Ausgangsniveaus) ab. Zwischen den betreffenden Versuchsvarianten war eine Abnahme der Salden von 40 – 105 kg HÄQ/ha berechnet worden (= ca. 75 – 46 % des Ausgangsniveaus, vgl. Tabelle 243 u. Tabelle 244). Nur unter den Bedingungen einer extremeren Humusbilanzmethode waren die Unterschiede zwischen Futterbau- und Marktfruchtbetrieben größer ausgefallen (HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013).

Diese Unterschiede beruhen im Wesentlichen auf einer Reduzierung der TM-Zuführung über die Düngung um 7 – 11 dt TM/ha und Jahr in den betreffenden Varianten der Dauerversuche. Die reduzierte Zufuhr an organischer Substanz und des darin enthaltenen Stickstoffs führte darüber hinaus zu einer leichten Abnahme der Verfügbarkeit an N_{min}-Stickstoff im zeitigen Frühjahr um bis zu 5 kg N/ha (= 100 – 89 % im Vergleich zum Ausgangsniveau, vgl. Tabelle 243 u. Tabelle 244). Die Abnahme der Herbst-N_{min}-Werte war ähnlich hoch ausgeprägt. Auf dem Lehm-boden ist zudem eine Verringerung der N-Mineralisation von 8 kg N/ha (= 86 %) im reinen FB-System und von 32 kg N/ha (= 76 %) auf den MF-Flächen eingetreten. Auf dem Sandboden waren die Abnahmen mit 7 kg N/ha (= 91 %) bzw. 10 kg N/ha (= 93 % im Vergleich zum mittleren Ausgangsniveau) deutlich geringer ausgefallen. Das Potenzial der Tiefenverlagerung und Auswaschung an Stickstoff war dagegen mit ca. 68 – 79 % relativ ähnlich zwischen den Standorten und den Anbausystemen. Die absoluten Mengen lagen am Ort Methau mit einer Abnahme um 1,6 kg N/ha bzw. 0,7 kg N/ha auf einem sehr niedrigen Niveau. Am Versuchsort Spröda ist dagegen eine Abnahme der Verlagerung um 4,4 kg und der ausgewaschenen N-Menge um 1,1 kg N/ha und Jahr gemessen worden, jeweils berechnet für die Versuchsvarianten ohne Düngung gegenüber dem mittleren Vergleichsniveau bei 0,5 DE/ha (= 100 %).

Tabelle 244: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität [= 100 %, siehe Tab. 243] einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit bei reinen Futterbau- und Marktfruchtsystemen der Variante 0,0 DE/ha auf dem Lehmstandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda

	Organ. Düngung [kg N/ha]	GE-Ertrag [dt GE/ha]	N-Saldo (brutto) [kg N/ha]	P-Saldo [kg P/ha]	K-Saldo [kg K/ha]	Humus-Saldo¹⁾ [kg HÄQ/ha/Klasse]	N_{min}-Frühjahr [kg N/ha]	P_{CAL} [mg P/100 g]	K_{CAL} [mg K/100 g]
Methau									
Futterbau	0	72	-24	-23	-141	+119 C	41	3,9 C	7,2 C
KP abgefahren	-37	-10 (88 %)	-24	-6 (-135 %)	-21 (-118 %)	-39 (75 %)	-4 (91 %)	±0 (100 %)	-0,2 (97 %)
Marktfrucht	0	73	+51	-14	-52	+328 D	35	4,2 C	11,1 D
KP verbleibt, Mulchen	-33	-5 (94 %)	-36 (59 %)	-7 (-200 %)	-38 (-371 %)	-105 (76 %)	-3 (92 %)	-0,1 (98 %)	-0,5 (96 %)
Spröda									
Futterbau	0	40	-13	-14	-111	+38 C	ca. 40	4,9 D	8,7 C
KP abgefahren	-32	-3 (93 %)	-27	-4 (-140 %)	-22 (-125 %)	-44 (46 %)	±0 (100 %)	-0,3 (94 %)	-1,7 (84 %)
Marktfrucht	0	38	+58	-6	-20	+139 C	ca. 40	4,8 D	9,5 C
KP verbleibt, Mulchen	-30	-5 (88 %)	-25 (70 %)	-4 (-300 %)	-19 (-2000 %)	-75 (65 %)	-5 (89 %)	-2,2 (69 %)	-1,2 (89 %)

KP = Koppelprodukt; 1) = Humussaldo ~ C_{org}-Differenz (kg/ha u. Jahr): zwischen Humussaldo der STAND-Methode und der C_{org}-Veränderung besteht eine hohe Korrelation von r = 0,744*** (KOLBE, 2012a)

Durch den Verzicht auf die organische Düngung und die damit zusammenhängende Verringerung der Merkmale der Bodenfruchtbarkeit wurde in den Versuchen eine absolute Abnahme der Ertragsfähigkeit der Fruchtfolgen um 3 – 10 dt GE/ha ermittelt, so dass ein relatives Ertragsniveau zwischen 88 – 94 % auf den Versuchsflächen in der 0,0-DE-Variante erreicht worden ist (Tabelle 244, im Vergleich zu Tabelle 243). Ertragserhebungen sind auch in der landwirtschaftlichen Praxis durchgeführt worden, bei denen wiederum sehr ähnliche Veränderungen festgestellt worden sind. So wurde z.B. von HÜLSBERGEN & RAHMANN (2013) auf den ökologischen Pilotbetrieben bei viehlosen Marktfruchtbetrieben im Vergleich zu den Futterbaubetrieben eine Abnahme der GE-Erträge um 6 dt/ha (= 86 %) ermittelt. Bei einem 17jährigen Vergleich zwischen Großparzellen mit Viehhaltung und ohne Viehhaltung sind die durchschnittlichen GE-Erträge auf viehrefreien Flächen von 57 dt/ha auf 61 dt/ha angestiegen, während sie auf den viehlosen Flächen von 53 dt/ha auf 42 dt/ha abgefallen sind (MEYER et al., 2021a).

Zwischen den Anbauverfahren des angenommenen Durchschnitts in der 0,5-DE-Variante und der viehlosen Systeme wurden keine großen Verschiebungen in den Qualitäten der aufwachsenden Pflanzensubstanz ermittelt. So können die N- bzw. die Rohproteingehalte im Getreidekorn, Maiskorn und Kartoffelknollen sowie die Gehalte an Rohasche im Klee gras geringfügig abnehmen. Bei Kartoffelknollen trifft das auch für das Kalium zu, weshalb dann auf der viehlosen Fläche etwas höhere Werte in der Rohverfärbung des Kartoffelfleisches auftreten können. Die Sedimentationswerte zur Beurteilung der Backqualität von Weizen haben demgegenüber zwischen mittleren und viehlosen Anbaubedingungen der Dauerversuche zwischen 3 – 5 % abgenommen.

Damit eine bessere Bereitstellung des verfügbaren Stickstoffs erfolgt, können Anbauversuche zu Getreide, insbesondere zu Weizen mit breiteren Reihenabständen beitragen. Bei geringen Ertragsausfällen können die

Gehalte an Rohprotein im Korn und damit auch die Backqualität z.T. deutlich angehoben werden. Eine andere Möglichkeit besteht in der Transferdüngung („Cut & Carry“) z.B. von auf anderen Flächen herangewachsenem Klee gras zur Verbesserung der Nährstoffversorgung verschiedener Fruchtarten (RICHTER & DEBRUCK, 2001; NEUMANN, 2005; BECKER & LEITHOLD, 2007; STUMM & KÖPKE, 2015; CASPER et al., 2019; GENGENBACH & HAASE, 2019).

Neben dem ertragsbegrenzenden Stickstoff sind in den viehlosen Anbausystemen ohne organische Düngung auch noch andere wichtige Nährstoffe betroffen. So konnte in den hier vorgestellten Versuchen eine weitere Abnahme der bei mittlerer Intensität bereits z.T. deutlich negativen Nährstoffsalden um 4 – 7 kg P/ha und sogar um 19 – 38 kg K/ha berechnet werden. Hierbei erfolgte eine Veränderung der K-Salden in ähnlichem Umfang, wie es bereits bei den N-Salden ermittelt worden ist (Tabelle 244).

In den untersuchten Landwirtschaftsbetrieben wurden die niedrigsten Nährstoffsalden ebenfalls nach viehloser Bewirtschaftung gefunden, nur waren die Veränderungen zu negativeren Werten zwischen dem Durchschnitt bzw. den Futterbau- und den viehlosen Betrieben mit einer Abnahme um 3 kg P/ha und 4 – 14 kg K/ha nicht so deutlich ausgeprägt, wie in den beschriebenen Dauerversuchen. Bei längerer Andauer derart negativer Nährstoffsalden ist zu erwarten, dass in den Versuchen und auch in den Praxiserhebungen die pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte in der Bodenkrume eine weitere Abnahme erfahren werden (Tabelle 244; KOLBE 2015a). Da die Kulminationspunkte bzw. Schwellenwerte bei den P-, aber auch bei den K-Salden deutlich unterschritten werden, ist auf lange Sicht mit einer stärkeren Abnahme der P- und besonders auch auf den leichteren Böden mit einer Verringerung der verfügbaren K-Gehalte bei viehloser Wirtschaftsweise zu rechnen (siehe ASKEGAARD et al., 2006). Auf Grund der erhaltenen Humus- und Nährstoffsalden können für einen Zeitraum von 10 Jahren folgende Veränderungen in den Bodengehalten der Ackerkrume bei viehloser Bewirtschaftung (auf Basis der Futterbauflächen der Dauerversuche) berechnet werden:

- Methau: +0,031 % C_{org}, -0,008 % N_t, -1,24 mg P/100 g, -3,67 mg K/100 g Boden
- Spröda: +0,008 % C_{org}, -0,009 % N_t, -2,55 mg P/100 g, -2,35 mg K/100 g Boden.

Auch die auf Basis der Humusbilanzen berechneten Veränderungen der C_{org}-Gehalte bis zur Erreichung eines Gleichgewichtes würden sich in folgendem Rahmen noch geringfügig erhöhen: Methau +0,068 %, Spröda +0,022 % C_{org}. Im DOK-Versuch in Therwil wurden in den ungedüngten Varianten P-Salden von unter -20 kg P/ha und Jahr im Verlauf von über 20 Versuchsjahren ermittelt. Diese standen ebenfalls in enger Beziehung zur Abnahme des mit verschiedenen Methoden extrahierbaren Phosphat im Boden (OEHL et al., 2002).

In den hier vorgestellten Versuchen zur Viehlosigkeit wurde eine Unterscheidung zwischen den reinen Marktfruchtssystemen ohne Düngung, bei denen die Koppelprodukte auf den Flächen verblieben sind, und Futterbausystemen ohne jegliche Düngung vorgenommen, auf denen jedoch alle Koppelprodukte (Stroh, Klee gras aufwüchse) abgeerntet worden sind. Wie aus Tabelle 244 hierzu entnommen werden kann, sind diese als Futterbau bezeichneten Varianten bei den meisten aufgeführten Merkmalen durch nochmals extremere bzw. deutlich ungünstigere Werte im Nährstoffmanagement und in der Bodenfruchtbarkeit gekennzeichnet.

Da derartige Übergänge zwischen den beiden Anbausystemen auch in der Praxis vorkommen, sollte hierauf besonders hingewiesen werden. So können diese viehlosen Betriebe, die z.B. durch einen hohen Anbauumfang von bestimmten nachwachsenden Rohstoffen, Verkauf von Stroh und den Klee gras aufwüchsen gekennzeichnet sind, ein hohes Gefährdungspotenzial für die Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit aufweisen (KOLBE, 2011, 2013). Es kann aus diesen Versuchsdaten abgeleitet werden, dass je länger diese defizitären Anbaubedingungen mit deutlich negativen Nährstoffsalden andauern und je höher das Ertragsniveau infolge N-betonter organischer Düngung bzw. je höher der Leguminosenanbau in den

Fruchtfolgen ist, umso stärker wird der Boden an Grundnährstoffen ausgehagert. So werden oft in älteren Ökobetrieben und bei betontem Anbau von Leguminosen sehr niedrige P- und K-Gehalte im Boden gefunden (SCHULTE & SCHRÖDER, 1996; KOLBE, 2015a, REIMER et al., 2020; KOLBE & MEYER, 2021).

5.2.3 Marktfruchtanbau mit geringem Leguminosenanbau vorwiegend als Körnerleguminosen in den Fruchtfolgen

Einfluss von 33% Leguminosen

Auch in Folge eines verringerten Anbauumfangs an Leguminosen in den Fruchtfolgen können diese viehlosen Anbauformen in einigen Versuchen aber auch in Praxiserhebungen nachgewiesen werden. Da für die Futtergras-Aufwüchse auf den Marktfruchtssystemen oft keine sinnvolle Verwendung gegeben ist, kommt es in der Praxis zunächst zu einem Ersatz durch andere Leguminosenarten, wie den Körnerleguminosen, deren abgeerntete Produkte am Markt einer höheren Bewertung unterliegen. In erster Anlehnung an diese Anbausysteme wird bei weitgehender Beibehaltung des Anbauumfangs an Leguminosen ein stufenweiser Ersatz des Futterbaus durch den Anbau von Körnerleguminosen untersucht.

In einigen Dauerversuchen auf sandigem bis schluffigem Lehm (Bodenzahlen zwischen 61 – 64, 16 Versuchsjahre) von CASTELL et al. (2016) und auf einem tonigen Schluff (Bodenzahlen 67/66, 12 Versuchsjahre) von SCHULZ (2012) sind diese Systeme nachgestellt worden. In den Versuchsvarianten ist unter weitgehender Belassung der Koppelprodukte ebenfalls ein Anbauumfang an Leguminosen in der Höhe von 33 % realisiert worden, wobei in weiteren Varianten dann eine Aufteilung zwischen gleichen Anteilen an Futter- und Körnerleguminosen, bzw. nur noch ein Anbau von Körnerleguminosen erfolgt ist (Tabelle 245).

Da in den z.T. stark unterschiedlich langen Fruchtfolgen ein ähnlicher Anbauumfang an Leguminosen erfolgt ist wie in den eigenen Untersuchungen, sind die Ergebnisse der Varianten mit einem mittleren Einsatz an organischen Düngern um 38 kg N/ha und Jahr sehr gut miteinander vergleichbar, um sowohl ein durchschnittliches mittleres Versorgungsniveau der Praxis als auch in den eigenen Dauerversuchen zu gewährleisten (siehe Tabelle 243 u. Tabelle 245, Variante 1). Ausgehend von diesem Versorgungsniveau (= 100 %) lassen sich nun für die viehlosen Anbausysteme durch teilweisen bzw. vollständigen Ersatz des legumen Futteranbaus durch Körnerleguminosen (Ackerbohne, Erbse, Sojabohne) folgende Veränderungen ablesen (Tabelle 245, Variante 1 im Vergleich zu Varianten 2 u. 3):

- Abfall des durchschnittlichen Ertragsniveaus bei teilweisem Ersatz auf 87 % und bei vollständigem Ersatz durch Körnerleguminosen auf durchschnittlich 74 %
- Die legume N₂-Bindung der Leguminosen fällt nur geringfügig um bis zu 10 % ab
- Die N-Brutto-Salden verringern sich von ca. +48 kg N/ha (= 100 %) bei 33 % KG-Anbau über +45 kg bis auf +22 kg N/ha bei 33 % Körnerleguminosen
- Durch die verstärkte Abfuhr von P-reichen Körnerprodukten und die Reduzierung des K-reichen KG-Anbaus kommt es einerseits zu einer weiteren Verstärkung der negativen P-Salden und andererseits aber auch zu einer Reduzierung der negativen K-Salden
- Durch die stufenweise verringerte Zufuhr an Ernte- und Wurzelresten durch den Ersatz von Klee gras durch die Körnerleguminosen werden die C_{org}-Gehalte des Bodens in zunehmendem Umfang reduziert, was auch durch die Humusbilanzierung bestätigt werden kann
- Das Ausmaß der C_{org}-Veränderung bis zur Erreichung eines Gleichgewichtes würde ungefähr folgenden Umfang einnehmen: Variante 1 +0,124 % C_{org}, Variante 2 -0,090 % C_{org}, Variante 3 -0,155 % C_{org}

- Da unter dem KG-Anbau z.T. deutlich niedrigere N_{\min} -Werte vorhanden sind, kommt es zu einer geringen Zunahme der mittleren N_{\min} -Gehalte im Frühjahr durch den Anbau von Körnerleguminosen, die N_{\min} -Werte der ersten und zweiten Nachfrüchte liegen jedoch auf gleich hohem bzw. nach KG-Mulch auf etwas höherem Niveau
- Die Werte der Gehalte an Rohprotein bzw. die Sedimentationswerte von Backweizen nehmen ebenfalls um 10 – 15 % ab, die Wahrscheinlichkeit zur Erreichung einer genügend hohen Backqualität nimmt ab (in Tabelle 245 nicht enthalten).

Obwohl eine Versuchsdauer von lediglich 12 Jahren bei einigen Merkmalen noch nicht ausreichend ist, um eine solide Bewertung zu ermöglichen, zeigen diese Versuche doch übereinstimmend eine durch den ersatzweisen Anbau von Körnerleguminosen verursachte z.T. deutliche Abnahme sowohl des Ertrags- und Qualitätsniveaus der Nichtleguminosen als auch von wichtigen Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit auf. Diese Veränderungen gehen somit noch über eine viehlose, d.h. gänzlich ohne organische Düngemittel auskommende Marktfruchtbewirtschaftung mit einem Niveau von 33 % Klee gras hinaus (siehe Tabelle 244).

Auch in einem vergleichbaren Exaktversuch auf dem Ökofeld in Roda nahmen die C_{org} -Gehalte in den ersten 10 Versuchsjahren bei einem Anbauumfang bereits von jeweils 16,7 % Klee gras und Körnerleguminosen z.T. deutlich ab (-490 kg C_{org} /ha u. Jahr), während eine viehlose Bewirtschaftung mit 33 % Klee gras noch zu einer Zunahme der C_{org} -Gehalte führte (KOLBE, 2006b; MEYER et al., 2021a). Unter Beachtung einer ausreichend langen Versuchsphase kann erwartet werden, dass die bisher ermittelten relativ hohen durchschnittlichen jährlichen Veränderungsrate n dann wieder entsprechend verringert werden, so dass die z.T. extremen Ergebnisse von SCHULZ (2012) bzw. KOLBE (2006b) zur Veränderung der Humusgehalte relativiert werden können. Nach SCHULZ et al. (2017) wurden bei späteren Analysen auch bereits geringere Werte ermittelt. Zur Beurteilung bestimmter Merkmale ist also auf eine ausreichend lange Versuchszeit zu achten. Bei einem Klee gras- und Körnerleguminosenanteil von jeweils 20 % in der viehlosen Fruchtfolge kamen EMMERLING & SCHRÖDER (2000) bei abnehmenden P- und K-Gehalten im Boden zu P-Salden von -11 bis -14 kg/ha und K-Salden zwischen -18 bis -24 kg/ha und Jahr.

Tabelle 245: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität [Vergleich = 100 %, siehe Tab. 243] einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit in Marktfruchtssystemen mit 33 % Fruchtfolgeanteil mit Leguminosen aus Klee gras bzw. Körnerleguminosen auf Lehmboden (nach Daten von SCHULZ, 2012; CASTELL et al., 2016)

Variante	Organ. Düngung	Ertrag (HP)	Legum. N_2 -Bindung	N-Saldo (brutto)	P-Saldo	K-Saldo	C_{org} -Differenz	Humus-Saldo (HE)	N_{\min} -Frühjahr (0-90 cm)
	[kg N/ha]	[dt TM/ha]	(kg N/ha)	[kg N/ha]	[kg P/ha]	[kg K/ha]	[kg/ha u. J.]	[HÄQ/ha]	[kg N/ha]
1 Vergleich 1 33 % KG	38 (= 100 %)	49 (= 100 %)	89 (=100 %)	+48 (= 100 %)	-10 (= 100 %)	-50 (= 100 %)	+218 (= 100 %)	+541 E (= 100 %)	41 (= 100 %)
2 16,7 % KG, 16,7 % KL	0	43 -6 (78–95 %)	88 -1 (99 %)	+45 -3 (= 94 %)	-12 -2	-33 +17	-158 -376	+315 D -226	50 +9 (122 %)
3 33 % KL	0	36 -13 (65–83 %)	79 -10 (89 %)	+22 -26	-13 -3	-29 +21	-274 -492	-155 B -696	47 +6 (115 %)

KG = Klee gras; KL = Körnerleguminosen; HE = Humusbilanz nach LEITHOLD et al. (1997): zwischen Humussaldo und C_{org} -Veränderung besteht keine signifikante Beziehung mit $r = 0,22^{\text{n.s.}}$ (KOLBE, 2012a)

Einfluss von 20 % Leguminosen

In den Betriebsuntersuchungen in Sachsen wurde eine Reihe von 8 Unternehmungen ermittelt, die über verhältnismäßig geringe Anteile an Leguminosen von unter 30 % in den Fruchtfolgen aufweisen (MEYER et al., 2021b). Auch in einigen Dauerversuchen werden Fragestellungen zur Düngung und Anbausystemen mit und ohne Viehhaltung behandelt deren Leguminosenanteile in der Fruchtfolge z.T. unter 20 % betragen können (AUERSWALD et al., 2001; RAUPP, 2001; REENTS et al., 2011; KOCH, 2012; HOF-KAUTZ, 2019).

Mit einem Leguminosenanteil von jeweils 20 % in den Fruchtfolgen bieten die Dauerversuche von HOF-KAUTZ (2019) in Köln-Auweiler auf sandigem Löß-Lehm (Ackerzahl 65 – 82, 20 Versuchsjahre) und KOCH (2012) in Bernburg auf schluffigem Lehm (Ackerzahl 85 – 96, 24 Versuchsjahre) inklusive Varianten mit und ohne Abfuhr der Koppelprodukte eine gute Datenbasis zur Beschreibung dieser ökologischen Anbauverfahren (Tabelle 246). Am Beispiel der N-Zufuhr insbesondere durch den Leguminosenanbau kann wiederum ein Vergleich mit dem mittleren Anbauniveau der bisher behandelten Versuche erstellt werden.

Durch eine Herabsetzung des Anbaus von Futterleguminosen um 13 % wird die legume N_2 -Bindung in diesen Anbausystemen bis auf Werte um 30 kg N/ha und Jahr reduziert. Die hierbei erhaltene Differenz von ungefähr 30 – 50 kg N/ha in den Versuchen mit reduziertem Leguminosenanteil kann durch eine entsprechende zusätzliche organische Düngung ersetzt werden, so dass dann wiederum ein Intensitätsniveau erhalten wird, dass in vielen Merkmalen mit denen der Tabelle 243 sowie der Tabelle 244 entspricht (Tabelle 246, Vergleich 1). Bei 20 % Leguminosenanteil muss hier noch eine zusätzliche organische Düngung in Höhe von ca. 40 kg N/ha erfolgen, um das viehlose Niveau in Tabelle 244 (Vergleich 2) oder eine Zufuhr von ca. 50 kg N/ha erfolgen, um ungefähr das mittlere Niveau in Tabelle 243 zu erreichen (relatives Vergleichsniveau = 100 %). Eine Reduzierung des Leguminosenumfangs kann auf Grund dieser Ergebnisse bis zu einem gewissen Grad durch eine alternative organische Düngung in etwa in der Höhe der entgangenen N_2 -Bindung ausgeglichen werden, um ein vergleichbares Niveau sowohl in den Erträgen als auch in den N- und Humusbilanzen zu erreichen.

Auf Basis dieser Vergleichsebenen führt dann eine Reduzierung des Anbauumfangs von Leguminosen auf 20 % der Fruchtfolgen zu folgenden Veränderungen einiger Merkmale der Erträge, Nährstoffbilanzen und Kennzahlen der Bodenfruchtbarkeit (Tabelle 246):

- **Variante 2 mit KG-Anbau und organischer Düngung um 30 – 40 kg N/ha und Jahr:**
Erträge -15%, N_2 -Bindung -27%, N-Saldo -44%, C_{org} -Gehalt -2%, leicht positiver Humussaldo
- **Variante 3 mit KL-Anbau und ähnlich hoher Düngung:**
Erträge -26%, N_2 -Bindung $\pm 0\%$, N-Saldo -56%, C_{org} -Gehalt -4%, leicht positiver Humussaldo
- **Variante 4 mit KL-Anbau ohne organische Düngung:**
Erträge -31%, N_2 -Bindung $\pm 0\%$, N-Saldo -16kg/ha, C_{org} -Gehalt -10%, negativer Humussaldo.

Die ermittelten Veränderungen fallen deutlicher aus als bei einem höheren Anbauumfang an Leguminosen (vgl. Tabelle 244 u. Tabelle 245). Das trifft besonders bei ausschließlichem Anbau von Körnerleguminosen zu und wenn keine weitere Nährstoffzufuhr über eine organische Düngung erfolgt. Die N_{min} -Gehalte sind im Durchschnitt der Fruchtfolgen auf den Anbausystemen mit Klee gras wiederum etwas niedriger als nach Anbau von Körnerleguminosen. Werden nur die ersten beiden Jahre nach dem Leguminosenanbau in die Mittelwertbildung einbezogen, so werden kaum Unterschiede zwischen den behandelten Intensitäten gefunden (ohne Darstellung in Tabelle 246).

In diesen äußerst extensiven Anbauformen kommt es bei ausschließlichem Anbau von nicht mehr als 20 % Körnerleguminosen zu einem deutlichen Ertragsausfall um 30 % (62 – 75 %). Die N-Salden, die Humusgehalte und Humusbilanzen erreichen deutlich negative Werte. Auf dieser Ebene ist eindeutig keine gute fachliche Anbaupraxis mehr gegeben. Die Werte würden noch ungünstiger bei Abfuhr der Koppelprodukte

ausfallen. Aber schon durch eine kleine zusätzliche organische Düngung oder geringe Erweiterung des Anbauumfangs durch Einführung des Kleeegrasanbaus und von legumen Zwischenfrüchten können dazu beitragen, wesentliche ungünstige Auswirkungen auf die Erträge und Bodenfruchtbarkeit abzumildern bzw. auszugleichen.

Tabelle 246: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative (in Klammern) Veränderung gegenüber einer mittleren Intensität [Vergleich1 = 100 %, siehe Tab. 243] bzw. niedrigen viehlosen Intensität (Vergleich 2, siehe Tab. 244) einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit in Marktfruchtsystemen mit 20 % Fruchtfolgeanteil an Leguminosen aus Kleeegras bzw. Körnerleguminosen auf Lehmboden (nach Daten von KOCH, 2012, 2019a,b; HOF-KAUTZ, 2019)

Variante	Organ. Düngung [kg N/ha]	Ertrag (HP) [dt TM/ha]	Legum. N ₂ -Bindung [kg N/ha]	N-Saldo (brutto) [kg N/ha]	C _{org} -Gehalt Ende [% TM]	Humusversorgungsgrad (HE) [%]	Humus-Saldo (HE) [HÄQ/ha / Klasse]	N _{min} -Frühjahr (0-90 cm) [kg N/ha]
1 Vergleich 1 20 % KG KP abgefahren	84	61 (= 100 %)	ca. 30 (= 100 %)	+18 (= 100 %)	ca. 1,77 (= 100 %)	137	+180 C (= 100%)	-
2 Vergleich 2 20 % KG KP ½ abgefahren	38	52 -9 (85 %)	22 -8 (73 %)	+10 -8 (56 %)	1,74 -0,03 (98 %)	121	+20 C -160	39 (100%)
3 20 % KL KP verbleibt	29	45 -16 (69 - 79 %)	30 ±0 (100 %)	+8 -10 (44 %)	1,69 -0,14 (96%)	96	+78 C -93	50 +11 (128%)
4 20 % KL KP verbleibt	0	42 -19 (62 - 75 %)	30 ±0 (100 %)	-16 -34	1,59 -0,15 (90%)	44	-176 B -356	47 +8 (121%)

KG = Klee- bzw. Luzernegras; KL = Körnerleguminosen; KP = Koppelprodukte; HE = Humusbilanz nach LEITHOLD et al. (1997)

Durch Erhebungsuntersuchungen für das Bundesland Hessen kommen RAUSSEN et al. (2019) zu einem mittleren N-Saldo von -20 kg/ha und Jahr. Besonders in Regionen mit hohen Anteilen viehloser Ökobilanzung wurden z.T. deutlich negative N-Salden ermittelt. Durch Untersuchungen auf Betriebsebene konnten insgesamt 17 Ökobetriebe ausfindig gemacht werden, die im Durchschnitt auch über einen ähnlich niedrigen Anbauumfang an Futter- bzw. Körnerleguminosen in den Fruchtfolgen und über eine weitgehende Viehlosigkeit verfügen (VETTER et al., 2000; GUTSER et al., 2002; HARZER, 2006; KELM et al., 2007a,b; ENGELMANN, 2010; BROCK et al., 2013; MEYER et al., 2021b). Die zusammengefassten Ergebnisse dieser Betriebe wiesen über eine folgende Zusammensetzung an Merkmalen auf (Mittelwerte u. Schwankungsbreite):

- Leguminosenanteil und -zusammensetzung: 12 (0 – 19) % Kleeegras
9 (0 – 25) % Körnerleguminosen
21 (10 – 27) % Anteile je Fruchtfolge
- Legume N₂-Bindung: 31 (4 – 48) kg N/ha u. Jahr

■ Tierhaltung:	0,08	(0 – 0,8) GV/ha
■ Organische Düngung:	8	(0 – 50) kg N/ha u. Jahr
■ N-Bruttosaldo:	+7	(-22 bis +33) kg N/ha u. Jahr
■ Humusbilanz:	-63	(-250 bis +187) HÄQ/ha u. Jahr.

Ein Vergleich mit den Werten insbesondere in Tabelle 246 mit 20 % Leguminosenanteil in den Fruchtfolgen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen aus den Praxisbetrieben und den Exaktversuchen. Daher kann ebenfalls erwartet werden, dass das Ertragsniveau der Fruchtarten, das in Praxiserhebungen wegen der starken regionalen Unterschiede nicht einfach zu ermitteln ist, auch in dem dargestellten Umfang in diesen Anbausystemen abnehmen wird. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass diese Anbausysteme nicht weit verbreitet sind. Daher können die von SCHULZ (2012) dargestellten starken negativen Wirkungen mit ausschließlichem Anbau von Körnerleguminosen auf die Gesamterträge der Fruchtfolgen und die Bodenfruchtbarkeit relativiert werden, da sie offenbar nur extrem selten in dieser reinen Form in der Praxis vorkommen. Trotzdem ist darauf hinzuweisen, dass diese z.T. deutlich einseitigen Anbauformen, in der Lage sind, auf Dauer in höchstem Maße die Existenz von Betrieben zu gefährden.

Darüber hinaus können die Ergebnisse zu den Marktfruchtssystemen nicht darüber hinwegtäuschen, dass unter Zugrundelegung einem ausreichend hohen Leguminosenanbau und Rückführung der Koppelprodukte, wie z.B. auch bei der Biogaserzeugung durch Klee gras und Silomaisanbau, zwar mindestens ausgeglichene Humus- und Stickstoffbilanzen erreicht werden können. Wesentliche andere Merkmale der Bodenfruchtbarkeit, wie eine genügend hohe Zufuhr von Grundnährstoffen mit Phosphor, Kalium oder auch Schwefel gelingen demgegenüber in der Regel besonders auf leichteren Böden nicht.

Werden auf Grund ungenügendem Humusumsatz und Nährstoffmineralisation im Boden bestimmte minimal verfügbare Nährstoffgehalte unterschritten, so steigt die Wahrscheinlichkeit an, dass die Pflanzen die für ihr Wachstum erforderliche Nährstoffaufnahme nicht mehr abdecken können. Hierdurch sind die Bestände in ihrem Wachstum allgemein gehemmt, und es kommt auf jeder betroffenen Fläche zu einem Ertragsausfall (Minimumgesetz, MITSCHERLICH, 1909). Diese minimalen Werte liegen unter den Anbaubedingungen des Ökolandbaus bei Unterschreitung eines CAL-löslichen P-Gehaltes von ca. 2,5 mg P/100 g und für Kalium auf mittleren Böden bei Unterschreitung von 6,5 mg K/100 g Boden. In einer umfangreichen Studie unter Einbeziehung vieler ökologischer Versuche konnte hierzu ermittelt werden, dass dann mit zunehmendem Mangel mittlere Ertragsausfälle bei Phosphor von 7 – 9 % und je nach Pflanzenart beim Kalium von durchschnittlich bis zu 30 % eintreten können (KOLBE, 2019). Die jährlichen Schwankungsbreiten der Ertragsausfälle können darüber hinaus erhebliche Ausmaße annehmen.

Bei einer genauen schlagbezogenen Analyse von Erhebungsdaten aus der landwirtschaftlichen Praxis konnte hierzu festgestellt werden, dass derartige minimale Schwellenwerte bei den Grundnährstoffen und dem pH-Wert im Durchschnitt der untersuchten Ökobetriebe in Sachsen bereits auf mehr als 65 % der Schläge unterschritten worden sind. Es wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass derartige Mängel im Nährstoffmanagement, die nachweislich zu Ertragsausfällen führen, in der Praxis weiter verbreitet sind als bisher angenommen. Berechnungen haben hierzu ergeben, dass dann Ertragsausfälle auf den betroffenen Flächen von durchschnittlich 18 % (10 – 32 %) auftreten können (KOLBE & MEYER, 2021).

Abschließend kann für die viehlosen Anbausysteme die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Allgemeinen ebenfalls eine gute Vergleichbarkeit zwischen den hier erlangten und den zitierten Ergebnissen aus den Dauerversuchen und den Praxiserhebungen vorliegen. Diese reinen Marktfruchtbetriebe können als extensive ökologische Anbauverfahren mit bescheidenem Ertragspotenzial beschrieben werden, die

gleichzeitig zudem durch relativ hohe Werte im Umweltschutz (Stickstoff, Phosphor, Wasserschutz) gekennzeichnet sind.

Durch zunehmende Mängel im Nährstoffmanagement kann es jedoch zu einer so deutlichen Aushagerung mit bestimmten Nährstoffen kommen, wodurch auf Grund des Minimumgesetzes Ertragsausfälle erzielt werden, die zu einer Verringerung der pflanzenbaulichen und ökonomischen Effizienz dieser Anbausysteme führen. Viehlose Systeme weisen hiernach über einen höheren Aufwand zur Kontrolle und Korrektur der Bodenfruchtbarkeit auf als Anbauverfahren mit Viehhaltung (MEYER et al., 2021a; REMPELOS et al., 2021).

Unzureichende Werte bei den Stickstoff- und Humussalden können in vielen Fällen durch betriebsinterne Maßnahmen, insbesondere Umstellungen der Fruchtfolgen durch Erhöhung des Leguminosenanbaus in Haupt- und Zwischenfrüchten und Rückführung der Koppelprodukte, behoben werden. Defizite bei den Grundnährstoffen P, K, Mg und S bedürfen demgegenüber jedoch meistens einer Zufuhr von außen durch Düngung mit organischen, in bestimmten Fällen auch mit anorganischen Düngemitteln. Damit Ertragsausfälle im Sinne des Minimumgesetzes sicher vermieden werden, sind die Versorgungsklassen C dieser Nährstoffgehalte des Bodens anzustreben und langfristig zu sichern. Da organische Düngemittel gut geeignet sind, um eine Anhebung der Bodengehalte zu erreichen, sollte für diese Spezialfälle überlegt werden, ob diese Betriebe auch höhere Zufuhren von außen tätigen können als durch die gewöhnliche obere Grenze von 40 kg N/ha und Jahr an organischen Düngemitteln erlaubt ist.

5.2.4 Einfluss hoher bis sehr hoher Intensitäten bei 33 % Leguminosenanbau in den Fruchtfolgen

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Formen des Ökolandbaus ist bei intensiverem Anbau oft eine z.T. deutliche Zunahme der organischen Düngung zu verzeichnen. Dieses höhere Aufkommen an Düngemitteln beruht, außer bei den Formen mit Feldgemüse aus Düngerzukauf, meistens auf einer steigenden Wertlegung verschiedener Formen der Tierhaltung. Oft sind daneben ebenfalls bestimmte Veränderungen in der Zusammensetzung der Fruchtfolgen zu erkennen.

Einfluss hoher Intensitäten (1,0-DE-Varianten)

Auf Grund einer Zusammenstellung von 8 untersuchten Betrieben aus Sachsen (siehe MEYER et al., 2021b), die eine verhältnismäßig hohe Tierhaltung um 1 GV/ha aufweisen, können folgende Merkmale des Nährstoffmanagements aufgezählt werden (in Klammern: Veränderung gegenüber dem Durchschnitt von 32 Ökobetrieben = 100 %):

■ N-Zufuhr über organische Dünger	65 kg N/ha	(= 245 %)
■ Legume N ₂ -Bindung	70 kg N/ha	(= 139 %)
■ N-Abfuhr über Erträge	121 kg N/ha	(= 136 %)
■ N-Saldo (br.)	58 kg N/ha	(= 180 %)
■ P-Saldo	-3,2 kg P/ha	
■ K-Saldo	-38 kg K/ha.	

Diese meistens dem Futterbau zugeschriebenen Betriebe weisen gegenüber dem Durchschnitt eine deutlich höhere organische Düngung auf. Gleichzeitig ist ein etwas größerer Anbauumfang an Leguminosen vorhanden und mit 70 kg N/ha wurde eine deutlich höhere legume N₂-Bindung berechnet. Diese verbesserte Intensität hat zudem bewirkt, dass ebenfalls das Ertragsniveau angestiegen ist. Auf der anderen Seite liegen aber auch die N-Salden erheblich über dem ermittelten Durchschnitt aller untersuchten Betriebe. Auch andere Erhebungsuntersuchungen kommen in etwa zu vergleichbaren Ergebnissen für Betriebe des Futterbaus dieser gehobenen Intensitätsstufe (VAN DER WERFF et al., 1995; GUTSER et al., 2002; BERRY et al., 2003; HAAS

et al., 2007; KELM et al., 2007b; HÜLSBERGEN & SCHMID, 2010; LEISEN, 2017). Im Versuchsgut Scheyern wurden für eine ökologische Fruchtfolge bei ca. 30 % Leguminosengras eine N₂-Bindung von 83 kg N/ha, eine Zufuhr aus organischer Düngung von 79 kg N/ha und ein N-Saldo von 38 kg N/ha berechnet (KÜSTERMANN et al., 2010).

Beim Vergleich dieser Werte mit den hier vorgestellten Ergebnissen der Dauerversuche wird deutlich, dass viele der aufgeführten Merkmale aus der Praxis auch innerhalb der Schwankungsbreite der Versuchsergebnisse entsprechend der 1,0-DE-Varianten anzusiedeln sind (Tabelle 247). Das trifft besonders für die Höhe (und die Veränderung gegenüber dem Durchschnitt, siehe Tabelle 243) der organischen Düngung und für das Niveau der Nährstoffsalden zu. Es werden N-Salden erhalten, die deutlich über dem relativ niedrigen Niveau bei den mittleren Intensitäten zu verzeichnen sind. Sie weisen manchmal bereits Mittelwerte von über 50 kg N/ha auf, die auf Grund ihrer negativen Umweltwirkungen dann bedenklich eingestuft werden müssen (Klasse D). Das Gleiche gilt für bestimmte Anbausituationen auch bereits für die kalkulierten Humussalden, die ebenfalls zwischen einer mittleren und dieser hohen Intensität deutlich zunehmen.

Da die GE-Erträge in den Versuchen zwischen diesen beiden Intensitätsstufen im Durchschnitt der Fruchtfolgen nur noch geringfügig um bis zu 3 % zugenommen haben, kann erwartet werden, dass auch die N-Effizienz bereits deutlich abnimmt. Entgegen diesen Ergebnissen hat sich das Ertragsniveau zwischen dem Durchschnitt der Betriebserhebungen und den ausgewählten 8 Betrieben aus Sachsen berechnet auf Basis der N-Abfuhr mit 121 kg N/ha auf 136 % in deutlicherem Umfang erhöht.

In den hier vorgestellten Versuchen sind in diesem Intensitätsniveau bei den Getreidearten und beim Klee gras nur noch geringe Ertragszuwächse eingetreten. Auch waren die legume N₂-Bindung durch die erhöhte N-Verfügbarkeit im Boden (siehe Tabelle 247: N_{min}-Werte) und die zwischen 7 – 16 %ige Zunahme der N-Mineralisation bereits etwas abgesunken. Durch diese erhöhte Nährstoffzufuhr war demgegenüber beim Anbau von Hackfrüchten (Kartoffeln, Silomais) ein z.T. deutlich größerer Ertragsanstieg zu erreichen. Da ein derartiger Ertragsanstieg unter gewöhnlichen gleich bleibenden Anbaubedingungen in Exaktversuchen kaum zu untersuchen ist, kann angenommen werden, dass neben dem Einfluss des Standortes diese deutlichen Ertragsvorteile in der Praxis durch Umschichtungen in den Fruchtfolgen erklärt werden können.

Auf Grund der Erhöhung der N_{min}-Gehalte und des Mineralisationsumfangs an Nährstoffen können auch Auswirkungen auf die Qualität der Ernteprodukte nachgewiesen werden. So sind die Sedimentationswerte zur Beurteilung der Backfähigkeit bei Weizen insbesondere auf leichtem Boden um 24 % angestiegen. Die N-Gehalte waren aber im Getreidekorn bei diesem Intensitätsniveau nur tendenziell etwas höher. Es waren insgesamt allerdings nur geringe Auswirkungen auf die Qualität der pflanzlichen Produkte zu verzeichnen.

Auf Grund der erhöhten N-Zufuhr und N-Verfügbarkeit über N_{min}-Frühjahr, -Herbst und die deutliche Zunahme der N-Freisetzung aus dem Humusumsatz ist die N-Verlagerung in den Untergrund in den Dauerversuchen um 18 – 20 % höher sowie die berechneten Auswaschungsmengen an Stickstoff um 5 – 40 % gegenüber einem durchschnittlichen Intensitätsniveau entsprechend der 0,5-DE-Variante angestiegen. Die verlagerten N-Mengen sind auf dem Sandboden in Spröda annähernd doppelt so hoch und die ausgewaschenen N-Mengen im Durchschnitt der Versuche um ca. 40 % höher als auf dem Lehmboden in Methau.

Tabelle 247: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität [= 100 %, siehe Tab. 243] einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit der Futterbau- und Marktfruchtssysteme der Düngungsvariante mit 1,0 DE/ha auf dem Lehmstandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda

	Organ. Düngung [kg N/ha]	GE-Ertrag [dt GE/ha]	N-Saldo (brutto) [kg N/ha]	P-Saldo [kg P/ha]	K-Saldo [kg K/ha]	Humus-Saldo¹⁾ [kg HÄQ/ha / Klasse]	N_{min}-Frühjahr [kg N/ha]	P_{CAL} [mgP/100g]	K_{CAL} [mgK/100g]
Methau									
Futterbau	71	84	+25	-8	-87	+295 C	46	4,1 C	7,4 C
KP	+34	+2	+25	+9	+33	+137	+1	+0,2	±0
abgefahren	(192 %)	(102 %)		(47 %)	(73 %)	(187 %)	(102 %)	(105 %)	(100 %)
Marktfrucht	65	80	+114	+1	+27	+505 E	47	4,5 C	13,0 D
KP verbleibt,	+32	+2	+27	+8	+41	+72	+9	+0,2	+1,4
Mulchen	(197 %)	(103 %)	(131 %)			(117 %)	(124 %)	(105 %)	(112 %)
Spröda									
Futterbau	63	43	+48	-5	-51	+202 C	50	5,4 D	12,4 D
KP	+31	±0	+34	+5	+38	+120	+10	+0,2	+2,0
abgefahren	(197 %)	(100 %)	(343 %)	(50 %)	(57 %)	(246 %)	(125 %)	(104 %)	(119 %)
Marktfrucht	59	43	+111	+2	+23	+277 C	51	7,8 D	11,3 D
KP verbleibt,	+29	±0	+28	+4	+24	+63	+6	+0,8	+0,6
Mulchen	(197 %)	(100 %)	(134 %)			(129 %)	(113 %)	(111 %)	(106 %)

KP = Koppelprodukt; 1) = Humussaldo ~ C_{org}-Differenz (kg/ha u. Jahr): zwischen Humussaldo der STAND-Methode und der C_{org}-Veränderung besteht eine enge Korrelation von r = 0,744*** (KOLBE, 2012a)

Obwohl an beiden Standorten eine deutliche Anreicherung an Humus zu verzeichnen ist, weisen die N_t-Bodenbilanzen im Futterbau mit -5 kg N in Methau und mit -13 kg N/ha in Spröda z.T. immer noch negative Werte auf, so dass die N_t-Gehalte des Bodens auch auf diesem Intensitätsniveau noch abgenommen haben. Nur unter der stärkeren Zufuhr an Koppelprodukten erreichen die N_t-Bodensalden in den untersuchten Marktfruchtssystemen mit +14 kg N/ha in Methau und einem annähernd ausgeglichenen Saldo in Spröda jetzt bereits leicht positive Werte.

Auf Grund der deutlichen Verbesserungen in der Praxis und in den Dauerversuchen ist auf diesem Intensitätsniveau mit ca. 1 GV/ha an Tierhaltung und Einsatz der dabei anfallenden organischen Düngemittel auf den eigenen Versuchsflächen eine z.T. deutliche Verringerung der negativen P- und K-Salden erfolgt. Auf dem jetzt erreichten Niveau konnten sogar die Saldo-Schwellenwerte für diese Nährstoffe zumindest auf den besseren Böden überschritten werden. So wurden auch unter den praktischen Bedingungen der 8 Betriebe ein mittlerer P-Saldo von -3 kg P und von -38 kg K/ha und Jahr ermittelt, die durchaus bereits in der Lage sind, in Folge der Nährstoffnachlieferung aus den Böden zu einer Beendigung der Abnahme der Gehalte an Phosphat und Kali auf den besseren Böden beitragen zu können.

In diesen Futterbausystemen werden in der Regel zunächst die Koppelprodukte und Kleeerasaufwüchse abgeerntet, da sie in der Tierernährung und der Stallungproduktion Verwendung finden. Als Wirtschaftsdünger werden sie dann wieder den Anbauflächen hinzugefügt. Bei dem ausgewiesenen Tierhaltungsumfang ist diese Rückführung bereits hoch genug, um die Nährstoffsalden soweit auszugleichen, dass die Gehalte an diesen Nährstoffen im Boden nicht weiter abnehmen sondern bereits etwas ansteigen können.

Die Humussalden liegen auf diesen Versuchsflächen mit 202 – 295 kg HÄQ/ha noch im Versorgungsbereich C. In einem Dauerversuch auf schluffigem Lehm haben SCHULZ et al. (2013) bei vergleichbarem Leguminosenanteil in der Fruchtfolge und ca. 1 GV/ha Stalldungzufuhr eine ähnlich hohe jährliche C_{org} -Anreicherung im Futterbau von 233 kg/ha bzw. von ähnlich hohen Humussalden berichtet. In einer Studie von KOLBE (2013) konnte bei einem Tierhaltungsumfang von 1 GV/ha ebenfalls im Wesentlichen eine Humusversorgungsstufe von C berechnet werden. Zwischen den untersuchten Standorten wurden jedoch deutliche Unterschiede zwischen -57 kg/ha bis +378 kg/ha HÄQ im Güllesystem und zwischen -110 kg/ha und +319 kg/ha HÄQ bei Festmistwirtschaft ermittelt. Nach diesen Ergebnissen zeichnen sich die Standorte durch deutliche Unterschiede in der Humusbilanzierung aus.

Bei einem Intensitätsniveau um 1 GV/ha können auf Grund der aus den eigenen Dauerversuchen berechneten Humus- und Nährstoffsalden folgende Veränderungen auf Basis der Futterbausysteme in 10 Jahren in der Ackerkrume erwartet werden:

■ Methau: +0,077 % C_{org} , -0,004 % N_t , -0,26 mg P/100 g, -1,30 mg K/100 g Boden

■ Spröda: +0,040 % C_{org} , -0,004 % N_t , -1,13 mg P/100 g, +0,29 mg K/100 g Boden.

Auf Grund der engen Beziehung zwischen den experimentell ermittelten C_{org} -Veränderungen und den Humusbilanzen können folgende Veränderungen bis zum Gleichgewichtsstand erwartet werden: Methau +0,167 % C_{org} , Spröda +0,115 % C_{org} .

Auf den Marktfruchtflächen der Versuche hingegen sind die zugefügten Düngemittel vornehmlich als Zukaufdüngemittel zu verstehen. Da alle Koppelprodukte zusätzlich verblieben sind, ist die Verbesserung der Nährstoffsalden so deutlich ausgefallen, dass nur noch positive Salden erreicht werden und die Gehalte im Boden im höheren Umfang zugenommen haben als auf den Futterbauflächen (Tabelle 247). Auch die Humussalden steigen in diesen Systemen deutlicher an und können auf den besseren Böden bereits unerwünscht hohe Werte annehmen (Klasse E).

Insgesamt ist festzustellen, dass Betriebe mit einem Tierbesatz um 1 GV/ha und Zufuhren um 60 kg N/ha über die eigenen Wirtschaftsdünger viele positive Wirkungen auf Merkmale der Ertragsfähigkeit der Böden, Abdeckung des Futterniveaus und eine sinnvolle Nutzung der Kleeerasaufwüchse aufweisen. Die Humus- und Nährstoffsalden erreichen ein Niveau, wodurch auch die Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit der Betriebe weitgehend gesichert und auch verbessert wird, und das Nährstoffmanagement wesentlich einfacher zu regulieren ist.

Bei langer Andauer dieser Bewirtschaftungsintensitäten liegen daher auch die meisten Merkmale in der Versorgungsklasse C – D, die einen erheblichen Umfang ordnungsgemäßer Bewirtschaftung umfassen. Dieses Intensitätsniveau kann zudem noch durch verhältnismäßig niedrige negative Auswirkungen auf die Umweltverträglichkeit durchgeführt werden. Insbesondere auf leichten Böden können jedoch in einigen Fällen bereits ungünstige Auswirkungen z.B. auf die N-Effizienz und die Verlagerung und Auswaschung an Stickstoff auftreten und in geringem Umfang kann immer noch eine Abnahme der löslichen Nährstoffe Kalium und Phosphor im Boden ermittelt werden.

Einfluss sehr hoher Intensitäten (2,0-DE-Varianten)

Im Vergleich zur vorherigen Intensitätsstufe wurde auch bei diesem Anbauniveau deren grundsätzliche pflanzenbauliche Zusammensetzung der Fruchtfolgen und der Behandlung der Koppelprodukte in den Versuchen beibehalten, wodurch wiederum eine erhebliche in der Praxis mögliche Streubreite abgedeckt wird. Diese Varianten mit 2,0 DE/ha zeichnen sich dadurch aus, dass bei der Zuführung der organischen Düngemittel nochmals eine Verdopplung erfolgt ist (vgl. Tabelle 247 u. Tabelle 248). Manchmal war es aus versuchstechnischer Sicht bereits schwierig, die gesamten Mengen an Düngemitteln sinnvoll in den Frucht-

folgen zu verteilen. So konnte auch die angestrebte maximale Höhe von 160 kg N/ha und Jahr meistens nicht erreicht werden.

In den Versuchen wurden zudem die absolut zugefügten Mengen nicht durch übliche ökologische Anbauregeln der EU oder der Anbauverbände begrenzt, so dass sowohl bei der Höhe, als auch bei der Art an Düngemitteln bewusst Regelüberschreitungen in Kauf genommen worden sind. Hierdurch war es möglich, die Auswirkungen in den pflanzenbaulichen Anbausystemen und auf die Umwelt besser dokumentieren zu können. Demgegenüber sind Beispiele aus der Praxis des Ökolandbaus hierzu nur noch selten angetroffen worden. Da aber bisher eine relativ gute Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen der Dauerversuche und der landwirtschaftlichen Praxis gegeben war, kann angenommen werden, dass die aufgezeigten speziellen Versuchsergebnisse aus einer sehr hohen Intensität auch in der Praxis eintreten können.

Durch die nochmals verdoppelte Zufuhr wurden am Ort Methau durch die organische Düngung zwischen 126 kg und 134 kg N/ha und in Spröda zwischen 111 – 122 kg N/ha und Jahr zugeführt. Dadurch erhöhte sich die Gesamtzufuhr an Stickstoff auf 244 – 275 kg N/ha in Methau und in Spröda zwischen Futterbau- und Marktfruchtssystemen auf 205 – 216 kg N/ha und Jahr. Die Gesamtzufuhr hat damit zwischen den Durchschnittsverfahren der 0,5-DE- und der 2,0-DE-Varianten um ca. 155 % am Ort Methau und um 165 % am Ort Spröda zugenommen.

Diese Handlungsweisen haben in den hier vorgestellten Versuchen dazu geführt, dass sich die Humussalden um 154 – 351 % deutlich erhöht haben, sodass vermehrt die Versorgungsstufen D und E erreicht worden sind (Tabelle 248). Die jährlich berechnete N-Mineralisation ist im Verlauf der Vegetation durch diese Maßnahmen in den Marktfruchtvarianten um 125 % und den Futterbaufeldern zwischen 139 – 151 % angestiegen. Auch die N_{\min} -Gehalte im Frühjahr stiegen hierdurch um 104 – 150 % und die Herbstwerte um 118 – 141 % im Vergleich zum Durchschnittsniveau der 0,5-DE-Varianten an.

Durch diesen z.T. deutlichen Anstieg an Gesamtzufuhr und die dadurch bewirkte Zunahme an verfügbarer N-Menge im Boden wurde jedoch im Fruchtfolgedurchschnitt nur noch ein sehr verhaltener Anstieg sowohl der GE-Erträge zwischen 102 – 105 % (das sind lediglich 1 – 4 dt GE/ha) bzw. der N-Entzüge zwischen 101 – 107 % in Spröda und von 107 – 113 % in Methau erreicht. In Folge steigender Düngung war bei annähernd allen angebauten Fruchtarten ein deutlich sichtbarer abnehmender Ertragszuwachs zu erkennen. Die höchsten Zunahmen waren oft zwischen den Varianten 0,0 – 0,5 DE/ha zu registrieren, die geringsten Zunahmen waren in den Prüfgliedern zwischen 1 – 2 DE/ha erfolgt. Im Wesentlichen wurden im Durchschnitt der Fruchtfolgen in den 2,0-DE-Varianten maximale Erträge erreicht.

Der Ertragszuwachs war aber stark von der angebauten Fruchtart abhängig. Die Getreidearten (W.- u. S.-Weizen, Triticale) wiesen mit lediglich 101 – 102 % Ertragsanstieg die geringsten Veränderungen in Folge steigender Düngungsintensivierung auf. Oft waren eine Abnahme der Ertragsstabilität und sogar depressive Wirkungen zu beobachten, die auf eine verstärkte Lagerneigung und z.B. auch auf eine Zunahme von Blattmehltau zurückgeführt werden konnten.

In der konventionellen Landwirtschaft wurde eine sog. Intensivierungsspirale bekannt, wonach eine gesteigerte N-Versorgung zu einer Erhöhung des Krankheitsbefalls bzw. zu einer Reduzierung der Pflanzenvitalität und damit zusammenhängender Ertragsbegrenzung führte. Daraufhin erfolgte ein höherer Einsatz an Pflanzenschutzmitteln, so dass erneut durch eine gesteigerte Nährstoffversorgung ein Ertragsanstieg ermöglicht worden ist (SCHUPHAN, 1976; KOLBE, 1993). Dieser beschriebene Zusammenhang zwischen Düngung und Pflanzenschutz war mit entscheidend für die enormen Ertragszuwächse in der konventionellen Intensivierungsphase. Da jedoch diese Entwicklung unweigerlich zu den heutigen weit verbreiteten Problemen im Umweltschutz aber auch in der Pflanzenqualität geführt hat, sollte sehr genau im

Ökolandbau darauf geachtet werden, das bei einer anvisierten Intensivierung in diesem Anbausystem nicht die gleichen Fehler gemacht werden.

Der Anbau von Klee gras war mit 101 – 103 % nur noch durch sehr geringe Ertragszuwächse gekennzeichnet. Bei diesen Futterpflanzen hat bereits bei geringer Düngung ein jeweils hohes Ertragsniveau vorgelegen. Auf Grund der verbesserten N-Verfügbarkeit im Boden sind sowohl der Anteil an Leguminosen im Gemenge als auch die legume N₂-Bindung bei hoher Intensität um 4 – 8 % abgefallen. Die größten Ertragszuwächse waren durch den Anbau von Hackfrüchten (Kartoffeln, Mais) zu verzeichnen, die auf Grund der erhöhten organischen Düngung mit durchschnittlichen Differenzen in den Erträgen zwischen 105 % und 108 % reagiert haben.

Im Rahmen der Bilanzierungsmaßnahmen haben auch die N-Abfuhrn zwischen den untersuchten Anbausystemen nur noch geringfügig zugenommen. In Methau wurden auf dem Lehmboden maximale Werte im Futterbau von 191 kg N/ha (= 107 %) und auf den Marktfruchtflächen von 77 kg N/ha (= 113 %) ermittelt. Auf dem Sandboden in Spröda waren es nur 115 kg N/ha (= 101 %) bzw. 41 kg N/ha (= 107 %) im Vergleich zu einer mäßigen Düngungsversorgung in der 0,5-DE-Variante. Auf Grund dieser relativ geringen Ertragsverbesserungen wurden durch die sehr hohen Zufuhrmengen an Stickstoff N-Salden auf den Futterbausystemen von 84 – 101 kg N/ha und auf den Marktfruchtsystemen sogar Werte zwischen 162 – 167 kg N/ha ermittelt (Tabelle 248).

Selbst unter Abzug der beim Klee grasanbau rezyklierten Stickstoffmengen können auf den Marktfruchtflächen immer noch etwas höhere Werte als in den Vergleichssystemen veranschlagt werden. Insgesamt sind die N-Salden im Vergleich zu einer mäßig hohen Versorgung mit 192 – 721 % deutlich überproportional angestiegen. Die N-Verwertung ist (ohne Berücksichtigung des N_r-Bodenausgleichs) auf den Futterbauflächen, für deren Berechnung verlässliche Daten vorliegen, von ausgangs um Werte zwischen 89 % (Spröda) und ca. 100 % (Methau) bei einer mittleren Intensität der 0,5-DE-Variante durch diese starke Intensivierung auf Werte zwischen 70 % in Methau und 53 % in Spröda abgefallen. Auf den Marktfruchtflächen liegen die Werte entsprechend niedriger. Darüber hinaus sind durch diese Anbauverfahren die zwischen 90 – 200 cm Bodentiefe verlagerten N-Mengen zwischen 145 % und 150 % und auch die berechneten Werte für die N-Auswaschung um 95 – 219 % angestiegen, doch die absolut ausgewaschenen Mengen liegen mit 4 – 6 kg N/ha und Jahr immer noch auf vergleichsweise sehr niedrigem Niveau.

In einer Studie von KOLBE (2000) wurden unter praktischen Bedingungen des Ökolandbaus Maximalwerte für die Abfuhr an Stickstoff von 141 kg N/ha ermittelt. Das führte zu Bruttosalden im Bereich von 60 kg N/ha, N_{min}-Werten um 57 kg N/ha und zu Auswaschungsmengen von bis zu 34 kg N/ha und Jahr. Bis auf die Mengen zur N-Auswaschung, die gleichfalls noch auf relativ niedrigem Niveau liegen, wurden hierdurch Wertebereiche ermittelt, die in einigen Teilen bereits bis auf das Niveau konventioneller Betriebsauswertungen angestiegen sind.

Tabelle 248: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität [= 100 %, siehe Tab. 243] einiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit der Futterbau- und Marktfruchtssysteme bei einer Düngungshöhe der Variante mit 2,0 DE/ha auf dem Lehmstandort Methau und auf dem Sandboden in Spröda

	Organ. Düngung [kg N/ha]	GE-Ertrag [dt GE/ha]	N-Saldo (brutto) [kg N/ha]	P-Saldo [kg P/ha]	K-Saldo [kg K/ha]	Humus-Saldo¹⁾ [kg HÄQ/ha / Klasse]	N_{min}-Frühjahr [kg N/ha]	P_{CAL} [mgP/100g]	K_{CAL} [mgK/100g]
Methau									
Futterbau	134	86	+84	+9	-18	+411 D	47	4,8 D	8,8 C
KP	+97	+4	+84	+26	+102	+253	+2	+0,9	+1,4
abgefahren	(362 %)	(105 %)				(260 %)	(104 %)	(123 %)	(119 %)
Marktfrucht	126	82	+167	+15	+107	+631 E	57	5,4 D	15,2 D
KP verbleibt,	+93	+4	+80	+22	+121	+198	+19	+1,1	+3,6
Mulchen	(382 %)	(105 %)	(192 %)			(154 %)	(150 %)	(126 %)	(131 %)
Spröda									
Futterbau	122	44	+101	+5	-4	+288 C	54	5,5 D	14,1 D
KP	+90	+1	+87	+15	+85	+206	+14	+0,3	+3,7
abgefahren	(381 %)	(102 %)	(721 %)			(351 %)	(135 %)	(106 %)	(136 %)
Marktfrucht	111	45	+162	+9	+63	+365 D	52	8,5 D	12,5 D
KP verbleibt,	+81	+2	+79	+11	+64	+151	+7	+1,5	+1,8
Mulchen	(370 %)	(105 %)	(195 %)			(171 %)	(116 %)	(121 %)	(117 %)

KP = Koppelprodukt; 1) = Humussaldo ~ C_{org}-Differenz (kg/ha u. Jahr): zwischen Humussaldo der STAND-Methode und der C_{org}-Veränderung besteht eine enge Korrelation von r = 0,744*** (KOLBE, 2012a)

Trotz der hohen Zufuhrmengen an Düngemitteln sind ebenfalls bei diesem Intensitätsniveau die Qualität der pflanzlichen Erzeugnisse nur geringfügig verändert worden. So konnten die Werte an Rohprotein lediglich zwischen 101 – 104 % und die Sedimentationswerte von Weizen immerhin zwischen 107 – 127 % angehoben werden. Diese Ergebnisse zeigen, dass im Durchschnitt nur geringe Möglichkeiten bestehen, die Qualität der Fruchtarten gezielt durch organische Düngemittel zu beeinflussen.

In Folge der erheblichen Zufuhr an organischer Substanz sind die C_{org}-Gehalte in der Bodenkrume der Dauerversuche im Lauf der Versuchszeit stetig angehoben worden. So sind die Werte am Versuchsort Methau von 1,112 % C_{org} bei durchschnittlicher Bewirtschaftung entsprechend der 0,5-DE-Varianten im Vergleich zur Intensitätsstufe der 2,0-DE-Varianten um eine Differenz von +0,105 % C_{org} (= 109 %) nach 16jähriger Andauer der unterschiedlichen Bewirtschaftung angestiegen (absolute Differenz = +0,0066 % C_{org}/Jahr). Am Ort Spröda lag der Anstieg von ausgangs 0,771 % C_{org} in der geringeren Intensitätsstufe bei +0,058 % C_{org} (= 108 %) bei der hohen Intensität nach 14 Jahren Versuchsdauer (absolute Differenz = +0,0041 % C_{org}/Jahr). Auch wenn bedacht wird, dass die Humusgleichgewichte in der Versuchszeit mit 85 – 90 % noch nicht erreicht worden sind (siehe oben), liegen die durch die enorm hohe organische Düngung im Durchschnitt erreichten Humusdifferenzen auf einem verhältnismäßig bescheidenen Niveau.

Trotz der relativ geringen Veränderungen bei den Humusgehalten lagen die berechneten Humussalden bei der 2,0-DE-Intensität fasst auf allen Anbausystemen mit Versorgungsstufen zwischen D und E auf einem sehr hohen Niveau. Die Humusbilanzen spiegeln damit zudem in etwa das Niveau der N-Salden wider. Beide Merkmale haben somit einen Versorgungsbereich erreicht, der aus Sicht einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung nicht mehr empfohlen werden kann (Werte weit über 50 kg N/ha und über 300 kg HÄQ

sind zunehmend bedenklich = Versorgungsklasse D, Werte über 80 kg N/ha und von über 500 kg HÄQ/ha sind nicht akzeptabel = Klasse E; siehe KOLBE, 2015a; MEYER et al., 2021b).

Zusammenfassend können für das hohe Intensitätsniveau der hier vorgestellten Versuche auf Grund der ermittelten Humus- und Nährstoffsalden folgende Veränderungen im Boden für einen Bereich von 10 Jahren berechnet werden:

■ Methau: +0,108 % C_{org}, +0,002 % N_t, +0,84 mg P/100 g, +1,74 mg K/100 g Boden

■ Spröda: +0,058 % C_{org}, ±0,000 % N_t, +0,45 mg P/100 g, +2,36 mg K/100 g Boden.

Bis zur Erreichung eines Gleichgewichtes können auf Grund der erhaltenen Werte in der Humusbilanzierung eine Veränderung der Humus-Gehalte des Bodens am Standort Methau von +0,233 % C_{org} und am Ort Spröda um +0,163 % C_{org} erwartet werden.

5.2.5 Anbausysteme um 50 % Leguminosenanbau und hoher organischer Düngung

Mit einer sehr hohen Streubreite zwischen 13 – 60 % lag der durchschnittliche Leguminosenanteil in einer umfangreichen Studie von KOLBE (2015a) bei 33 % in den üblichen Fruchtfolgen der landwirtschaftlichen Praxis. Dieser Umfang wurde auch bisher in den hier dargelegten eigenen Versuchsergebnissen zu Grunde gelegt. In einer Untersuchung an 32 Ökobetrieben in Sachsen konnten MEYER et al. (2021b) in 14 Betrieben sogar einen Anteil von über 40 % Körner- und Futterleguminosen ermitteln. Wegen des möglichen Auftretens verschiedener Krankheiten der „Leguminosenmüdigkeit“ wird von den Autoren ein derart hoher Anbauumfang jedoch abgelehnt (siehe KOLBE et al., 2021).

Nach diesen Untersuchungen in der landwirtschaftlichen Praxis gibt es eine ganze Reihe von Betrieben, deren Anbauumfang an Leguminosen in den Fruchtfolgen z.T. weit über den festgestellten durchschnittlichen Werten liegen. Hierbei müssen sowohl die Auswahl und Abfolge an Futter- wie auch an Körnerleguminosen sehr bewusst vorgenommen und aufeinander abgestimmt werden, damit es mit der Zeit zu keinen Krankheitserscheinungen kommt. Auch im Versuchswesen wurden seit langer Zeit Prüfglieder mit z.T. sehr hohen Leguminosenanteilen in den Fruchtfolgen etabliert. In speziellen Dauerversuchen sind jedoch auf dieser Basis nur wenige Fragestellungen im Bereich Düngung angesiedelt (HOFFMANN & HÜBNER, 2001; REENTS et al., 2011; LOGES & TAUBE, 2011; FARACK et al., 2021; MEYER et al., 2021a).

Von diesen Dauerversuchen wurden einerseits Ergebnisse des Ökofeldes, einem 17jährigen Großparzellenversuch in Roda in Sachsen mit 33 % Klee gras und bis zu 1 GV/ha an organischer Düngung (Rindergülle, Stalldung) sowie viehlosen Parzellen mit 46 % Leguminosen (28 % Klee gras, 18 % Körnerleguminosen als Ackerbohnen) von MEYER et al. (2021a) verwendet. Andererseits wurden am selben Ort auf Lößlehm (68 Bodenpunkte) mit ebenfalls 6feldriger Fruchtfolge Ergebnisse eines 12jährigen Exaktdauerversuchs mit 50 % Leguminosen (33 % Klee gras, 17 % Ackerbohne) und 0 – 2 DE/ha organischer Düngung (meistens Gülle, Stalldung) von FARACK et al. (2021) in den Vergleich mit einbezogen (Tabelle 249). In den Varianten mit 2,0 DE/ha konnten in diesem Versuch auch die geplanten Düngermengen in voller Höhe ausgebracht werden. Hier wurden in der höchsten Düngungsstufe je Jahr 13,7 m³ Rindergülle und 12,5 t Stalldung je Hektar ausgebracht.

Der Großparzellenversuch mit 33 % Leguminosenanteil wies eine organische Düngung um 45 kg N/ha und Jahr auf und konnte deshalb wiederum als Vergleichsvariante für eine mittlere Versorgung Verwendung finden (siehe Tabelle 243). Ausgehend von diesem Versorgungsniveau (Variante 1 = 100 %) lassen sich für Anbausysteme mit hohem Leguminosenanteil und stark steigender organischer Düngung folgende Ergebnisse ableiten (Tabelle 249):

- Obwohl der Leguminosenanteil in der Fruchtfolge zwischen den Varianten 1 – 3 um ca. 17 % zunimmt, wird lediglich noch eine zusätzliche legume N₂-Bindung von ca. 5 – 20 kg N/ha erreicht
- Durch den erhöhten Leguminosenanbau kann deshalb nur noch eine geringe organische N-Düngung zwischen 0 – 40 kg/ha eingespart werden, damit zwischen Variante 1 und ungefähr den Varianten 3 – 4 ein gleiches Niveau der Erträge und Bodenversorgung erreicht wird
- Ein Leguminosenanteil von 46 % in der Fruchtfolge reicht in Variante 2 bei zusätzlichem Belassen der Koppelprodukte und Mulchen der Kleeerasaufwüchse noch nicht aus, um bei vielen Merkmalen eine Deckungsgleichheit mit Variante 1 zu erzielen
- Zwischen Variante 1 und 2 ist der Anteil an tiefwurzelndem Kleeeras um 5 % reduziert worden, die Salden liegen um 12 kg N/ha höher, bei abnehmenden N_{min}-Werten bis 90 cm Tiefe ist das N-Verlagerungspotenzial zwischen 90 – 250 cm um 12 kg und bis 400 cm Bodentiefe in Variante 2 um 9 kg N/ha angestiegen
- Mit steigender organischer Düngung fällt offenbar der Leguminosenanteil im Kleeerasgemenge von 58 % ohne Düngung (Var. 3) auf 49 % mit 2 DE/ha organischer Düngung (Var. 6) deutlicher ab als auf dem Niveau von 33 % Leguminosenanbau in der Fruchtfolge, erreicht aber nicht das Ausmaß der mineralischen N-Düngung (in Tabelle 249 nicht enthalten)
- Die legume N₂-Bindung steigt bis zur Stufe mit 1 DE/ha organischer Düngung insgesamt um 32 % an (Var. 1 im Vergleich zu Var. 5) um bei sehr hoher Düngung der Var. 6 dann wieder um ca. 4 % abzufallen
- Auf dem Niveau von 50 % Leguminosen in der Fruchtfolge steigt die legume N₂-Bindung durch die organische Düngung nur noch um 15 % an (Var. 3 im Vergleich zu 5)
- Der Ertragszuwachs aller Fruchtarten folgt mit steigender Düngung deutlich dem Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs und erreicht bereits auf dem Niveau von 1 DE/ha ein Maximum (vgl. Var. 1 u. Var. 5: +15 % Ertragsanstieg), lediglich bei Kartoffeln wird noch ein Anstieg bis 2 DE/ha (Var. 6) im Knollenertrag von +17% erreicht (nicht dargestellt)
- Während bei einem Leguminosenniveau von 33 % noch ein Ertragsanstieg bis zur Stufe 2 DE/ha von ca. 20 % erzielt werden kann, erfolgt bei hohem Leguminosenanbau durch steigende Düngung nur noch ein Mehrertrag um 17 % bis zur Stufe 1 DE/ha, um bei weiterer Verdopplung der Düngung bereits wieder um 4 % abzufallen
- Obwohl die Ertragsleistung in Folge der Düngung noch deutlich angestiegen ist, sind die N-Salden annähernd parallel zum Düngungsniveau erheblich stärker angestiegen, ab Variante 5 und besonders bei Variante 6 kann, auch bei Berücksichtigung des N_t-Saldos im Boden, nicht mehr von einer ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ausgegangen werden, da die Salden bis auf Werte von über 150 kg N/ha ansteigen
- Auch die N_{min}-Mengen im Frühjahr sind zwischen den Varianten 1 und 6 überproportional um bis zu 32 % auf 90 kg N/ha angestiegen
- Durch die erhöhte N-Verfügbarkeit haben sich auch die Gehalte an Rohprotein von Winterweizen um relativ 12 % auf über 12,1 % Rohprotein in der TM der Körner erhöht
- Die C_{org}-Gehalte im Boden sind in der Ackerkrume durch die organische Düngung sehr deutlich angestiegen, zu bedenken ist zudem der relativ geringe Berechnungszeitraum von 12 Jahren
- Die berechneten Humusbilanzen haben sich weitgehend parallel zu den C_{org}-Mengen in Folge steigender Düngung entwickelt, Anbauverfahren der Varianten 1 und 3 kennzeichnen dabei jedoch ein unteres Ende (Versorgungsgruppe B) und die Variante 6 das obere Ende einer ordnungsgemäßen Bewirtschaftung (Gruppe D)

- Auch die P- und K-Salden sind in Folge steigender Düngung verändert worden, bei gleichem Düngungsniveau (Variante 1 im Vergleich zu 4) ist durch den angehobenen Leguminosenanteil zwar kaum eine Veränderung der z.T. deutlich negativen Salden eingetreten (Phosphor: -6 bis -14 kg/ha; Kalium: -57 bis -76 kg/ha u. Jahr), während es nach hoher Düngung in Variante 6 mit +10 kg P/ha und +52 kg K/ha zu ebenso deutlichen positiven Salden gekommen ist (in Tabelle 249 nicht enthalten).

Tabelle 249: Mittlere Werte sowie absolute (kursiv) und relative Veränderung (in Klammern) gegenüber einer mittleren Intensität [Vergleich 1 = 100 %, siehe Tab. 243] einiger wichtiger Merkmale der Düngung und Bodenfruchtbarkeit von Anbausystemen mit 50 % Fruchtfolgeanteil an Futter- und Körnerleguminosen und zusätzlicher organischer Düngung bis 2,0 DE/ha und Jahr (nach Daten von MEYER et al., 2021a; FARACK et al., 2021)

Variante	Organ. Düngung	Ertrag (HP)	Legum. N ₂ -Bindung	N-Saldo (brutto)	C _{org} -Differenz	Humus-Saldo (STAND-Methode)	N _t -Differenz	N _{min} -Frühjahr (0-90 cm)	RP-Gehalt Weizen
	[kg N/ha]	[dt TM/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg/ha u. Jahr]	[kg HÄQ/ha]	[kg /ha u. Jahr]	[kg N/ha]	[% TM]
1 = Vergleich 1 33 % KG KP abgefahren	45	53 (=100%)	71 (=100%)	+23 (=100%)	±0 (=100%)	-41 B (=100%)	-39 (=100%)	68 (=100%)	10,8 (=100%)
2 28 % KG + 18 % KL KP verbleibt, Mulchen	0	52 -1 (98%)	75 +4 (106%)	+35 +12	+540	+138 C +179	-18 +21	64 -4 (94%)	10,0 -0,8 (93%)
3 33 % KG + 17 % KL KP abgefahren	0 0 DE/ha	52 -1 (98 %)	82 +11 (116%)	-2 +25	+349	-27 B +14	-3 +36	75 +7 (110%)	11,2 +0,4 (104%)
4 Vergleich 2 33 % KG + 17 % KL KP abgefahren	40 0,5 DE/ha	59 +6 (111%)	90 +19 (127%)	+34 +11	+445	+107 C +148	+7 +46	80 +12 (118%)	11,6 +0,8 (107%)
5 33 % KG + 17 % KL KP abgefahren	80 1 DE/ha	61 +8 (115%)	93 +22 (131%)	+79 +56	+413	+217 C +258	+3 +42	83 +15 (122%)	12,0 +1,2 (111%)
6 33 % KL + 17 % KG KP abgefahren	160 2 DE/ha	59 +6 (111%)	90 +19 (127%)	+154 +131	+571	+458 D +499	+16 +55	90 +22 (132%)	12,1 +1,3 (112%)

KG = Klee- bzw. Luzernegras; KL = Körnerleguminosen; KP = Koppelprodukte; RP = Rohprotein

Im Vergleich zwischen einem Leguminosenanteil von 33 % (Tabelle 248) und von 50 % einschließlich einer hohen Düngung um 2 DE/ha ist es auf Grund der etwas höheren Zufuhrwerte an legumer N₂-Bindung und an organischer Düngung in den zuletzt behandelten Versuchen in Tabelle 249 zu noch etwas extremeren Werten in den Nährstoff- und Humusbilanzen gekommen. Die Erträge haben in Abhängigkeit von den Fruchtarten nicht in vergleichbarem Umfang zugenommen. In Variante 6 kam es wahrscheinlich auf Grund höherem Krankheitsaufkommen sogar bereits zu einer geringen Abnahme insbesondere der Erträge der Getreidearten. Durch diese gegenläufige Entwicklung zwischen der Nährstoffzuführung und den Erträgen sind die Nährstoffsalden deutlich überproportional angestiegen.

Auf Basis der im Versuch von FARACK et al. (2021) und der Tabelle 249 ermittelten mathematischen Zusammenhänge zwischen den berechneten Nährstoffsalden und den Veränderungen der Bodennährstoffe wurden folgende Werte für die Entwicklung der Humus- und Nährstoffgehalte der Bodenkrume für einen Bereich von 10 Jahren ermittelt:

- Variante 3: +0,094 % C_{org}, ±0,000 % N_t, -0,29 mg P/100 g, +0,29 mg K/100 g Boden
- Variante 4: +0,109 % C_{org}, +0,001 % N_t, -0,05 mg P/100 g, +0,74 mg K/100 g Boden
- Variante 5: +0,127 % C_{org}, +0,002 % N_t, +0,30 mg P/100 g, +1,53 mg K/100 g Boden
- Variante 6: +0,157 % C_{org}, +0,005 % N_t, +1,00 mg P/100 g, +3,11 mg K/100 g Boden.

Für die auf Grund der Ergebnisse der Humusbilanzierung berechneten Veränderungen der C_{org}-Gehalte bis zum Eintreten des Gleichgewichtes wurden folgende Werte ermittelt: Variante 3 -0,015 % C_{org}, Variante 4 +0,061 % C_{org}, Variante 5 +0,123 mg C_{org}, Variante 6 +0,260 % C_{org}.

Durch diese hohen jährlichen Salden erfolgte in der höchsten Düngungsvariante auf den Flächen ohne Koppelrückführung eine deutlich höhere Anreicherung an den Gehalten und der Zusammensetzung an Humus sowie auch an den DL- bzw. CAL-löslichen Bodennährstoffen (FARACK et al., 2021), als in den präsentierten eigenen Dauerversuchen aus Spröda und Methau im System Futterbau. Auf den Marktfruchtflächen waren ähnlich hohe Anreicherungen an Phosphat und Kali eingetreten. Auch die in Variante 6 bedenklich hohen N-Salden haben sicherlich zu einer stärkeren Verlagerung an Stickstoff in tiefere Bodenschichten beigetragen. Bei Zugrundelegung eines Leguminosenumfanges von 50 % in den Fruchtfolgen stellt insbesondere die Variante 6 dieser Dauerversuche durch die meisten beschriebenen Merkmalergebnisse keine gute Praxis einer ökologischen Bewirtschaftung mehr dar.

In der landwirtschaftlichen Praxis des Ökolandbaus sind bisher nur geringe Kenntnisse über den Umfang und das Versorgungsniveau von Betrieben vorhanden, die sich neben einem hohen Anbauumfang an Leguminosen in den Fruchtfolgen zusätzlich durch eine verhältnismäßig intensive Tierhaltung auszeichnen. Meistens wird der Tierbesatz bereits deutlich durch das Fruchtbarkeitsniveau des Standortes eingeschränkt, da weitgehend alle Futtermittel auf Grund der Regel zur flächenabhängigen Tierhaltung im eigenen Betrieb produziert werden müssen. Aus einer deutschlandweiten Zusammenstellung zum Nährstoffmanagement von KOLBE (2015a) können mittlere Maximalwerte von Betrieben für einige Merkmale zusammengestellt werden (in Klammern: Veränderung gegenüber dem jeweiligen Durchschnitt der Erhebungen = 100 %):

■ N-Zufuhr an organischer Düngung	112 kg N/ha	(= 267 %)
■ Leguminosenanteil i.d. Fruchtfolge	48 %	(= 146 %)
■ Legume N ₂ -Bindung	96 kg N/ha	(= 185 %)
■ Humussaldo	~564 kg HÄQ/ha (ca. 397 %, Versorgungsgruppe E)	
■ N-Saldo (br.)	80 kg N/ha	(= 296 %)
■ P-Saldo	+7 kg P/ha	

Nach HAAS & DEITERT (2004) (siehe auch VETTER et al., 2000) wurden in intensiven Milchviehbetrieben, in denen Milchleistungen bis 9000 kg/Kuh und Jahr üblich sind, durch Zukauf hoher Kraft- und Saftfuttermittel ebenfalls N-Salden von bis zu 85 kg N/ha und Jahr berechnet. In beiden Arbeiten wurden in den Hoftorbilanzen jedoch Nährstoffverluste sowie keine N-Deposition berücksichtigt, so dass die wirklichen Salden noch höher liegen dürften.

Zwischen diesen in den relativ intensiven Betriebsformen der landwirtschaftlichen Praxis vereinzelt anzutreffenden Werten und den in den Versuchen festgestellten Merkmals-Zusammenstellungen werden hohe Übereinstimmungen sowohl in den absoluten Werten als auch in den relativen Veränderungen gefunden. Diese Ergebnisse treffen besonders auf die zuletzt aufgeführten Dauerversuche mit einem Leguminosenanbau um 50 % in den Fruchtfolgen zu. So umfasst das in der Praxis vorzufindende Niveau mit einer Zufuhr von 112 kg N/ha und Jahr bereits den unteren Bereich, der auch über die Versuche experimentell nachgestellt worden ist (Var. 5 – 6, Tabelle 249).

Auch die ermittelten Nährstoffsalden zwischen betrieblichen Erhebungen und den Versuchsergebnissen stimmen recht gut überein. Sowohl die N-Salden, als auch die der Nährstoffe P und K lassen eine positive N_2 -Entwicklung im Boden und auch einen z.T. deutlichen Anstieg der pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte im Boden erkennen, so dass auch bei den Grundnährstoffen in erhöhtem Umfang die Versorgungsklassen D erreicht werden können. Besonders durch die organische Düngung wurde auch die Versorgung mit Mikronährstoffen des Bodens auf Dauer deutlich verbessert.

Diese positive Wirkung der organischen Düngung nicht nur auf die Humusversorgung, sondern auch auf Bodenfruchtbarkeitskennziffern der Grund- und Mikronährstoffe können aus vielen konventionellen und ökologischen Dauerversuchen abgeleitet werden (ABELE, 1987; KÖPPEN, 1997; KOLBE & BECKMANN, 2003). Bei lang anhaltender sehr hoher Düngung z.B. mit Wirtschaftsdüngemitteln kann es jedoch nicht nur mit dem Nährstoff Stickstoff, sondern z.B. auch über eine starke Anreicherung an Phosphor und Spurenelementen im Boden kommen und die in Folge der jährlichen Mineralisation verbleibenden Mengen im Boden können zu den bekannten Problemen im Wasserschutz und anderen umgebenden natürlichen Kompartimenten führen, wie es in vielfältiger Weise aus der konventionellen Landwirtschaft bekannt geworden ist (SAUERBECK, 1985).

In letzter Zeit gibt es jedoch bereits Berichte, nach denen es auch unter ökologischen Anbaubedingungen durch eine zum Teil unausgewogene hohe organische Düngung nicht nur unter den Bedingungen des Gemüseanbaus in Gewächshäusern, sondern auch z.B. bei verstärktem Feldgemüseanbau zu einer bedenklichen Nährstoffanreicherung z.B. mit Phosphat im Boden kommen kann (ZIKELI et al., 2015, 2016). Die eigenen Auswertungen haben gezeigt, dass in den intensiven Anbausystemen mit hohen Anteilen an abgefahrenen Körnerfrüchten es zu einer spezifischen K-Anreicherung und nach verstärktem Anbau und Abfuhr von vegetativem Pflanzenmaterial durch Klee gras und Silomais es auch zur P-Anreicherung im Boden gekommen ist.

Wie die Ergebnisse aus der landwirtschaftlichen Praxis und den Versuchen zeigen, werden in Anbauverfahren mit einem mittleren bis hohen Leguminosenanbau inklusive einer hohen Zufuhr von organischen Düngemitteln nur noch verhältnismäßig geringe Mehrerträge und Qualitätszuwächse (Backwert) bei den Getreidearten und beim Anbau von Klee gras (legume N_2 -Bindung) erzielt. Hackfrüchte, wie Kartoffeln und Mais und voraussichtlich auch bestimmte Feldgemüsearten, erweisen sich dagegen als vorteilhafter bei der Verwertung der verabreichten Düngemittel. In Abhängigkeit von der Fruchtfolge müssen die zugeführten Dünger jedoch zusehends als bedenklich hoch eingestuft werden, da insgesamt die Nährstoffverwertung in diesen intensiven Anbauvarianten der Versuche deutlich abgenommen hat. In der Folge wurden Nährstoffsalden und

Versorgungsniveaus an Humus ermittelt, die nicht mehr als ordnungsgemäß bezeichnet werden können (Klassen D und E) und die zudem auch bereits zu einer z.T. deutlichen Zunahme von schädlichen Umweltwirkungen geführt haben.

Die in den Versuchen realisierten Mengen an Düngemitteln lagen in diesen intensiven Anbausystemen z.T. deutlich über den von einigen Anbauverbänden einzuhaltenden Zufuhrbegrenzungen. So fordern z.B. die Verbände Bioland und Naturland eine maximale N-Zufuhr von 112 kg N/ha in Folge eines höchsten Tierbesatzes von bis zu ca. 2 GV/ha und Jahr. Auf Grund der hier vorgestellten Versuchsergebnisse scheinen diese Obergrenzen für die meisten Anbauggebiete in Mitteleuropa (Deutschland) recht gut positioniert worden zu sein, so dass hierzu keine Änderungen empfohlen werden können. Zu einem anderen Urteil kann man schon kommen, wenn die Anbausysteme nach der erlaubten Zufuhrhöhe von 170 kg N/ha entsprechend der EU-VO für den Ökolandbau ausgerichtet werden (ANON., 2014, 2018).

Aus den präsentierten Ergebnissen geht eindeutig hervor, dass z.B. die Verlagerung und Auswaschung an Nährstoffen bei dieser in den Versuchen realisierten höchsten Intensitätsstufe durch eine überproportionale Zunahme der Verlustgrößen deutlich angestiegen sind, wie es bisher nach wie vor in konventionellen Anbauverfahren üblich ist (KOLBE, 2000). Außerdem müssten durch den Einsatz von speziellen Pflanzenschutzmitteln (Halmverkürzungsmittel, Fungizide) die Erträge bestimmter Fruchtarten (z.B. Getreide) stabilisiert werden, damit überhaupt ein sinnvoller Anbau gelingen kann. Auch auf diese im konventionellen Anbau üblichen Hilfsmittel sollte aber weiterhin verzichtet werden.

Lediglich auf den leichten Böden, wie am Anbauort Spröda, kann es zu deutlicheren Nebenwirkungen auf die Umwelt kommen, insbesondere dann, wenn z.B. keine Bewässerung möglich ist (siehe KOLBE & BECKMANN, 2003). Auf diesen Standorten ist eine angemessen hohe Zusatzbewässerung oft erforderlich, damit das pflanzliche Wachstum auf Grund des hohen Nährstoffversorgungsgrades zu einer entsprechenden Ertragsbildung und Erreichung angemessen hoher Nährstoffeffizienzen beitragen kann. Da eine derart hohe Tierbesatzdichte zudem wegen des Futtermangels meistens auf diesen ungünstigen Standorten gar nicht möglich ist, könnten die hohen Zufuhrmengen an Düngemitteln im Wesentlichen nur durch Zukauf getätigt werden. Daher sind auch hierzu sinnvolle Grenzen des Zukaufs von den Anbauverbänden z.B. auf 40 kg N/ha und Jahr festgesetzt worden (ANON., 2014), die hiermit auf Grund der Versuchsergebnisse prinzipiell bestätigt werden können.

Wie die Ergebnisse zeigen, ist eine sehr hohe Intensität bei den ökologischen Anbauverfahren meistens nur auf günstigen Standorten, wie z.B. auf den tiefgründigen Lehmböden (Methau) sinnvoll, da hier über ein verhältnismäßig hohes Ertragsniveau noch eine angemessen hohe Nährstoffverwertung und verhältnismäßig geringe Umweltbelastungen gewährleistet werden können.

5.2.6 Zusammenfassende Anmerkungen zur Düngungsintensität

Zusammenhang zwischen Komponenten der N-Bilanzierung und den GE-Erträgen an den Standorten Methau und Spröda

Am Beispiel des Stickstoffs werden abschließend die Zusammenhänge zwischen einer steigenden Intensität auf einige wichtige Merkmale der Nährstoffbilanzierung und des Bodens sowie der GE-Erträge graphisch für die beiden Anbauorte getrennt dargestellt, damit Eigenschaften des Standortes noch ausführlicher ausgewiesen werden können. In Abbildung 106 sind sieben Merkmale des Stickstoffs (im Durchschnitt der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht) über Bilanzkriterien, die Summe an reaktivem Stickstoff (= N_{\min} nach der Ernte bis 90 cm + 90 – 200 cm im Tiefenprofil + berechnete N-Auswaschungsmenge), die N-Mineralisation und eine vergleichende Gegenüberstellung zwischen der mit den Ernten abgeführten N-

Menge und dem GE-Ertrag jeweils für die vier Intensitätsstufen der Varianten 0,0 – 2,0 DE/ha und Jahr aufgeführt worden.

Durch die je Stufe durchgeführte Verdopplung der Düngung (im Durchschnitt von Stalldung, Grüngut, Gülle) kommt es in der höchsten Variante zu einer N-Zufuhr von ca. 130 kg N/ha am Lehmstandort in Methau und von 117 kg N/ha am Sandstandort in Spröda. Da bereits über die Fruchtfolge mit jeweils 33,3 % Klee gras, Getreidearten und Hackfrüchten in den Standardparzellen ohne Düngung eine Gesamt-N-Zufuhr von je nach Standort zwischen 95 kg und 123 kg N/ha vorlagen, kam es durch die Düngung am Ort Methau zu einer Erhöhung bis auf fast 260 kg N/ha und in Spröda bis auf 210 kg N/ha und Jahr in der Gesamt-N-Zufuhr.

Wie die oben aufgeführte Diskussion bereits offenbart hat, wurde ebenfalls in der landwirtschaftlichen Praxis des Ökolandbaus eine entsprechende Bandbreite an Intensitätsstufen vorgefunden. Während das durchschnittliche Niveau in der Praxis in etwa eine Intensität entsprechend der 0,5-DE-Variante aufweist, waren offenbar die sehr hohen Werte in Folge der Variante um 2,0 DE/ha in der Praxis bisher kaum anzutreffen.

Werden die Fruchtfolgen in Folge steigender Intensität nicht entsprechend verändert, kommt es zwar zu einer Ertragserrhöhung, die besonders zwischen den Stufen 0,0 DE/ha und 0,5 DE/ha an beiden Orten noch z.T. deutlich sichtbar wird (Abbildung 106). Darüber hinaus wird der Ertragsanstieg mit jeder Stufe geringer (abnehmender Ertragszuwachs). Zwischen den Varianten mit 1,0 DE/ha und 2,0 DE/ha sind an beiden Orten nur noch ganz geringe Ertragszuwächse zu verzeichnen, so dass für die höchste Stufe in etwa angenommen werden kann, dass ein maximales Niveau erreicht worden ist. Ohne Einsatz von bestimmten im konventionellen Anbau üblichen Intensivierungsmitteln, wie z.B. Pflanzenschutzmittel im Getreideanbau, sind weitere Ertragssteigerungen nur noch durch gezielte Anpassungen in der Fruchtfolgegestaltung möglich, z.B. durch vermehrten Anbau von Hackfrüchten oder von Feldgemüsearten.

Die Relationen zwischen den N-Abfuhr und den GE-Erträgen zeigen auf, dass es im Ökolandbau in Folge steigender Intensitäten auch zu einer gewissen N-Anreicherung in den abgefahrenen Ernteprodukten gekommen ist. Das Ausmaß ist aber gering und in diesen Versuchen nur am Ort Methau in den Intensitätsuntersuchungen (Abbildung 106) sowie an beiden Orten in den Untersuchungen über die Düngemittelarten aufgetreten (siehe Abbildung 115).

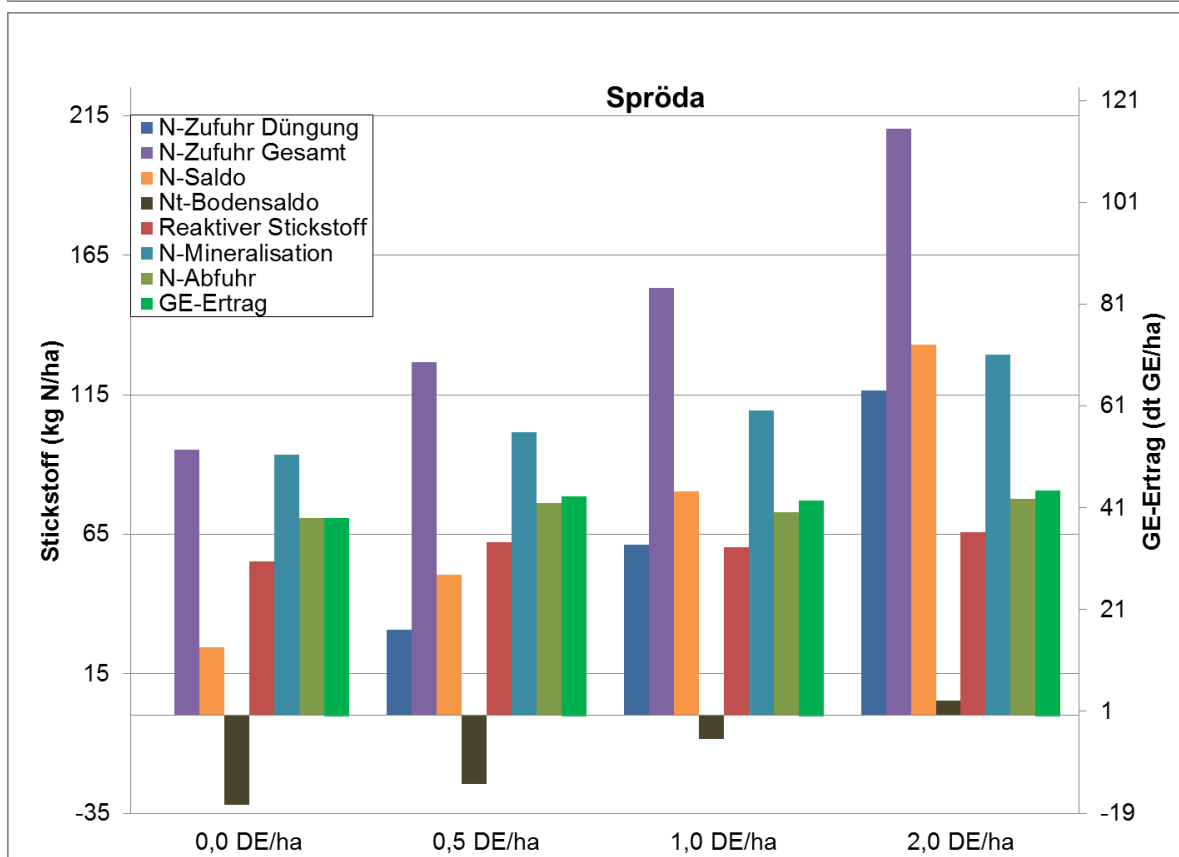
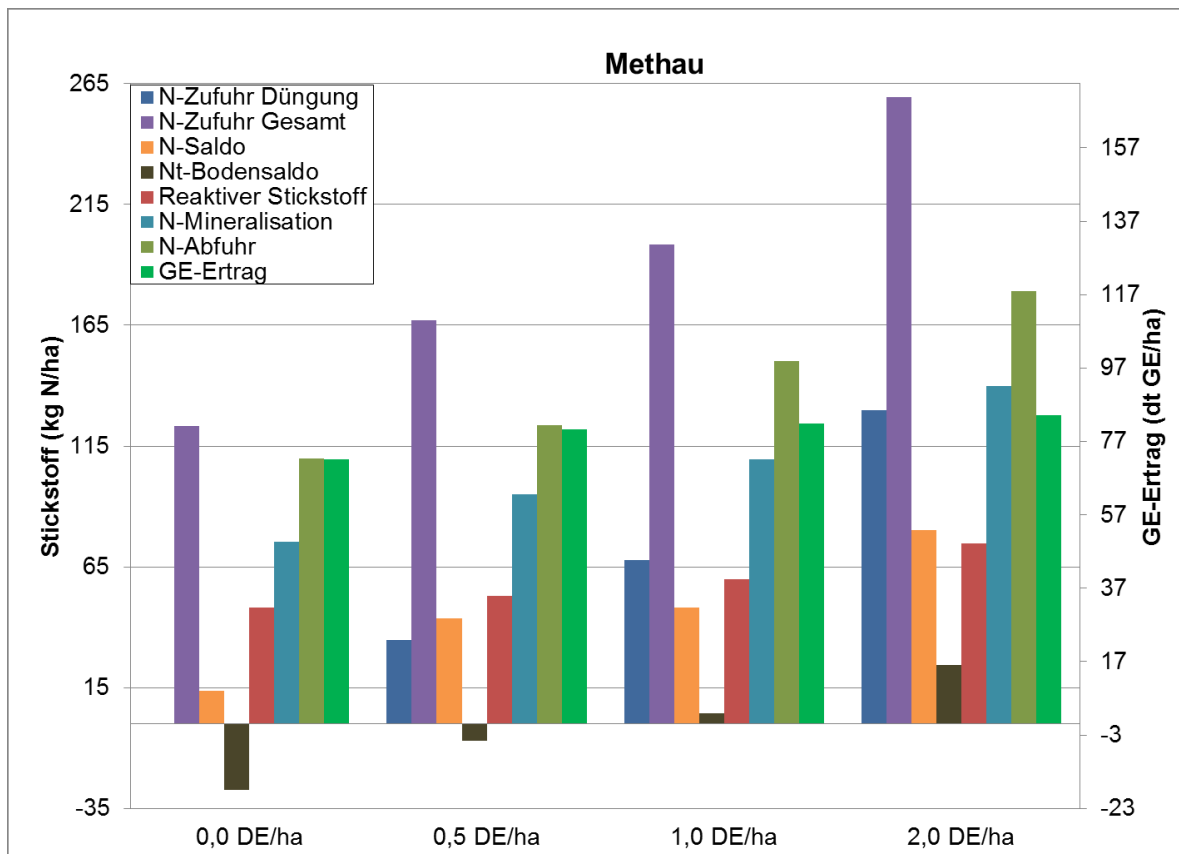


Abbildung 106: Entwicklung von einigen Bilanzkriterien, der Mineralisation und dem reaktiven Stickstoff sowie dem GE-Ertrag in Abhängigkeit von vier Intensitätsstufen am Anbauort Methau (oben) und in Spröda (unten)

An beiden Orten waren die Anbaubedingungen in den Parzellen ohne zusätzliche Düngung so ausgestattet, dass in der Nährstoffbilanzierung mit 14 – 24 kg N/ha bereits leicht positive Bruttosalden erreicht worden sind. Was in diesen ziemlich extensiven Anbauformen meistens nicht bedacht wird, ist die z.T. starke Beanspruchung der Bodenfruchtbarkeit, hier z.B. sichtbar in den mit 28 – 32 kg N/ha und Jahr deutlich negativen N_f -Salden des Bodenhumusgehaltes, was besonders auf den leichteren Sandböden, wie am Ort Spröda, in Erscheinung tritt. Entsprechend diesen Ergebnissen sind daher die berechneten Nährstoffsalden um diese Werte zu erhöhen, da sie im üblichen Verfahren zur Nährstoffbilanzierung nicht enthalten sind.

Mit steigender Intensität ist an beiden Orten ein leicht überproportionaler Anstieg der N-Salden zu verzeichnen, was natürlich auf den abnehmenden Ertragszuwachs zurückgeführt werden kann. Auf Grund der ungünstigen Wachstumsbedingungen ist das am Standort Spröda auf dem Sandboden und dem Fehlen einer ausreichenden Wasserzufuhr besonders deutlich ausgeprägt. Hier können die N-Salden in der höchsten Stufe auch Werte von über 130 kg N/ha erreichen. Zu bedenken ist allerdings eine gewisse Menge an rezykliertem Stickstoff über den mehrfach gemulchten Kleegrasaufwuchs im Marktfruchtsystem, der von den entsprechenden Salden noch abzuziehen ist.

In Folge der steigenden Intensivierung ist es ab der Variante mit 1,0 DE/ha in Methau und ab Stufe 2,0 DE/ha in Spröda noch zu einer Nettoanreicherung an Stickstoff im Bodenfond gekommen. Werden diese Mengen jeweils auf den verschiedenen Intensitätsstufen mit den ermittelten N-Salden verrechnet (Addition von negativen und Subtraktion von positiven N_f -Salden), so werden Bilanzierungswerte erhalten, die dann für die meisten Intensitätsstufen recht gut mit den hier aufsummierten Werten (an Rest- N_{\min} im Herbst, im Tiefenprofil bis zwei Meter und an Auswaschungsmengen an Stickstoff) ermittelt worden sind. Auf Grund der hohen Beweglichkeit und der chemischen Reaktionsfreudigkeit können diese N-Mengen in der Summe auch als „reaktiver Stickstoff“ bezeichnet werden (siehe Abbildung 106). Der so korrigierte N-Brutto-Saldo kann somit als guter Zeigerwert für diese N-Quelle Verwendung finden.

Nach hoher organischer Düngung ist der N-Saldo zwar auch nur verhalten angestiegen. Da aber bei diesem Intensitätsniveau bereits eine z.T. erhebliche Menge an Stickstoff im Bodenfonds des Humus dem gewöhnlichen Nährstoffsaldo entzogen wird, erfolgt hierdurch eine weitere Abnahme des reaktiven N-Anteils im Boden. Insgesamt kann somit festgestellt werden, dass in Folge einer stark steigenden Intensität auf Grund der Verwendung organischer Düngemittel es lediglich zu geringen Veränderungen in der Fraktion des reaktiven Stickstoffs im Boden kommt. Die N_{\min} -Herbstwerte und die Verlagerungs- und Auswaschungspotenziale verbleiben auf verhältnismäßig niedrigem Niveau.

Auch gemessen im Verhältnis zur Gesamt-N-Zufuhr haben die Versuche gezeigt, dass sich der reaktive Anteil in Folge ansteigender Intensität durch organische Düngemittel nicht proportional, sondern weitgehend unterproportional (Methau) oder kaum verändert hat (Spröda). Diese Feststellung ist nicht nur von Interesse für die aufgeführten N-Verlustquellen sondern auch für das Auftreten von klimaschädlichen Spurengasen, wie dem N_2O .

Am starken Anstieg der Saldowerte am Ort Spröda ist aber auch zu erkennen, dass insbesondere auf dem leichten Boden eher eine Grenze der verantwortbaren Intensivierung erreicht bzw. bereits überschritten worden ist. Auf diesem Standort würde eine gezielte Bewässerung z.B. zu einer deutlichen Verbesserung der Ertragsfähigkeit und damit auch zu einer Sicherung der Umweltverträglichkeit der ökologischen Anbauverfahren führen. Wenn eine entsprechende optimale Versorgung mit allen Bodenfruchtbarkeitsmerkmalen nicht gewährleistet werden kann, so ist ggf. eine gewisse Begrenzung der Zufuhrhöhe auf diesen Böden in Erwägung zu ziehen.

Quantitativer Zusammenhang zwischen Intensität der organischen Düngung und dem Leguminosenanbau am Beispiel der schweren Böden (Lehm)

Auf Grund des umfangreichen Datenmaterials aus Versuchen und der Literatur in der vorausgehenden Diskussion ist es möglich, durch Anwendung der multiplen Regressionsanalyse einen dreidimensionalen Zusammenhang zwischen einem steigenden Leguminosenanbau (Futterleguminosen u. -Gemeinde mit Gräsern + Körnerleguminosen) in der Fruchtfolge und einer stark differenzierten organischen Düngung (Stalldung, Grünget, Gülle) in Form der N-Zufuhr und verschiedenen Merkmalen der Nährstoffbilanzierung, Bodenfruchtbarkeit und den Fruchtfolgeerträgen zu erstellen. Der Umfang des Leguminosenanbaus umfasst Werte zwischen 20 – 50 % in den Fruchtfolgen, meistens in Form von Klee- oder Luzernegras. Nur im Bereich 20 % und 50 % wurden auch Körnerleguminosen angebaut. Die Zufuhr an organischen Düngemitteln hat zwischen den viehlosen Systemen ohne Zufuhr bis zu einer Höhe von 2,0 DE/ha (ca. 160 kg N/ha) betragen. Daten der hier vorgestellten Versuchsergebnisse vom Standort Methau und den Ergebnissen aus Dauerversuchen vergleichbarer schwerer Böden aus Lehm nachfolgender Autoren wurden für diese abschließenden Auswertungsarbeiten verwendet: SCHULZ (2012), SCHNEIDER et al., 2013; CASTELL et al. (2016), HOF-KAUTZ (2019), KOCH (2019a,b) FARACK et al. (2021), MEYER et al. (2021a).

Zwischen der N-Zufuhr durch die organische Düngung (x_1 , kg N/ha) und dem Anbauumfang an Leguminosen (x_2 , %) wurde mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse folgende Gleichung zur Bestimmung der Humusbilanzen der Fruchtfolgen (y , HÄQ/ha) ermittelt ($r = 0,801^{***}$):

$$y = -985,91 + 4,48035x_1 - 0,00924x_1^2 + 56,69970x_2 - 0,65578x_2^2 - 0,01492x_1x_2.$$

Wie aus Abbildung 107 zu erkennen ist, sind sowohl durch den Umfang an Leguminosen als auch durch die organische Düngung die Humussalden deutlich angestiegen. Lediglich bei einem Anbauumfang zwischen 20 % bis maximal 25 – 30 % Leguminosen und einer Düngung zwischen 0 – 30 kg N/ha werden negative Humussalden ermittelt. SURBÖCK et al. (2013) haben auch noch negative Humussalden (HE-Methode) bei Gesamt-Leguminosenanteilen von 33 % gefunden. Mit ansteigenden Leguminosenanteilen in der Fruchtfolge ist kein weitgehend linearer Anstieg in den Humussalden eingetreten, da sowohl auf dem Niveau um 20 % und um 50 % Leguminosen die Futterleguminosen durch den Anbau von Körnerleguminosen ersetzt worden sind, die durch eine geringe Humuswirkung gekennzeichnet sind. Auch in Folge steigender Düngung ist ein leichter nichtlinearer Anstieg der Humussalden verbunden.

Eine deutliche Wechselwirkung (WW: x_1x_2) zwischen Leguminosenumfang und organischer Düngung ist nicht zu erkennen (Abbildung 107). Zwischen 0 – 300 HÄQ/ha liegt der im Ökolandbau anzustrebende Humusversorgungsgrad (= Versorgungsstufe C). Es ist zu erkennen, dass bei hohem Leguminosenumfang die Wahrscheinlichkeit mit steigender Düngung deutlich zunimmt, diesen Versorgungsbereich zu übersteigen. So führt schon eine Düngung von über 40 kg N/ha bei einem Anbauumfang von 30 – 35 % Leguminosen zu einer latenten Überversorgung mit umsetzbarer organischer Substanz. Eine deutliche Überversorgung von 500 HÄQ/ha (Stufe E) wird nach diesen Berechnungen nur von einem relativ kleinen Anbauumfang erreicht. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch KOLBE (2013) bei der Bewertung von Fruchtfolgezusammensetzungen durch die Humusbilanzierung.

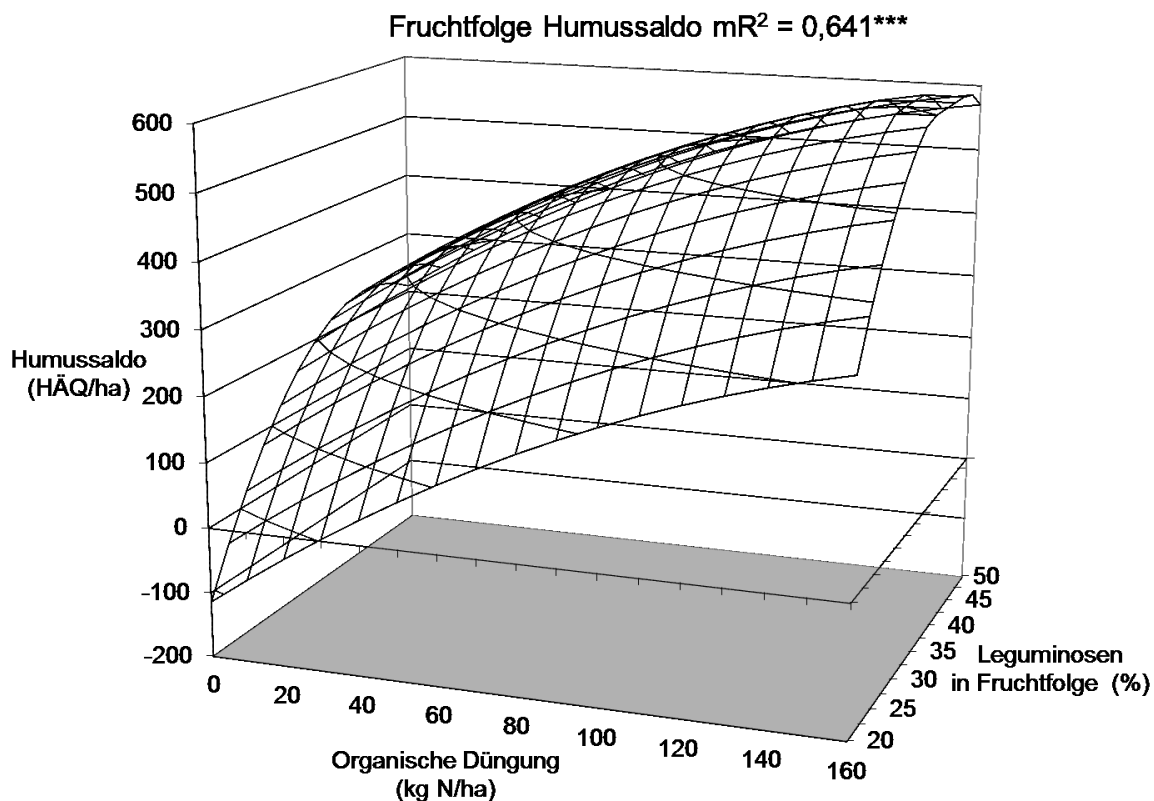


Abbildung 107: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosenanteilen in den Fruchtfolgen auf die Ergebnisse der Humusbilanzierung in Dauerversuchen auf schwerem Boden

Da zur Humusbilanzierung ein erheblicher Datenanteil mit Methoden berechnet worden ist, die lediglich eine orientierende Genauigkeit gewähren, wurde keine sehr gute Übereinstimmung mit den in den Experimenten ermittelten jährlichen Veränderungsraten an Humus ermittelt (ohne Darstellung). Zwischen steigendem Leguminosenumfang und organischer N-Düngung wurde eine deutliche Wechselwirkung in der Art gefunden, dass bei niedrigem Leguminosenanbau ein deutlicher Anstieg der Humusmengen und bei hohem Umfang ein geringer Anstieg der Werte durch die organische Düngung erfolgt ist. Auf eine geringe Zufuhr an organischer Substanz erfolgt eine relativ höhere Humuswirkung als bei einer hohen Substanzzufuhr. Es wurde folgende Gleichung ermittelt ($y = C_{org}$ -Differenz, kg C/ha u. Jahr; $r = 0,791^{***}$):

$$\blacksquare y = -582,85 + 8,69935x_1 - 0,00356x_1^2 + 19,36387x_2 + 0,00102x_2^2 - 0,14583x_1x_2.$$

Die N_t -Gehalte des Bodens haben im Prinzip ähnlich den C_{org} -Gehalten reagiert (ohne Darstellung). Mit steigendem Anbau von Leguminosen sind die N_t -Werte bei niedriger Düngung nur noch geringfügig angestiegen, bei hoher organischer N-Versorgung sind sie dagegen eher etwas abgefallen. Der Einfluss der Leguminosen war wesentlich geringer ausgeprägt als der der steigenden organischen N-Düngung. Relativ unabhängig vom Umfang des Leguminosenanbaus kommt es bis zu einer N-Düngung von ungefähr 30 kg/ha zu einer Abnahme der N_t -Reserven des Bodens von bis zu 20 kg N/ha und Jahr im Bereich ohne Düngung. Nach hoher N-Zufuhr von 160 kg/ha erfolgt eine ähnlich hohe jährliche N_t -Anreicherung im Boden.

Im DOK-Versuch in der Schweiz wurden auch z.T. hohe N_t -Verluste von bis zu über 30 kg N/ha und Jahr in Varianten ohne Düngung gefunden (MAYER et al., 2017). Ähnlich wie bei den Humusgehalten stellt sich entsprechend der Intensität der vorausgehenden Bewirtschaftung mit der Zeit auch ein neues Gleichgewicht bei den N_t -Gehalten des Bodens ein. Dieses Gleichgewicht ist offenbar in einem großen Versorgungsbereich auch nach 35 Jahren Versuchsdauer im DOK-Versuch noch nicht erreicht worden. Folgende mathematische

Gleichung wurde auf Grund der vorgestellten Versuchsergebnisse zur N_f -Berechnung ermittelt ($y = N_f$ -Differenz, kg N/ha u. Jahr; $r = 0,784^{***}$):

$$y = 43,84 + 1,09191x_1 - 0,000893x_1^2 - 4,78565x_2 + 0,07597x_2^2 - 0,01659x_1x_2.$$

Die nächste Abbildung 108 zeigt den Zusammenhang zwischen einer steigenden organischen Düngung (x_1) und dem Anbau von Futter- und Körnerleguminosen von 20 – 50 % in den Fruchtfolgen (x_2) der besseren Böden auf die jährliche N_2 -Bindung der Leguminosen (bei 20 % und bei 50 % Anbau wurden hohe Anteile an Körnerleguminosen angebaut). Annähernd parallel zum Anbauumfang steigt die legume N_2 -Bindung von unter 20 – 30 kg N/ha bei geringem und von bis zu deutlich über 100 kg N/ha bei einem Anbauumfang von ca. 50 % Leguminosen in den Fruchtfolgen an. Bis zu einer N-Zufuhr von ungefähr 80 kg/ha über die organische Düngung wird sicherlich durch ein verbessertes Wachstum noch eine Zunahme der legumen N_2 -Bindung durch die Leguminosen bewirkt, insbesondere bei hohem Anbauumfang.

Bei geringem Leguminosenumfang wird offenbar die N_2 -Bindung bereits bei niedriger Düngung nicht mehr gefördert. Mit steigender N-Zufuhr kommt es dann sogar zu einer Verringerung der N_2 -Bindung, da die Pflanzen dann verstärkt den Stickstoff aus dem Boden verwenden. Außerdem erfolgt dann eine stärkere Förderung der Nichtleguminosen in den Anbaumengen. Folgende mathematische Gleichung mit hoher statistischer Sicherung wurde berechnet ($y =$ legume N_2 -Bindung, kg N/ha u. Jahr; $r = 0,939^{***}$):

$$y = -101,35 - 0,03893x_1 - 0,00153x_1^2 + 8,22668x_2 - 0,08806x_2^2 + 0,00720x_1x_2.$$

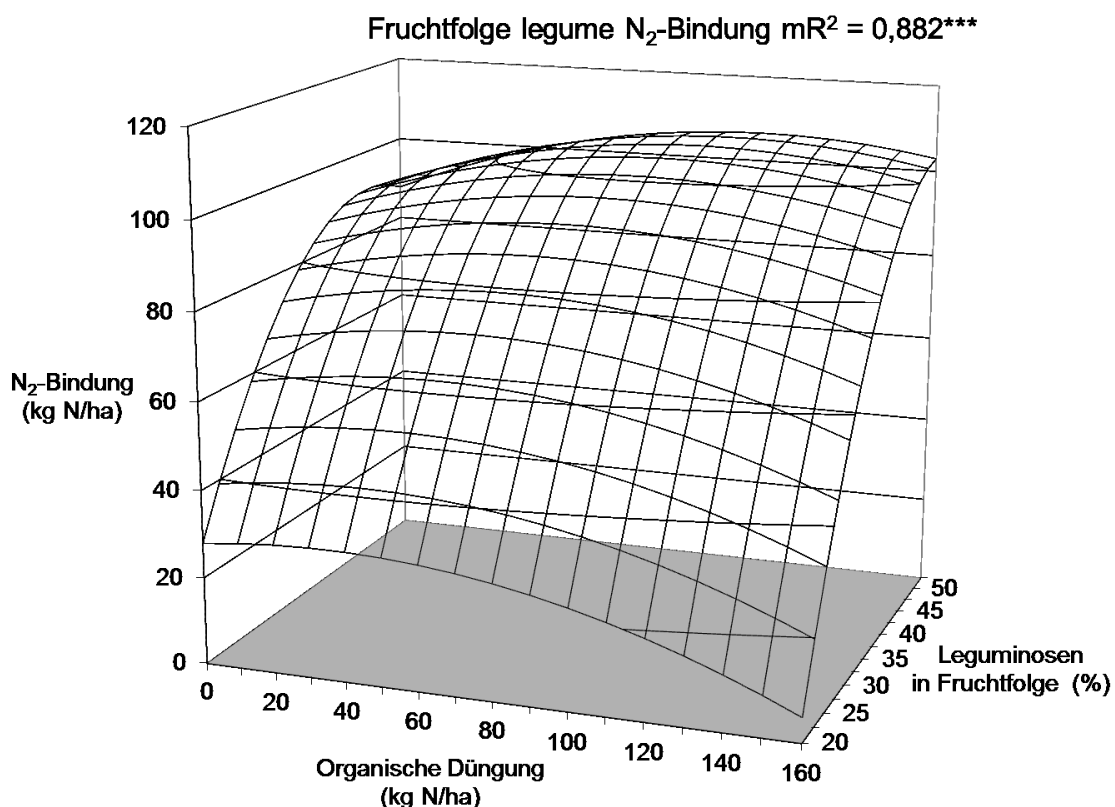


Abbildung 108: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosenanteilen in den Fruchtfolgen auf die berechnete legume N_2 -Bindung der Leguminosen in Dauerversuchen auf schwerem Boden

Aus Fruchtfolgeuntersuchungen der N_{\min} -Mengen im Frühjahr (meistens 0 – 90 cm Bodentiefe) wurden charakteristische zeitliche Verläufe ermittelt, die zur Aufstellung geeigneter Fruchtfolgen genutzt werden können (KOLBE, 2006a, 2008b). Nach Analysen von MEYER et al. (2021a), siehe auch SOLBERG (1995), GRUBER (2013) und CASTELL et al. (2016), werden unter Klee- und Luzernegras die niedrigsten N_{\min} -Werte ermittelt, während die Werte unter dem Anbau von Körnerleguminosen auf etwas höherem Niveau verbleiben. Nach dem Umbruch der Bestände steigen die N_{\min} -Werte stark an und erreichen auf den leichteren und mittleren Böden auf Grund der hohen Umsetzung bereits im ersten Anbaujahr nach Leguminosen die höchsten Werte. Auf den schweren Böden werden die höchsten N_{\min} -Gehalte erst im zweiten Folgejahr nach Leguminosen erreicht, um dann in den nachfolgenden Jahren mit Fortschreiten der Fruchtfolgen wieder abzunehmen.

Die etwas höheren Werte in den Fruchtfolgen, die durch den verstärkten Abbau der Ernte- und Wurzelrückstände während und nach dem Anbau von Körnerleguminosen bewirkt werden, können auch aus Abbildung 109 entnommen werden, denn sowohl bei 20 % als auch bei 50 % Leguminosenanbau werden entsprechend etwas erhöhte Werte ermittelt. In den ökologischen Anbauversuchen tritt der Einfluss des Anbauumfangs an Leguminosen auf die N_{\min} -Werte im Frühjahr sehr deutlich zum Vorschein. Es ist die Hauptfunktion in der abgebildeten mathematischen Gleichung. Von Ausgangswerten um 40 – 45 kg N/ha bei einem Anbauumfang von 20 % Körner- bzw. Futterleguminosen steigen die Gehalte bei einem Umfang von 50 % Leguminosen bis auf Werte von 75 – 90 kg N/ha an. In dem ausgewiesenen Bereich erfolgt eine Anhebung der N_{\min} -Werte um über 13 kg N/ha, wenn der Anbauumfang an Leguminosen um 10 % in den Fruchtfolgen erweitert wird.

Dagegen ist der Einfluss einer stark steigenden organischen Düngung mit Stalldung und Gülle fast gar nicht zu erkennen, denn die N_{\min} -Werte steigen bei geringem Leguminosenanbau nur um wenige Kilogramm Stickstoff an, während bei hohem Anbauumfang der Anstieg in Folge steigender organischer N-Düngung auch nur maximal 15 kg N_{\min} /ha umfasst. Durch die organische Düngung erfolgt dagegen eine N-Festlegung im N_t -Pool des Bodens, weil zunächst eine stärkere Humusanreicherung erfolgt. Wie die Auswertungsarbeiten weiterhin ergeben haben, setzen sich die Ernte- und Wurzelrückstände von Klee- und Körnerleguminosen schneller um und es erfolgt eine geringere N_t -Festlegung im Humus. Dafür steigen die N_{\min} -Werte bereits im Frühjahr parallel zum Anbauumfang im Boden stark an. Zwischen der organischen Düngung und dem Anbauumfang an Leguminosen wurde folgende Gleichung in der multiplen Regressionsanalyse zur Bestimmung der N_{\min} -Mengen im Frühjahr ermittelt ($y = N_{\min}$ -Menge, kg N/ha; $r = 0,913^{***}$):

$$y = 80,68 - 0,02214x_1 - 0,000454x_1^2 - 2,94914x_2 - 0,05613x_2^2 + 0,00396x_1x_2.$$

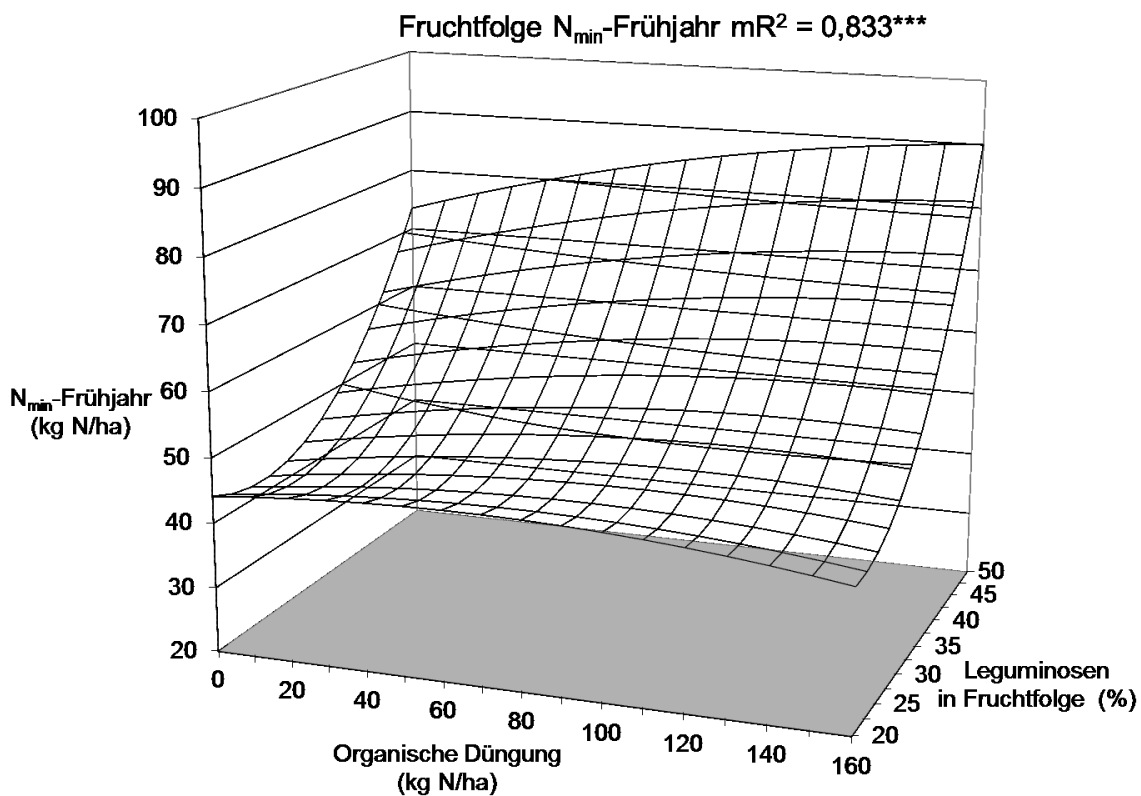


Abbildung 109: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die N_{min}-Gehalte des Bodens im zeitigen Frühjahr in Dauerversuchen auf schwerem Boden

Da der Stickstoff auch im Ökolandbau als einer der knappen Nährstoffe angesehen werden kann, ist es nicht verwunderlich, dass sowohl zwischen den ausgewiesenen N_{min}-Gehalten als auch der legumen N₂-Bindung in den Dauerversuchen und den ermittelten GE-Erträgen eine relativ enge visuelle Übereinstimmung besteht (siehe Abbildung 108, Abbildung 109 u. Abbildung 110). Es ist deutlich zu sehen, dass der Anbauumfang an Leguminosen durch die zunehmende Bereitstellung an Stickstoff entscheidend zur Ertragsbildung beigetragen hat. Hierbei führte eine Ausdehnung des Leguminosenumfangs um 10 % ungefähr zu einer Ertragserhöhung von 10 dt GE/ha.

Durch den sehr starken Anstieg der organischen Düngung ist es ebenfalls zu einer Ertragserhöhung von insgesamt ungefähr 20 dt GE/ha gekommen. Mit steigendem Düngereinsatz erfolgte jedoch ein deutlich abnehmender Ertragszuwachs, bis bei ungefähr 110 kg N/ha bei geringem und bereits bei 80 – 90 kg N-Zufuhr und hohem Leguminosenanbau jeweils ein maximales Ertragsniveau erreicht worden ist. Bei einem höheren Einsatz als ungefähr 2 GV/ha (120 kg N/ha aus Stalldung u. Gülle) ist unabhängig vom Anbauumfang an Leguminosen mit abnehmenden Erträgen, insbesondere beim Anbau von Getreidearten, zu rechnen. Wie die Versuche gezeigt haben, können höhere Nährstoffgaben nur noch günstig verwertet werden, wenn eine veränderte Anbaustruktur mit einem steigenden Umfang z.B. an Hackfrüchten realisiert wird.

Der analysierte Zusammenhang zwischen Düngung und Leguminosenanbau zur quantitativen Ermittlung der GE-Erträge der Fruchtfolgen erbrachte eine sehr hohe statistische Sicherheit und kann mit folgender mathematischer Gleichung berechnet werden ($y = \text{GE-Ertrag, dt/ha; } r = 0,962^{***}$):

$$y = 3,34 + 0,39234x_1 - 0,00153x_1^2 + 2,78015x_2 - 0,02438x_2^2 - 0,00192x_1x_2.$$

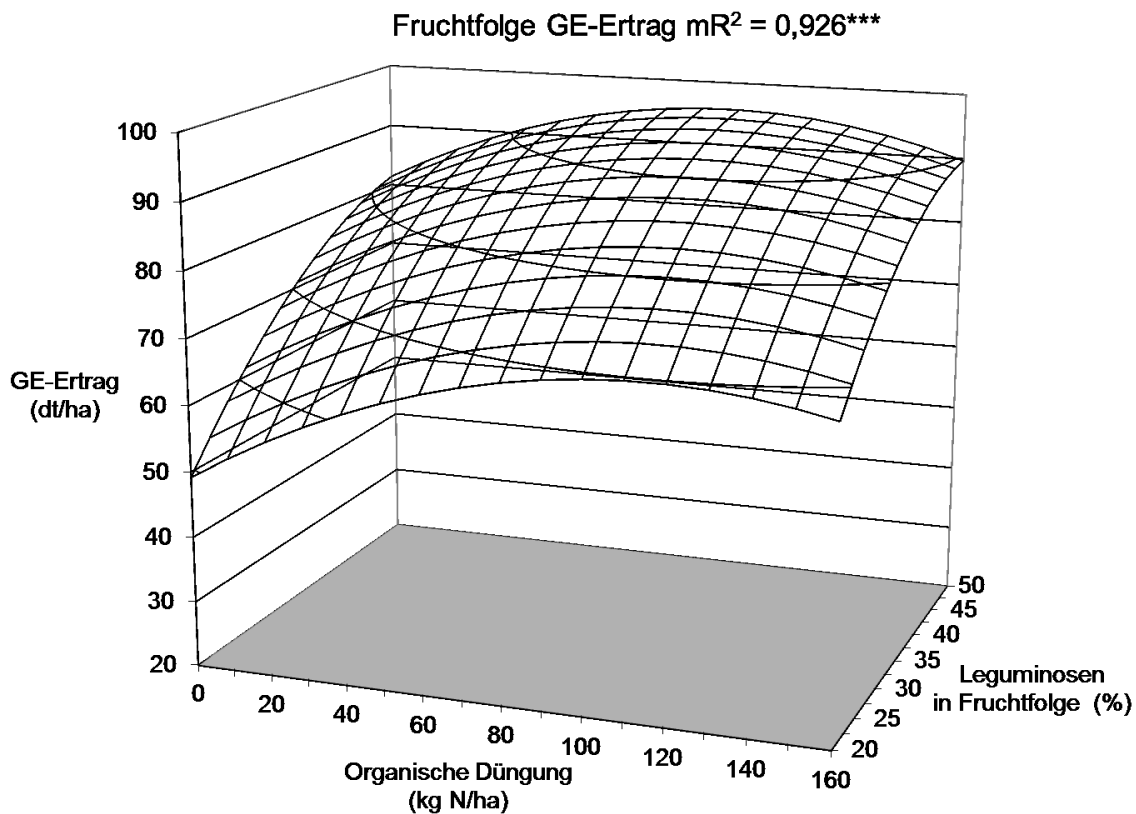


Abbildung 110: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die GE-Erträge der Fruchtfolgen in Dauerversuchen auf schwerem Boden

Auch ohne organische Düngung führte ein gesteigerter Anbauumfang an Leguminosen zu einem hohen Ertragsniveau bei den angebauten Getreidearten. So waren auf dem Ökofeld in Roda Winterweizenerträge von z.T. weit über 60 dt/ha keine Seltenheit, während nur verhältnismäßig geringe Kartoffelerträge von durchschnittlich unter 250 dt/ha Knollen die Regel waren (MEYER et al., 2021a). Am selben Standort entwickelten Kartoffeln nur geschlossene Pflanzenbestände und Knollenerträge von 350 dt/ha bis über 400 dt/ha, wenn sie vor dem Pflanzen durch eine hohe Gabe an festen organischen Düngern versehen worden sind (KOLBE, 2021).

In diesen Versuchen konnte immer wieder beobachtet werden, dass es bei einem relativ hohen Anbauumfang an Leguminosen in den Fruchtfolgen manchmal zu extrem hohen N_{\min} -Werten im Boden gekommen ist. Nach besonderen Witterungslagen mit lang anhaltender Trockenheit und hohen Temperaturen haben sich dann N_{\min} -Spitzenwerte insbesondere bei den Herbstuntersuchungen von z.T. weit über 150 kg N/ha entwickelt. Dies wurde immer dann beobachtet, wenn gleichzeitig auch noch eine hohe organische Düngung vorlag (MEYER et al., 2021a; FARACK et al., 2021). Aus diesen Ergebnissen kann schließlich die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass Leguminosenanteile von über 40 % auch aus diesen aufgeführten Gründen nicht mehr als ordnungsgemäß anzusehen sind (siehe MEYER et al., 2021b).

Der Einfluss des Leguminosenumfanga zeigt sich auch in den berechneten N-Salden (brutto) der Anbausysteme aus den betrachteten Dauerversuchen (Abbildung 111). Ein Anstieg des Anbaus von Leguminosen um 10 % hat in etwa eine Erhöhung der mittleren N-Salden um 25 – 35 kg N/ha zur Folge. Der Anstieg in Folge einer gesteigerten organischen Düngung ist aber wesentlich höher ausgeprägt. Auf Grund des abnehmenden Ertragszuwachses ist ein deutlich überproportionaler Zuwachs in den N-Salden zu

erkennen. Durch Erhöhung der N-Versorgung um 50 kg/ha kann mit einem Anstieg der Salden um ca. 40 kg/ha gerechnet werden.

Negative Salden werden nur in einem kleinen Bereich zwischen ungefähr 25 % Leguminosenanbau bei keiner Düngung und 20 % Leguminosen mit einer N-Zufuhr um 30 kg/ha registriert. Auch von SURBÖCK et al. (2013) wurden noch leicht negative N-Salden bei geringem Anbau von Futter- und Körnerleguminosen um 25 % ermittelt. Nach Untersuchungen von MAYER et al. (2017) wurden im DOK-Versuch in Varianten ohne Düngung und einem Anbauumfang von ca. 29 % Leguminosen N-Salden von bis zu -25 kg N/ha und Jahr berechnet.

Die im Ökolandbau akzeptablen Salden sollten im Durchschnitt der Fruchtfolgen mindestens positive Werte erreichen. Beim Vorkommen von dauerhaft negativen Salden ist nach eindeutigen experimentellen Erkenntnissen mit z.T. deutlichen Ertragsausfällen zu rechnen (KOLBE, 2012a, 2015a). Zwischen 0 kg N/ha und ungefähr 50 kg N/ha kann auch für die Bedingungen des Ökolandbaus ein optimales Ertragsniveau gewährleistet werden. Saldowerte deutlich über 50 kg N/ha hinaus führen zu maximalen Erträgen und können wegen zu hoher N-Verluste und damit zusammenhängenden negativen Umweltwirkungen nicht mehr akzeptiert werden (siehe auch MEYER et al., 2021b). Bei einem verhältnismäßig geringen Leguminosenanteil von 20 % kann somit eine zusätzliche organische Düngung von ungefähr 110 kg N/ha ermöglicht werden.

Dieser Bereich deckt sich ganz gut mit der von den Verbänden erlaubten Anwendungshöhe von organischen Düngemitteln. Mit steigendem Leguminosenanbau sollte die N-Zufuhr dann aber bis auf ca. 50 kg N/ha reduziert werden, damit diese Grenze von 50 kg/ha im N-Saldo nicht dauerhaft überschritten wird. Bei hohem Leguminosenumfang und hoher Düngung werden besonders extreme N-Salden erzielt (positive Wechselwirkung). Nach diesen Erkenntnissen ist eine höhere organische Düngung nur sinnvoll, wenn der Umfang an Leguminosen entsprechend reduziert wird oder ganz entfällt. Nur in diesen speziellen Anbaufolgen mit sehr geringem Leguminosenanbau und hohen Anteilen an Hackfrüchten und Feldgemüsearten kann mit einem entsprechend hohen Ertragsniveau eine Nährstoffabfuhr ermöglicht werden, damit Nährstoffsalden von unter 50 kg N/ha im Durchschnitt der Jahre noch gewährleistet werden können. Durch diese erhaltenen Ergebnisse sind daher höhere Düngungsmengen von bis zu 170 kg N/ha entsprechend den EU-Richtlinien kritisch zu hinterfragen und wahrscheinlich nur noch auf besonderen Gunststandorten zu akzeptieren.

Zu bedenken ist jedoch ein gewisser Betrag an N_t -Menge, die auf Grund der oben erwähnten z.T. deutlichen Humusanreicherung bis zum Erreichen eines Gleichgewichtes als zwischenzeitlicher Stickstoffspeicher anzusehen ist. Bei einer hohen Düngung kann hierbei ungefähr eine Menge von 20 kg/ha N_t jährlich veranschlagt werden, die von den erhaltenen N-Salden noch abgezogen werden können, weil dieser Stickstoff nicht als reaktiv anzusehen ist. Zwischen der organischen Düngung (x_1) und dem Anbauumfang an Leguminosen (x_2) wurde folgende Gleichung zur Bestimmung der N-Salden berechnet ($y =$ N-Saldo (brutto), kg N/ha; $r = 0,830^{***}$):

$$y = -132,88 + 0,29868x_1 + 0,00165x_1^2 + 7,81346x_2 - 0,09995x_2^2 + 0,00768x_1x_2.$$

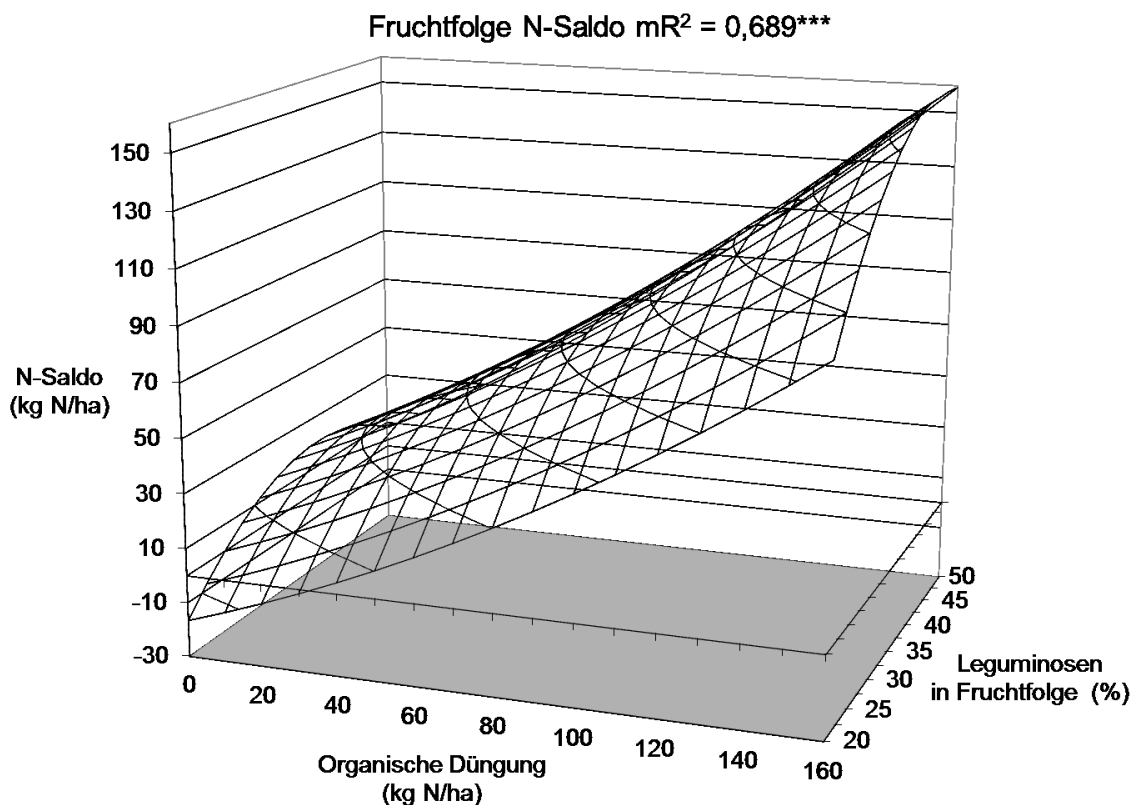


Abbildung 111: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die N-Salden (brutto) der Fruchtfolgen in Dauerversuchen auf schwerem Boden

Die aus den Dauerversuchen ermittelten P- und K-Salden verhalten sich in Folge steigendem Leguminosenanbau und der organischen Düngung in ähnlicher Weise, wie es schon bei den N-Salden beschrieben worden ist (vgl. Abbildung 111 u. Abbildung 112). Demgegenüber werden beim Phosphat und beim Kalium höhere Versorgungsbereiche mit z.T. deutlichen negativen Salden vorgefunden. In einem weiteren Dauerversuch auf Lehmboden in Therwil (DOK-Versuch) wurden nach 35 Jahren P-Salden von -19 kg bis +6 kg P/ha und K-Salden von -80 kg bis +15 kg K/ha berechnet, bei einer ermittelten Nachlieferung um 50 kg K/ha und Jahr (JAROSCH et al., 2017).

Naturgegeben findet aber bei hohem Anbauumfang an Leguminosen keine dem Stickstoff vergleichbare deutliche Anhebung der P- und K-Salden statt. Trotzdem kann insbesondere bei Vorlage einer niedrigen organischen Düngung eine Verbesserung der negativen P-Salden um 5 – 7 kg/ha und eine Erhöhung der stark negativen K-Salden sogar um 50 kg/ha durch den Leguminosenanbau ermittelt werden, obwohl gleichzeitig ein höherer Nährstoffentzug durch die Ertragswirkungen festzustellen ist (siehe Abbildung 110).

In Folge deutlicher negativer Wechselwirkungen zwischen Leguminosenanbau und organischer Düngung können diese Zugewinne jedoch bei hoher organischer Düngung nicht festgestellt werden. Ob der Anbau insbesondere mit Futterleguminosen außer beim Stickstoff auch zu einer Verbesserung der P- und K-Versorgung beigetragen hat, kann jedoch aus diesen Ergebnissen nicht abschließend geklärt werden. Es erscheint aber möglich, dass besonders im Bereich einer verhältnismäßig geringen Nährstoffversorgung eine höhere Remobilisierung an Bodennährstoffen auch aus dem Untergrund durch den Anbau von Tiefwurzlern erfolgen kann als bei Vorlage einer hohen Versorgung (siehe THORUP-KRISTENSEN et al., 2012; PAULSEN et al., 2016).

Nach diesen Ergebnissen zur Nährstoffbilanzierung sind im Bereich eines relativ geringen Leguminosenanbaus folgende zusätzliche organische Düngungsmengen erforderlich, um unter Einrechnung der bei diesen schweren Böden festzustellenden Nachlieferung auf Dauer eine mindestens ausgeglichene Nährstoffversorgung ohne Veränderung der festen oder löslichen Bodengehalte zu erreichen:

- Humus und Stickstoff: organische Düngung mit ca. 30 kg N/ha erforderlich für ausgeglichene N-, N_t- und Humussalden (Abbildung 107, Abbildung 111)
- Phosphor mit maximal 5 kg P/ha Nachlieferung (siehe Abbildung 94): organische Düngung mit einem Äquivalent von ca. 60 kg N/ha erforderlich (Abbildung 112 oben)
- Kalium mit maximal 60 kg K/ha Nachlieferung (siehe Abbildung 97): organische Düngung mit einem Äquivalent von mindestens 70 – 80 kg N/ha und Jahr erforderlich (Abbildung 112 unten).

Aus dieser Gegenüberstellung geht eindeutig hervor, dass die Bedingungen für ein ordnungsgemäßes Nährstoffmanagement für die Grundnährstoffe viel schwieriger zu erfüllen sind, als für den Stickstoff oder die Humusversorgung (siehe REIMER et al., 2020).

Im Rahmen des Humusumsatzes werden diese Grundnährstoffe in den aufgeführten Relationen zwischen Nährstoffsaldo und Bodenveränderung in die pflanzenverfügbaren DL- bzw. CAL-löslichen Formen freigesetzt, so dass zu ihrer Ermittlung keine weiteren bodenchemischen Methoden erforderlich sind (vgl. OEHL et al., 2002; STEFFENS et al., 2010; EICHLER-LÖBERMANN et al., 2019). Die Relationen zwischen verschiedenen löslichen Nährstofffraktionen z.B. beim Phosphat verändern sich relativ gleichmäßig in Abhängigkeit von der zugeführten Menge oder den ermittelten P-Salden.

Folgende mathematisch-statistische Zusammenhänge wurden zwischen der organischen Düngung (x_1) und dem Leguminosenanbau (x_2) zur Berechnung der P-Salden ($y_1 = \text{P-Saldo, kg P/ha u. Jahr; } r = 0,927^{***}$) und der K-Salden ($y_2 = \text{K-Saldo, kg K/ha u. Jahr; } r = 0,676^{**}$) ermittelt:

$$\blacksquare y_1 = - 26,67 + 0,29259x_1 + 0,000411x_1^2 + 0,45648x_2 - 0,00393x_2^2 - 0,00414x_1x_2$$

$$\blacksquare y_2 = - 251,61 + 0,51302x_1 + 0,00369x_1^2 + 9,30328x_2 - 0,11358x_2^2 - 0,00607x_1x_2.$$

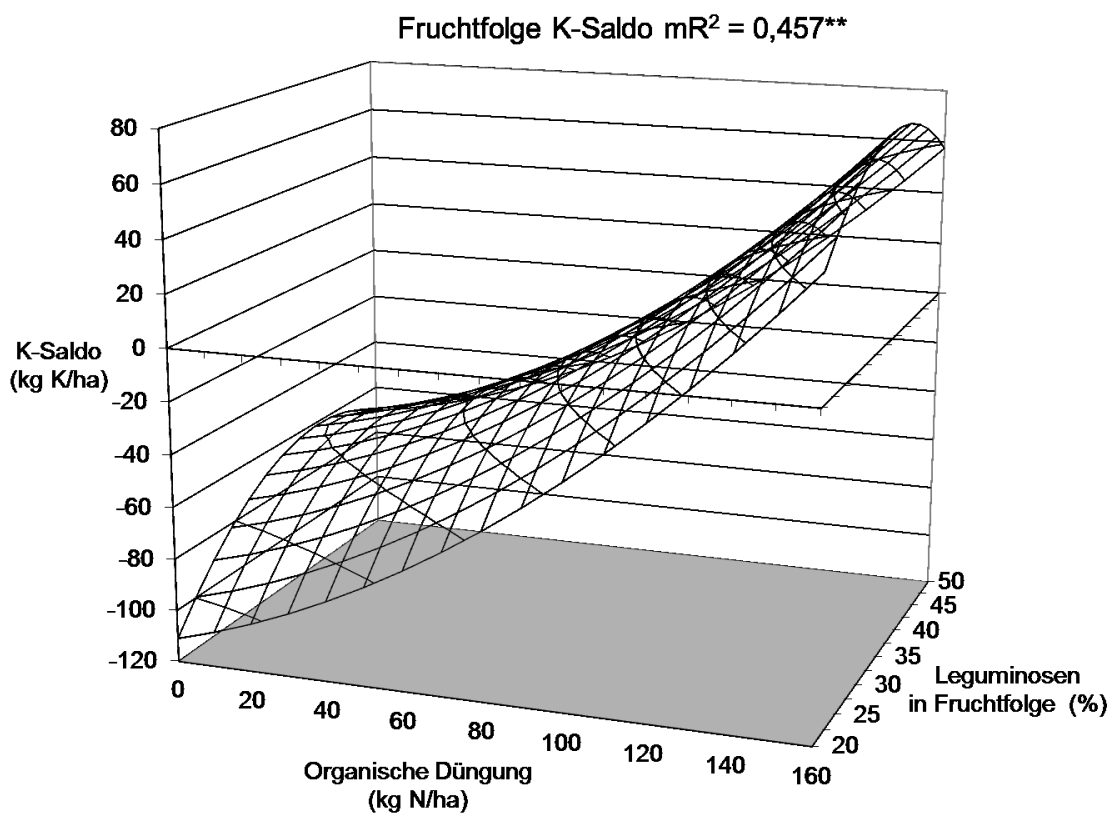
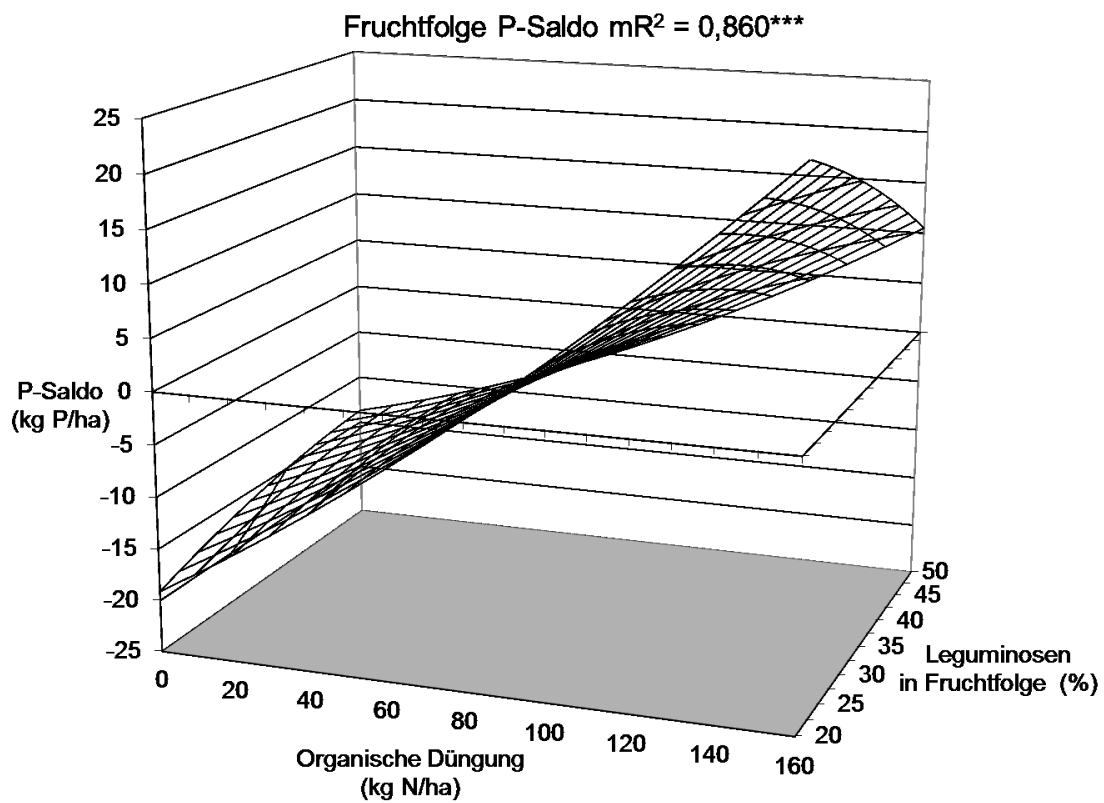


Abbildung 112: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die P-Salden (oben) und K-Salden (unten) der Fruchtfolgen in Dauerversuchen auf schwerem Boden

Am Beispiel des Stickstoffs zeigt die nächste Abbildung 113 Ergebnisse folgender zwei Arten der Nährstoffbilanzierung und anschließender entsprechender Ermittlung der Nährstoffeffizienzen:

- Gewöhnliche Brutto-Bilanzierung unter Einbeziehung der N-Deposition und Ermittlung der N-Salden und der (scheinbaren) N-Effizienz (N-Effizienz Versuche, N-Effizienz Betriebe)
- Gewöhnliche Brutto-Bilanzierung unter zusätzlicher Anrechnung negativer N_f -Salden des Bodens bei der Nährstoffzufuhr und positiver Salden bei der Abfuhr, Ermittlung der Gesamt-Salden und der Gesamt-Effizienz (N-Gesamt-Effizienz Versuche).

Im Vergleich zu den jeweils berechneten N-Salden werden im Allgemeinen sehr enge statistische Beziehungen zu den zu erwartenden Ergebnissen der Nährstoffausnutzung auf diesen sehr stark differenzierten ökologischen Anbausystemen gefunden. Es ist zu erkennen, dass beide Arten der Bilanzierung gut geeignet sind, um in einem weiten Saldbereich deutlich übereinstimmende Ergebnisse zu erzielen (Abbildung 113).

Die einfache Bruttobilanzierung führt zu etwas extremeren Ergebnissen als die Gesamt-Bilanzierung unter Berücksichtigung der N_f -Salden des Bodens, wie dies auch schon in anderen Untersuchungen ermittelt worden ist (MAYER et al., 2017; MEYER et al., 2021a). Demgegenüber wurde in diesen Untersuchungen ein deutlich umfangreicherer Leguminosenanbau- und Nährstoffversorgungsbereich berücksichtigt. Mit beiden Arten werden negative Nährstoffsalden mit Effizienzen von über 100 % berechnet. Hierbei wird ein Versorgungsbereich dargestellt, der auf Dauer zu einer Reduzierung bzw. Aushagerung der Nährstoffreserven des Bodens führt und deswegen auf Dauer eine unzureichende Nährstoffversorgung charakterisiert. Dieser Bereich kann daher bei Zuhilfenahme des bewährten A–E-Einstufungssystems der VDLUFA als niedrig bzw. sehr niedrig bezeichnet werden (Stufen B: -29 bis -1; Stufe A: <-30 kg N/ha; siehe HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; KOLBE, 2015a; MEYER et al., 2019).

Mit steigender Nährstoffversorgung schließt sich ein Bereich an, der bis zu einem Saldo um 50 kg N/ha eine ausreichende N-Versorgung zur Erlangung optimaler Erträge garantiert. Dieser Bereich zwischen 0 – 50 kg N/ha kann daher mit der Versorgungsstufe C versehen werden. Bis zu diesem Saldbereich werden mit beiden Arten der Ermittlung relativ übereinstimmende N-Effizienzen von 100 % bis ungefähr mindestens 60 % erhalten. Mit weiter steigenden N-Salden werden dann durch die Berechnung von Gesamt-Effizienzen zusehends höhere Werte ermittelt, die den positiven N_f -Werten des Bodens zuzurechnen und deshalb nicht als Verluste sondern als zwischenzeitliche N-Reserven des Humus anzusehen sind. Zu späteren Zeiten werden diese Reserven im Rahmen des Humusumsatzes wieder freigesetzt und dienen dann der Pflanzenernährung.

Bei einer weiter steigenden Nährstoffversorgung, wodurch dann in vielfältiger Weise eine organische Düngung aus weit über 1 GV/ha verabreicht und/oder ein hoher Umfang an Leguminosen in den Fruchtfolgen angebaut worden sind, kommt es zu einer Nährstoffeffizienz von unter 60 %, es können auch Werte im Ökolandbau von unter 40 % erzielt werden, wie die Ergebnisse der Dauerversuche gezeigt haben (Abbildung 113). In diesem Versorgungsbereich werden maximale Erträge erreicht oder bereits überschritten. Dies führt zu einer Überversorgung, denn es sind zusehends höhere Verluste an Stickstoff zu verzeichnen, die auch nicht mehr zwischenzeitlich in den N_f -Reserven des Humus gespeichert werden. Daher müssen N-Salden von über 50 kg N/ha den nicht mehr anzustrebenden Versorgungsstufen D – E zugewiesen werden.

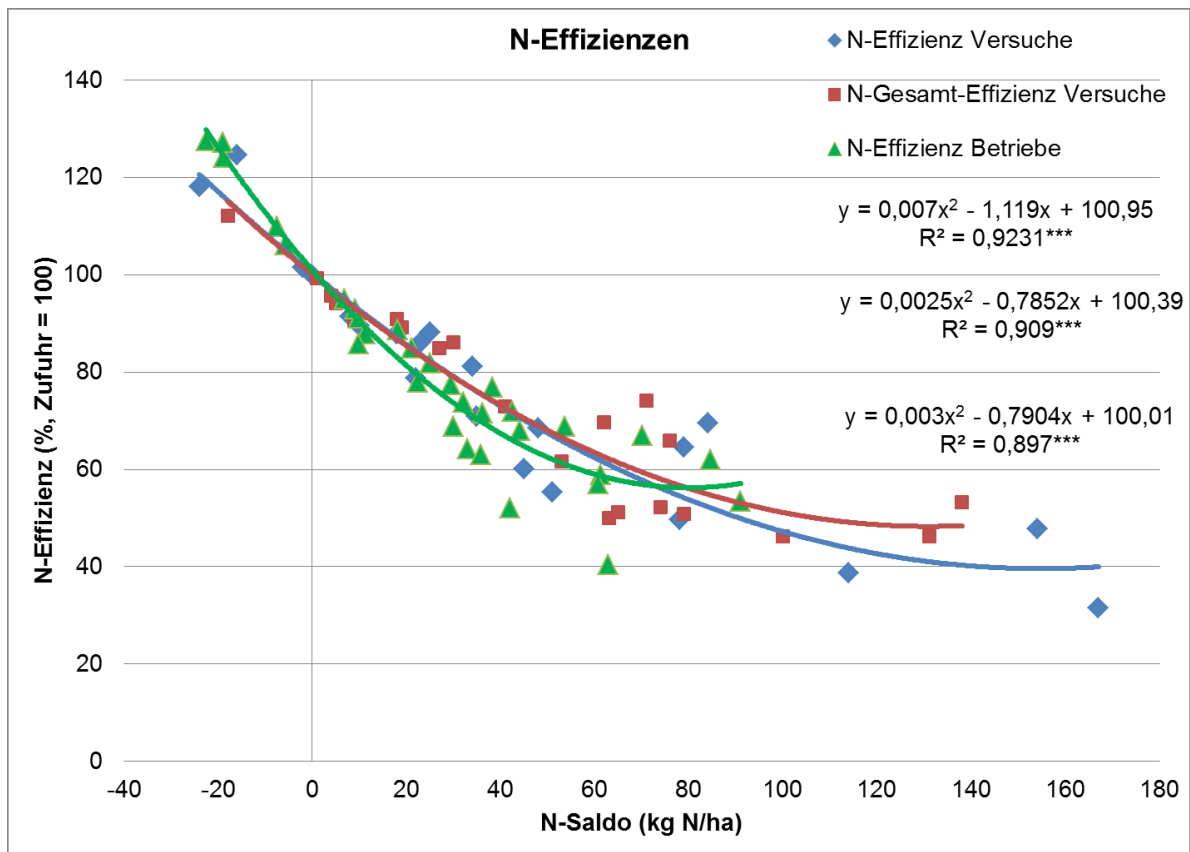


Abbildung 113: Zusammenhang zwischen den N-Salden und den ermittelten N-Effizienzen in den Dauerversuchen auf schwerem Boden

Nach ausführlichen Erhebungen in der landwirtschaftlichen Praxis können mittlere N-Effizienzen für den Ökolandbau zwischen 60 % bis nahe 100 % veranschlagt werden (KOLBE, 2000, 2015a; WATSON et al., 2002; BERRY et al., 2003; HARZER, 2006; KELM et al., 2007a; KÜSTERMANN et al., 2010; ENGELMANN & HÜLSBERGEN, 2012; HÜLSBERGEN & SCHMID, 2010; HÜLSBERGEN & RAHMANN, 2013; REIMER et al., 2020; KOLBE & MEYER, 2021). So werden in den Untersuchungen von MEYER et al. (2021b) mit N-Effizienzen zwischen 128 – 41 % bei N-Salden zwischen -23 – 91 (MW 32) kg N/ha annähernd im gesamten Bereich gefunden, der auch in den Dauerversuchen dokumentiert worden ist (siehe Abbildung 113). Der Mittelwert über die gesamten Betriebe betrug 78 % N-Effizienz, in den Versuchen waren es 76 % bei einem N-Saldo von 45 kg N/ha. Futterbaubetriebe wiesen mit 75 % und Betriebe mit Feldgemüse mit 74 % etwas geringere Werte und Marktfruchtbetriebe mit 88 % N-Effizienz etwas höhere Werte auf, wobei dann auch eine etwas höhere Anzahl an Betrieben mit einer N-Verwertung von über 100 % zu bedenken ist. Außer diesen Differenzen zwischen verschiedenen Betriebstypen mit ihren verbreiteten Intensitäten konnten kaum weitere regionale Unterschiede ermittelt werden.

Lediglich in den Untersuchungen von CHMELIKOVA et al. (2021) wurde ein mittlerer Wert von etwas über 90 % (64 – 121 %) ermittelt. Derart hohe Durchschnittswerte in der N-Effizienz sind bisher in kaum einer anderen Arbeit beschrieben worden. Da auch die Werte von konventionellen Vergleichsbetrieben, zu denen viele andere Untersuchungsergebnisse vorliegen (u.a. KELM et al., 2007a; MEYER et al. 2019; HÄUBERMANN et al. 2019), mit sehr hohen mittleren Werten um 79 % N-Effizienz ermittelt worden sind, bestehen offenbar methodische Unterschiede in der Berechnung, oder es handelt sich in beiden Anbausystemen um Betriebe, die in gewisser Weise zu einem höheren Standard gezählt werden müssen und nicht den Durchschnitt der landwirtschaftlichen Praxis dokumentieren.

Wie die Ergebnisse in Abbildung 113 aufzeigen, werden in einigen Anbauformen des Ökolandbaus mit hohem Umfang an Leguminosen und einer entsprechend extremen organischen Düngung genau so hohe N-Salden und demzufolge auch so niedrige Effizienzen ermittelt, wie es auch in intensiven Anbauformen des konventionellen Landbaus üblich ist. Nur wenn Fehler im Nährstoffmanagement nicht rechtzeitig erkannt werden und andere Produktionsfaktoren ins Minimum geraten (Minimumgesetz, MITSCHERLICH, 1909), wie z.B. Wasser im Versuch Spröda oder Schwefel und andere Nährstoffe auf dem Gladbacherhof, kann es schnell dazu kommen, dass die N-Effizienzen bereits bei einer mittleren Nährstoffzufuhr auf Werte zwischen 50 – 55 % absinken (SOMMER, 2010). Auch in relativ intensiv wirtschaftenden Milchviehbetrieben können bei hohen Werten im Futterzukauf N-Effizienzen um die 45 % ermittelt werden (HAAS et al., 2007). Zur Abklärung derart niedriger Werte sollte der Einfluss von rezykliertem Stickstoff auf die Saldobildung in viehhaltenden Betrieben mal einer näheren Analyse unterzogen werden (vgl. Kap. 4.6).

Am Beispiel der hier ermittelten Gesamt-Effizienz an Stickstoff wurde darüber hinaus erstmals auch ein Versuch unternommen, mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse den Zusammenhang zwischen steigendem Leguminosenanteil und zunehmendem Düngungsniveau quantitativ zu berechnen. Obwohl das Datenmaterial für derart komplexe Zusammenhänge noch nicht umfangreich genug sein dürfte, können doch einige grundsätzliche Zusammenhänge den Ergebnissen der Abbildung 114 entnommen werden, wenn gewisse Extrembereiche insbesondere in der Peripherie der Darstellung außer Acht gelassen werden.

Von Ausgangswerten zwischen 90 – 70 % fällt die N-Effizienz grundsätzlich mit zunehmenden Leguminosenanteilen und auch mit steigender organischer Düngung über den größten Versorgungsbereich z.T. deutlich ab. Auf Grund einer ausgeprägten Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren erfolgt ein besonders starker Abfall in Folge hohem Leguminosenanteil und einer sehr hohen Düngung und es werden Werte von unter 50 % N-Effizienz erreicht. Hohe Anteile an Körnerleguminosen (20 %-, 50 %-Bereich) führen offenbar im Vergleich zu ausschließlichem Futterleguminosenanbau (25 – 45 %-Bereich) zu etwas höheren Effizienzwerten.

Nach diesen Ergebnissen sind besonders hohe N-Effizienzen nach sehr geringem Leguminosenanbau aufgetreten. Fast nur in diesem Bereich können hierbei auch im Zusammenhang mit der organischen Düngung Verwertungsraten von über 100 % auftreten, wodurch auf Dauer auf Grund der Verringerung der N-Gehalte sowohl eine Verschlechterung der Humusqualität als auch eine Abnahme der Bodenfruchtbarkeit entstehen kann. In Abhängigkeit von der (intensiven konventionellen) Vorbewirtschaftung lassen die Ergebnisse aber für den allergrößten Bereich an ökologischen Anbauformen auf lange Sicht keine negativen Auswirkungen auf die Humusqualität erwarten.

Die Gesamt-Effizienz in Abhängigkeit von der organischen Düngung in Form von Stickstoff (x_1 , kg N/ha) und dem Fruchtfolge-Leguminosenanteil (x_2 , %) kann nach folgender mathematisch-statistischer Gleichung berechnet werden (y = Gesamt-Effizienz für Stickstoff, %, Nährstoffzufuhr = 100 %; $r = 0,742^{***}$):

$$\blacksquare Y = 209,81 + 0,57091x_1 - 0,000913x_1^2 - 8,42298x_2 + 0,11956x_2^2 - 0,01323x_1x_2.$$

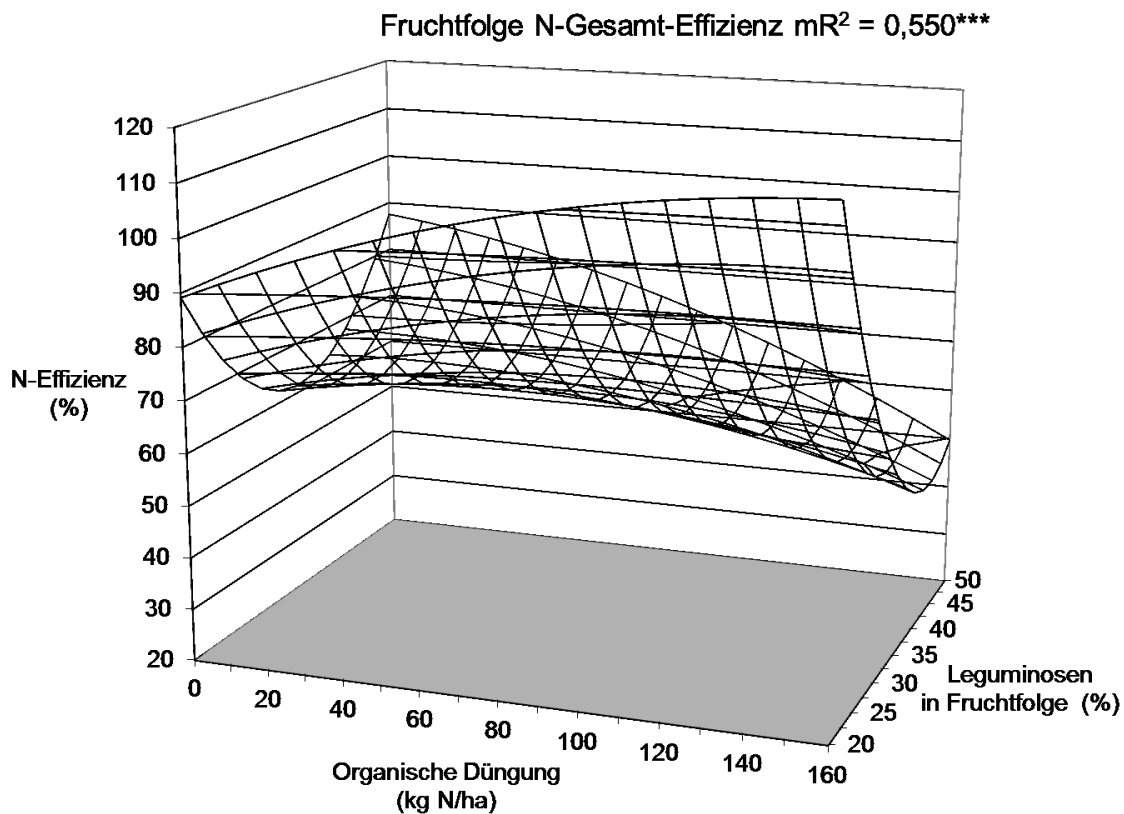


Abbildung 114: Einfluss steigender organischer N-Düngung und Leguminosen-Anteilen in den Fruchtfolgen auf die N-Gesamt-Effizienz in Dauerversuchen auf schwerem Boden

Die Zielvorstellung einer nachhaltigen Intensivierung besteht darin, Anbausysteme zu entwickeln, die hoch produktiv und gleichzeitig umweltfreundlich sind (THE ROYAL SOCIETY, 2009; BLUMENSTEIN, 2017; MULLER et al., 2017; MEEMKEN & QAIN, 2018; HALLER et al., 2020). Als Fazit der Diskussion um die Erreichung einer umweltverträglichen Intensivierung ist jedoch, wenn überhaupt, dass eine Verbesserung der Nährstoffeffizienz nur in geringem Umfang möglich erscheint. Bei der Aufstellung derartiger Thesen im biologischen Umkreis werden oft Grenzen übersehen, die im Wesentlichen vom Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses gesetzt werden.

Die Ergebnisse zeigen eindeutig auf, dass in Folge steigendem Leguminosenanbau in den Fruchtfolgen und durch erhöhte Tierhaltung ausgebrachte organische Düngemittel in einem sehr breiten Untersuchungsbereich im Wesentlichen eine abnehmende Nährstoffeffizienz und damit zusammenhängende meistens auch negative Umweltwirkungen verbunden sind. Diese Ergebnisse über verschiedene Intensivierungsmaßnahmen konnten nicht nur aus den umfangreichen Auswertungsarbeiten von Dauerversuchen sondern genauso auch aus Erhebungsdaten der ökologischen landwirtschaftlichen Praxis manifestiert werden. Es sind bisher keine Anbauverfahren bekannt, deren Ergebnisse deutlich von diesem geschilderten Trend abweichen, weder in Versuchen noch unter den praktischen Anbauverhältnissen der Betriebe.

5.2.7 Einfluss organischer Düngemittelarten sowie N-Mineraldünger

Eine vieljährige wiederholte Zuführung von denselben Düngemitteln hat in den Versuchen zu unterschiedlichen Wirkungen auf die angebauten Pflanzenarten, den Boden und die Umwelt geführt. Genauso wie es von großem Interesse ist, wie z.B. die Anbausysteme und speziell die Fruchtfolgen mit steigender Intensität angepasst werden müssen, ist es auch von Bedeutung zu wissen, welche Düngemittelarten kurz- und

langfristig für diese verschiedenen Bedürfnisse besonders geeignet sind, damit sie ggf. gezielt eingesetzt werden können (MÖLLER & FRIEDEL, 2016).

Um bei den hier erzielten Versuchsergebnissen eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den geprüften Düngemitteln zu erzielen, wurden im Vergleich zu den langfristigen Standardvarianten der Futterbau- und Marktfruchtssysteme ohne Düngung die im Durchschnitt erzielten absoluten und relativen Differenzen einer hohen Anzahl an Merkmalen einer stetigen Düngung mit Stalldung, Grüngut (auch als Transfermulch), Rindergülle und an N-Mineraldüngung (Kalkammonsalpeter, KAS) gegenübergestellt. Durch die Ausweisung von Differenzwerten ist eine verhältnismäßig neutrale Bewertung der Düngerwirkungen auch von den Arten, wie dem Grüngut gelungen, die nicht in jedem der geprüften Anbausysteme parallel zur Anwendung gekommen sind, da auf Grund des Vorhandenseins von meistens additiven Wirkungen auf diese Weise der Systemeffekt weitgehend ausgeschlossen werden konnte.

In den Dauerversuchen wurde organische Düngung auf Grund der Gesamt-N-Gehalte berechnet und bemessen. Dadurch wurde mit mittleren Werten von 73 – 78 kg N/ha und Jahr eine verhältnismäßig gute Vergleichbarkeit der zugeführten N-Mengen zwischen den organischen Düngemitteln erreicht (Tabelle 250). Lediglich die Varianten mit mineralischer Stickstoffdüngung haben im Durchschnitt mit 96 kg N/ha eine ca. 20 kg höhere N-Menge je Jahr erhalten. Hierbei sind jedoch auch Unterschiede zwischen den Standorten zu bedenken, da der Lehmboden in Methau mit deutlich höherem N-Düngungsniveau von 120 kg N/ha ein entsprechend günstigeres Ertragspotenzial aufweist als der Sandboden in Spröda mit lediglich 71 kg N/ha und Jahr an N-Mineraldüngung.

Diese Anbauverfahren mit den organischen und mineralischen Düngungsvarianten hatten im Durchschnitt der Versuche eine unterschiedliche Wirkung auf die GE-Erträge bzw. die N-Abfuhr der gesamten Fruchtfolgen zur Folge. Die Verabreichung der organischen Düngemittel führte in der Rangfolge zwischen Stalldung, Grüngut und Rindergülle in der Tendenz zu einer ansteigenden Wirkung auf die GE-Erträge.

Im Vergleich zu den nicht gedüngten Varianten wurden im Durchschnitt der Fruchtfolgen lediglich GE-Mehrerträge zwischen 6,6 – 8,3 dt/ha erzielt (111 – 115 %). Beim Anbau von Hackfrüchten (Kartoffeln, Mais) waren es immerhin 10,8 – 13,5 dt GE/ha (117 – 123 %), so dass diese Kulturen deutlich besser auf die organische Düngung reagiert haben als die Getreide- und Klee grasarten. Stalldung und Gülle waren durch ähnlich hohe Wirkungen gekennzeichnet, die Mehrerträge nach Grüngutzufuhr lagen auf etwas geringerem Niveau. Die Ertragswirkung organischer Düngemittel wurde in vielen Versuchen untersucht und ausführlich beschrieben (MEINEKE, 1994; GUNST et al., 2007; KOLBE, 2007, 2008c; KÖRSCHENS et al., 2012).

Der Einsatz der N-Mineraldüngung ist im Ökolandbau, wie die meisten leicht löslichen Mineraldüngemittel nicht erlaubt (ANON., 2007a, 2018). Diese Düngerform wurde in einigen Prüfgliedern dennoch als Kalkammonsalpeter bewusst mit in die Versuchsplanungen aufgenommen, damit die Wirkungen mit den üblichen erlaubten Düngemitteln vergleichend gegenüber gestellt werden können, wodurch die Einstufung als nicht erlaubtes Mittel nochmals fachlich diskutiert und überprüft werden konnte.

Der lang andauernde Einsatz der N-Mineraldüngung hat in diesen Versuchen dazu geführt, dass sowohl der Ertragsanstieg der gesamten Fruchtfolge mit 5,8 dt/ha nicht sehr deutlich ausgefallen und insgesamt sogar unter den Werten der organischen Düngemittel zurückgeblieben ist, obwohl ein etwas höheres Düngungsniveau verabreicht worden ist (Tabelle 250). Diese depressive Wirkung der N-Mineraldüngung war in den Versuchen an beiden Standorten vor allem bei den angebauten Getreidearten aufgetreten. Obwohl das veranschlagte Düngungsniveau im Vergleich zur konventionellen Praxis noch verhältnismäßig niedrig war, wirkte sich die N-Mineraldüngung oft stark negativ auf die Standfestigkeit der Getreidearten aus und die Anfälligkeit gegenüber Pilzkrankheiten wurde z.T. deutlich erhöht.

Weiterhin wurden zwar die Wuchshöhe und der N-Gehalt des Getreides geringfügig durch alle geprüften Düngemittel erhöht, aber besonders durch die N-Mineraldüngung. Hierdurch sind die Wuchshöhe des Getreides auf durchschnittlich 108 % und zudem insbesondere der N-Gehalt im Getreidestroh auf 145 % im Vergleich zu den nicht gedüngten Standardvarianten angestiegen. Durch diese veränderten Eigenschaften ist es zu einer Abnahme der Stängelfestigkeit gekommen, Lagerneigung und Krankheitsbefall waren die Folgen, wie auch in anderen konventionellen Versuchen immer wieder festgestellt worden ist. Um unter den Bedingungen des Ökolandbaus ein den organischen Düngemitteln vergleichbares bzw. sogar höheres Ertragsniveau zu erreichen, wäre daher, neben dem Anbau von kurz-strohigen und resistenten Arten, der Einsatz von Halmstabilisatoren und Fungiziden erforderlich.

Aber auch bei den Hackfrüchten war die stetige Anwendung der N-Mineraldüngung nicht überzeugend. Im Vergleich zu keiner Düngung führte hier der Einsatz zu einem Ertragsanstieg auf lediglich 113 %, während es bei Grüngut 117 %, bei Gülle 122 % und bei Stalldung immerhin 123 % im Vergleich zu den ungedüngten Varianten waren. Es ist bekannt, dass Hackfrüchte, wie z.B. Kartoffeln besonders gut auf eine organische Düngung ansprechen (KOLBE, 2021). Nach hoher Düngung wird das Krautwachstum zur Realisierung einer guten Verwertung der Einstrahlung in ähnlicher Weise forciert wie nach N-Mineraldüngung. Im Gegensatz hierzu sind aber die N-Gehalte in Kraut und Knollen und die Nitratwerte sowie auch die Rohverfärbung der Knollen nach organischer Düngung vergleichsweise gering (Tabelle 250). Daher wird auch die Speise- und Verarbeitungsqualität sowie die Lagerfähigkeit der Knollen nach N-Mineraldüngung ungünstig beeinflusst bzw. ist verhältnismäßig niedriger zu veranschlagen (WISTINGHAUSEN, 1984). Bei gleichem Ertragsverhalten zeichnen sich daher auch Kartoffeln bei N-Mineraldüngung durch z.T. deutlich geringere Bewertungen in den Qualitätseigenschaften aus als bei entsprechender organischer Düngung.

Bei den Klee grasflächen erfolgte in der Regel nur eine Düngung zum Ansaatzjahr und nicht im folgenden Hauptnutzungsjahr. Trotzdem war ebenfalls im Durchschnitt der Anbaujahre eine deutliche Wirkung bzw. Nachwirkung der Düngemittel zu verzeichnen. Im Vergleich zu den Varianten ohne Zufuhr stiegen die Erträge beim Klee gras nach Stalldung auf 106 %, nach Grüngut auf 112 % und nach Gülle auf 114 % an. Dagegen zeichneten sich die Varianten mit N-Mineraldüngung mit lediglich 104 % durch die geringste Ertragswirkung im Vergleich zu keiner Düngung aus. Bei direkter Mineraldüngung wären wahrscheinlich höhere Erträge realisiert worden. Andere, für den Ökolandbau bedeutende Wirkungen, wären aber dann noch deutlicher zu Tage getreten. So fielen die Gehalte an Mineralstoffen in Form der Rohasche nach N-Düngung auf 98 % ab, während die organisch gedüngten Varianten zwischen 103 – 106 % an Rohasche aufwiesen (Tabelle 250).

Durch eine bedeutende Umschichtung des Bestandes wirkte sich die N-Mineraldüngung positiv auf das Graswachstum aus, so dass die Klee- und Luzerneanteile im Gemenge deutlich auf 63 % abfielen und auch die N-Gehalte im Gemenge niedrigere Werte annahmen als in den Varianten ohne Düngung. Dagegen blieben die Leguminosenanteile durch die organische Düngung meistens weitgehend stabil, auch die N-Gehalte haben sich kaum gegenüber keiner Düngung verändert. In den Versuchen von FARACK et al. (2021) mit organischer Düngung ähnlicher Steigerung (Stalldung, Gülle) wurde eine Abnahme des Leguminosenanteils im Gemenge um höchstens 6 % bonitiert. Trotzdem kam es noch zu einer Anhebung der legumen N₂-Bindung bei 1,0 DE/ha um ca. 13 % im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung.

Durch diese spezifischen Einflüsse hat sich auch in den hier präsentierten Versuchen die berechnete legume N₂-Bindung der Klee grasbestände deutlich verschoben. Im Vergleich zu keiner Düngung wurden bereits nach ca. 0,5 DE/ha die höchsten Werte in der N₂-Bindung in Folge langjähriger organischer Düngung erreicht. Dabei waren die festen organischen Dünger nur geringfügig besser zu bewerten als die Flüssigdüngung mit Gülle. Während insgesamt nach organischer Düngung eine Erhöhung der Werte auf 103 – 110 % erfolgte, kam es in den Varianten mit N-Mineraldüngung zu einer gravierenden Abnahme auf 58 % im Vergleich zu keiner

Düngung. Damit beträgt die mittlere Differenz an legumer N₂-Bindung nicht ganz 90 kg N/ha je Kleeergrasjahr, was als ein erheblicher Wert anzusehen ist (Tabelle 250).

Die berechneten Werte der legumen N₂-Effizienz, als Anteil in den N-Abfuhrungen (= 100 %) der Fruchtarten der Fruchtfolge ausgewiesen (Werte in Klammern), haben sich im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung (= 100 %) durch die verabreichten Düngemittel folgendermaßen entwickelt (%):

Düngung	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	MW
■ Stalldung	100 (64,9)	104	97	88	96
■ Grüngut	100 (123)	98	95	94	95
■ Rindergülle	100 (84,4)	88	85	81	85
■ N-Mineraldünger	100 (86,7)	-	-	-	55.

Nach diesen umfangreichen Auswertungen haben sich die festen organischen Dünger relativ stabil gehalten, indem die Anteile der legumen N₂-Bindung an den Gesamt-N-Entzügen der Fruchtfolge in Folge stark steigender Düngermannung nur relativ geringfügig verringert haben. Bei einer Zuführung von 2,0 DE/ha wurde im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung diese Relation um 6 – 12 % verringert (im Durchschnitt der Düngungsvarianten um 4 – 5 %). Nach Berechnungen von FARACK et al. (2021) kam es sogar zu gar keiner Veränderung des Anteils an N₂-Bindung am N-Entzug der Fruchtfolge.

Neben den Erträgen und der Art der Leguminosen wirken bei diesen Berechnungen auf die legume N₂-Bindung auch die Veränderungen des Leguminosenanteils im Leguminosengrasgemenge bzw. die Mengen an reaktivem Stickstoff im Boden ein. Da diese Merkmale von der langfristig zugeführten Gülle und der N-Mineraldüngung z.T. deutlich ungünstiger verändert worden sind als nach Verabreichung der festen organischen Dünger, kommt es zu einer deutlicheren Abnahme der Mengen an N₂-Bindung und der berechneten Anteile an der N-Abfuhr der Fruchtfolge.

Diese Entwicklung der Menge an N₂-Bindung deutet sich bereits bei der verwendeten Rindergülle mit einer durchschnittlichen Abnahme um 15 % an. In den Versuchen von STEINSHAMN (2001) führte eine Güllegabe zu einer Abnahme des Leguminosenanteils zwischen 7 – 13 %. Da andere Güllearten, wie den Schweinegülle oder auch die Biogasgülle über höhere Anteile an verfügbaren N-Quellen aufweisen, dürfte deren langfristiger Einsatz zu einer Verstärkung dieses negativen Trends auf die N₂-Bindung der Leguminosen führen (siehe MÖLLER et al., 2008). Einflüsse verschiedener organischer Düngemittel auf den Leguminosenanteil und die N₂-Bindung in Leguminosen-Grasgemengen sind auch in anderen Versuchen ermittelt und als „Puffereffekte“ beschrieben worden (ASKEGAARD et al., 2005; RASMUSSEN et al., 2006).

Doch die Reduktion der Menge und des relativen Anteils der N₂-Bindung am Nährstoffentzug in den Varianten mit N-Mineraldüngung übertrifft bei weitem alle anderen hier geprüften Düngungsvarianten. Das Ausmaß der N₂-Bindungsverluste ist allerdings gut mit konventionellen N-Steigerungsversuchen im Grünland vergleichbar, wonach in der ersten Steigerungsstufe eine Zufuhr von 100 kg N/ha je nach Grünlandart zu einem Abfall des Weißkleeanteils und der N₂-Bindung um 30 – 100 kg N/ha geführt hat (WEISSBACH, 1995; TROTT et al., 2003).

Durch diesen negativen Einfluss der N-Mineraldüngung auf die Selbstregulierung der Leguminosenbestände (siehe SCHMIDTKE, 1997) und den Anteil an reaktivem Stickstoff im Boden kam es zu deutlichen Verschiebungen zwischen den Komponenten der Nährstoffbilanzierung. So stiegen zwar auch die N-Entzüge der untersuchten Fruchtfolgen in der Rangfolge Stalldung mit 109 % über Grüngut bis zur Gülle mit 117 % an,

die N-Entzüge lagen aber mit 120 % nach N-Mineraldüngung noch höher, obwohl die GE-Ertragsleistungen zurückgeblieben waren (Tabelle 250).

Hierdurch wird erkennbar, dass sich die N-Gehalte im Durchschnitt der abgefahrenen pflanzlichen Materialien deutlich erhöht haben. So wurde nach N-Mineraldüngung neben den Hackfrüchten (Silomais 124 %, Körnermais 114 %; Kartoffelknollen 133 %) auch bei den direkt gedüngten Getreidearten ein Anstieg in den Körnern um 0,30 % N (~115 %) festgestellt, während nach organischer Düngung nur geringe Verschiebungen von 99 % bei Stalldung bis 104 % bei stetiger Grüngutzufuhr zu verzeichnen waren (Tabelle 250). Nach Stalldung erfolgte eine Veränderung der N-Werte im Mais auf 105 % und in Kartoffeln auf 99 %, nach Grüngut im Mais auf 106 % und in Kartoffeln auf 99 % und nach Gülledüngung stiegen die N-Gehalte im Mais und in Kartoffelknollen auf 107 % an. Die Gehalte an Rohprotein wurden im Weizenkorn in ähnlichem Umfang durch die N-Mineraldüngung erhöht, so dass die Backfähigkeit in Form des Sedimentationswertes mit 175 % bedeutend angehoben werden konnte. Aber auch Stalldung führte mit 109 %, Grüngut mit 114 % und Güllezufuhr mit 121 % zu einer Verbesserung der Sedimentationswerte der Weizenkörner (Tabelle 250).

Auch in anderen Dauerversuchen wurden Einflüsse organischer und mineralischer Düngung auf die Gehalte an Nährstoffen in den geernteten Pflanzenprodukten festgestellt (SCHUPHAN, 1976; WISTINGHAUSEN, 1984; ABELE, 1987; KÖPPEN et al., 1990; MEINEKE, 1994; KOLBE & BECKMANN, 2003; FARACK et al., 2021). Die Auswirkungen einer stark unterschiedlichen Nährstoffversorgung auf Wachstum und Qualität von Kartoffeln und anderen Kulturen hat KOLBE (1993; 1995) beschrieben.

In den hier vorgestellten Versuchen haben die aufgezeigten Wirkungen der N-Mineraldüngung auf die N₂-Bindung und die abgeernteten N-Mengen durch die Pflanzenprodukte zu einer relativ geringen Veränderung der N-Salden von 46 kg N/ha geführt. Im Vergleich zu keiner Düngung liegen die ermittelten N-Salden der organischen Düngevarianten mit 63 – 68 kg N/ha zwar dicht beieinander, aber auf etwas höherem Niveau (Tabelle 250).

Auch die P- und K-Salden wurden durch diese organischen Düngemittel in ihren Werten z.T. deutlich angehoben, nach singulärer N-Zufuhr war jedoch ein weiterer Abfall der bereits ohne Düngung negativen Saldowerte eingetreten. An diesen Werten wird der bedeutende Beitrag der organischen Düngung nicht nur zur N-Versorgung sondern auch mit anderen wichtigen Nährstoffen sichtbar. Die alleinige N-Düngung führt demgegenüber zwar zu einem gerichteten Einfluss auf die N-Salden, durch die eintretenden höheren Nährstoffentzüge war aber ein negativer Einfluss auf die P- und K-Salden zu beachten.

Die auf Grund der üblichen Nährstoffbilanzierung erhaltenen Werte in den Nährstoff-Effizienzen wiesen hierdurch zunächst eine bekannte Rangfolge auf, in dem für die organischen Düngemittel etwas geringere Werte und für die N-Mineraldüngung die höchsten Effizienzwerte berechnet worden sind. Zwischen Stalldung mit dem niedrigsten Wert und der N-Mineraldüngung wurde so ein absoluter Unterschied von 15 % in der Nährstoffverwertung ermittelt (Tabelle 250). Nach Berechnungen von GUTSER & EBERTSEDER (2002), sowie auch MÖLLER & SCHULTHEIB (2014), MÖLLER & FRIEDEL (2016) und ARMBRUSTER & WIESLER (2019) weisen so Anbausysteme mit N-Mineraldüngung über scheinbare Verwertungsraten von 85 – 95 % und organische Dünger von lediglich 50 – 80 % auf.

Tabelle 250: Mittlere Differenzen sowie relative Veränderungen gegenüber ohne Düngung [= 100 %] einiger Merkmale nach stetiger Düngung mit Stalldung, Grüngut, Gülle und N-Mineraldünger im Durchschnitt der Versuchsstandorte

Düngemittel	Düngung Zufuhr	GE-Ertrag Fruchtfolge	N-Entzug	N-Saldo (br.)	P-Saldo	K-Saldo	Legum. N ₂ -Bindung je KG-Jahr	Rohasche Klee-gras	N-Gehalt Getreidearten
	[kg N/ha]	[dt GE/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg P/ha]	[kg K/ha]	[kg N/ha]	[% TM]	[% TM]
Stalldung	+74,9	+6,6 (~111 %)	+9,6 (~109 %)	+67,5	+17,4	+96,8	+6,2 (~103 %)	+0,49 (~105 %)	-0,03 (~99 %)
Grüngut	+73,2	+6,7 (~112 %)	+7,7 (~115 %)	+65,0	+6,4	+62,6	+15,3 (~110 %)	+0,52 (~106 %)	+0,06 (~104 %)
Rindergülle	+78,0	+8,3 (~115 %)	+19,0 (~117 %)	+63,0	+11,7	+37,1	+13,2 (~105 %)	+0,21 (~103 %)	+0,04 (~102 %)
N-Mineraldünger	+95,6	+5,8 (~107 %)	+19,3 (~120 %)	+46,4	-1,0	-7,2	-74,8 (~58 %)	-0,20 (~98 %)	+0,30 (~115 %)
Düngemittel	Rohprotein-Gehalt Weizen	Sedimentationswert Weizen	Nitrat-Gehalt Kartoffeln	TM-Zufuhr	C _{org} -Gehalt Ende	Humusbilanz	N-Mineralisation	N _{min} -Frühjahr	N _{min} -Herbst
	[% TM]	[ml]	[mg/kg TM]	[dt TM/ha]	[% TM]	[kg HÄQ/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]
Stalldung	-0,20 (~100 %)	+3,3 (~109 %)	+93 (~145 %)	+25,9	+0,080 (~109 %)	+269 (~415 %)	+30,0 (~145 %)	+3,6 (~110 %)	+6,4 (~118 %)
Grüngut	+0,20 (~103 %)	+4,4 (~114 %)	+143 (~142 %)	+21,7	+0,035 (~104 %)	+180 (~175 %)	+65,2 (~161 %)	+9,1 (~126 %)	+5,5 (~113 %)
Rindergülle	+0,20 (~102 %)	+6,6 (~121 %)	+42 (~152)	+12,0	+0,026 (~103 %)	+137 (~239 %)	+4,6 (~108 %)	+2,8 (~106 %)	+4,9 (~113 %)
N-Mineraldünger	+1,50 (~112 %)	+22,4 (~175 %)	+592 (~393 %)	+3,1	+0,018 (~102 %)	+87 (~166 %)	+1,5 (~102 %)	+15,3 (~137 %)	+37,3 (~202 %)
Düngemittel	pH-Wert	P _{CAL} -Gehalt	K _{CAL} -Gehalt	P _{DL} -Verlagerung	K _{DL} -Verlagerung	N-Verlagerung	N-Auswaschung	N-Effizienz (ohne N _t -Boden)	N _t -Bodenbilanz
		[mg/100g]	[mg/100g]	[mg/100g]	[mg/100g]	[kg N/ha]	[kg N/ha u. Jahr]	[% Zufuhr = 100 %]	[kg N/ha u. Jahr]
Stalldung	+0,03 (~101 %)	+0,75 (~118 %)	+3,44 (~139 %)	-0,002 (~83 %)	-0,11 (~100%)	+1,0 (~119 %)	+0,56 (~110 %)	-34,5 (~65 %)	+31,8
Grüngut	+0,11 (~103 %)	+1,46 (~130 %)	+1,89 (~119 %)	+0,158 (~113 %)	-0,05 (~105 %)	+3,5 (~176 %)	+1,79 (~206 %)	-14,0 (~69 %)	+28,2
Rindergülle	±0,00 (~100 %)	+0,46 (~109 %)	+0,84 (~110 %)	+0,314 (~146 %)	+0,17 (~107 %)	+5,2 (~135 %)	+2,22 (~161 %)	-29,3 (~70 %)	+27,6
N-Mineraldünger	-0,04 (~99 %)	-0,21 (~95 %)	-1,13 (~88 %)	+0,337 (~142 %)	-0,44 (~94 %)	+22,7 (~392 %)	+10,85 (~573 %)	-20,3 (~75 %)	+18,5

Im Gegensatz zu diesem Trend haben sich jedoch in den Versuchen die ermittelten N_t-Differenzwerte ebenfalls verändert. Dieser Stickstoff wird als zwischenzeitliche Bodenreserve im Humus gespeichert und erst mit der Zeit wieder pflanzenverfügbar. Die ermittelten N_t-Differenzen sind abhängig von der zugeführten organischen Substanz der Düngemittel. So hat der vergleichsweise hohe Anteil an reaktivem Stickstoff aus der N-Mineraldüngung offenbar nur wenig oder gar nicht zur N_t-Anreicherung im Boden beigetragen. Nach

Verrechnung dieser Beträge mit den N-Salden der langfristig getesteten Düngemittel werden korrigierte Gesamt-Effizienzwerte erhalten, die kaum noch Unterschiede zwischen den Düngemitteln aufweisen.

Neuere umfangreiche Ergebnisse aus Dauerfeldversuchen mit 15 – 25 Jahren Laufzeit über die Berechnung von Nährstoffeffizienzen verschiedener verabreichter Düngemittel kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Bei der scheinbar relativ hohen N-Verwertung nach Mineraldüngung und flüssigen organischen Düngemitteln wird z.B. nicht bedacht, dass ein gewisser N-Anteil aus den N_T -Bodenreserven stammt, der bei den berechneten N-Zufuhren nicht enthalten ist. Im Bereich einer gleich hohen Gesamt-N-Zufuhr und Anrechnung der N_T -Bodensalden weisen die Ergebnisse dann keine Unterschiede mehr oder sogar gewisse Vorteile der festen organischen Düngemittel mit geringeren leicht verfügbaren N-Anteilen gegenüber höheren Anteilen, wie z.B. der Gülle und auch der N-Mineraldüngung in der Gesamt-Effizienz auf (SCHRÖDER et al., 2005; KOLBE, 2015b; KOLBE et al., in Vorbereitung).

Bei ungefähr gleich hoher N-Bemessung wurden aber durch die Düngemittel deutlich unterschiedlich hohe Zufuhren an organischer Substanz über die Zeit getätigt. Daher lagen die berechneten Werte in der jährlichen TM-Zufuhr bei den festen organischen Düngern mit 26 dt/ha beim Stalldung und mit 22 dt/ha mit dem Grüngut deutlich über den Werten bei Güllezufuhr oder der N-Mineraldüngung. Somit verwundert es nicht, dass auch die Entwicklung der C_{org} -Gehalte im Boden und der Ergebnisse der Humusbilanzierung im Vergleich zu keiner Düngung zu ähnlichen Abstufungen geführt haben (Tabelle 250).

Im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung sind in allen Düngungsvarianten die Gehalte an Humus und entsprechend auch die Salden der Humusbilanzierung angestiegen. Auf N-Basis bezogen war zudem eine eindeutige Rangfolge zu erkennen. Die höchste zwischenzeitliche Anreicherung erfolgte nach Stalldung, gefolgt mit deutlich geringerer Wirkung durch Grüngut und einer stetigen Verabreichung von Rindergülle. Aber auch die N-Mineraldüngung hat über die erhöhten Ernte- und Wurzelreste noch zu einer geringen C_{org} -Anreicherung beigetragen.

In vielen anderen Versuchen konnten ähnliche Effekte der organischen und mineralischen Düngemittel auf die Humus- und N_T -Gehalte des Bodens ermittelt werden (SCHERER et al., 1988; RICHTER et al., 1997; SCHARF & SCHÖNMEIER, 1997; KOLBE & BECKMANN, 2003; KÖRSCHENS et al., 2012). Weitere Ergebnisse aus entsprechenden Dauerversuchen wurden bei KOLBE (1993) zusammengestellt. Ein Vergleich zwischen sehr unterschiedlichen organischen Düngemitteln und deren Nachwirkungspotenziale wurde von BACHTHALER (1972) auf Humus und Nährstoffgehalte im Boden sowie die Ertragsleistung der Fruchtarten in einem Dauerversuch über 24 Jahre untersucht.

Durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Düngemittel wurde auch Einfluss genommen auf die mit dem Modell CCB berechneten jährlichen Werte in der N-Mineralisation. So konnte für Stalldung mit einem verhältnismäßig hohen Anteil an schwerer verfügbarem Stickstoff eine zusätzliche jährliche N-Mineralisation von 30 kg/ha veranschlagt werden, nach Grüngut sind jedoch deutlich höhere Werte und nach Gülle- und N-Mineraldüngung demgegenüber sehr geringe Werte in der jährlichen N-Mineralisation festzustellen (Tabelle 250).

Nach einschlägigen Tabellenwerken weist auch die organische Substanz des Grüngutes zwar nur eine geringe direkt verfügbare NH_4 -N-Quelle auf, sie ist jedoch durch relativ hohe Werte an leicht mineralisierbarem Stickstoff gekennzeichnet. Demgegenüber weist die Gülle mit Anteilen um 50 % an NH_4 -N über eine hohe direkt verfügbare N-Menge auf, während der verbliebene Rest-Stickstoff nur geringe Mineralisationswerte aufzeigt. Dagegen wurde bei der N-Mineraldüngung keine zusätzliche N-Mineralisation berechnet, da der Stickstoff mit hohen Anteilen in direkt verfügbarer Form vorliegt (ALBERT et al., 2007; MÖLLER & SCHULTHEIB, 2014; KOLBE et al., 2015, 2022).

Die erhaltenen Werte an N-Mineralisation spiegeln diese unterschiedliche Zusammensetzung der untersuchten Düngemittel recht gut wider. In speziellen Bebrütungsversuchen kann so eine verminderte N-Mineralisation von konventionell bewirtschafteten Böden ermittelt werden, die z.B. auf niedrigeren C_{org} -Gehalten mit entsprechend verringerten umsetzbaren Stoffmengen in Verbindung stehen. Dagegen beruhen zum Vergleich auf ökologischen Testflächen die höheren ermittelten Mineralisationswerte auf deren höheren Gehalten an umsetzbarer organischer Substanz. Je nach verabreichten Düngemitteln sind daher auch unterschiedlich lange gedüngte Böden durch ein sehr differenziertes Mineralisations- und Nachwirkungsvermögen gekennzeichnet (BACHTHALER, 1972; SCHERER et al., 1988; FRIEDEL et al., 1997; WHALEN et al., 2001; MEYER & KOLBE, 2021; MÜLLER et al., 2022).

Dieses charakteristische Verhalten im Humusumsatz und in der N-Mineralisation bei stetiger Zuführung von Düngemittel hat sich darüber hinaus auch auf andere untersuchte Bodenmerkmale ausgewirkt. So haben sich die z.T. erheblichen Mengen an ausgebrachter organischer Substanz nicht negativ auf die pH-Werte der Versuchsvarianten ausgewirkt. Die oft noch verbreitete Ansicht über einen negativen Einfluss der organischen Substanz auf die Kalkversorgung kann somit nicht bestätigt werden. Es gibt eher Hinweise auf eine leicht positive Wirkung in Folge organischer Düngung oder Gründüngung z.B. mit Leguminosen auf die pH-Werte des Bodens (BACHTHALER, 1972; RICHTER et al., 1997; KOLBE & BECKMANN, 2003; ZALLER & KÖPKE, 2004; KERSCHBERGER & SCHRÖTER, 2015; SCHUBERT & STEFFENS, 2019).

Für Kalkammonsalpeter wird bekanntlich bereits eine schwache Säurewirkung angenommen (GRUNERT, 2019). Nicht nur in den hier vorgestellten Versuchen wurde demzufolge ebenfalls ein Trend zu abnehmenden pH-Werten nach Verabreichung einer stetigen N-Mineraldüngung ermittelt (Tabelle 250; siehe auch KOLBE & BECKMANN, 2003).

Nach der Ausbringung sind die organischen Düngemittel im Boden von Umsetzungs- und Abbauvorgängen betroffen, deren Nährstoffe je nach Einbindung in die organische Substanz der Dünger einer unterschiedlich schnellen Freisetzung unterliegen. Stickstoff und Phosphat sind pflanzliche Bauelemente, sie werden im Rahmen des Humusumsatzes in ähnlicher Sequenz mineralisiert, während Kalium als Funktionselement nicht in die Zellsubstanz eingebaut ist und deshalb einer wesentlich schnelleren Verfügbarkeit unterliegt (KOLBE & ZIMMER, 2015; KOLBE, 2021). Wie die Ergebnisse zeigen, führen diese Prozesse im Rahmen der Nährstoffdynamik des Bodens schließlich zu einer entsprechenden Anreicherung der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte des Bodens, die mit den üblichen Extraktionsmethoden (DL, CAL, $CaCl_2$) in adäquaten Anteilen erfasst werden können.

Die verabreichte Rindergülle wies an beiden Standorten von den Düngemitteln über die höchsten N-Gehalte auf. Daher ist es nachvollziehbar, dass bei Bemessung auf N-Basis, die P- und K-Gehalte des Bodens mit Werten um 110 % nur verhältnismäßig gering angestiegen sind. Es folgte beim Phosphat die Wirkung des Stallungs, dessen Varianten auf 118 % sowie an Grüngut, dessen Werte im Boden auf 130 % (= 1,46 mg P/100 g) im Vergleich zu keiner Düngung angehoben worden sind. Das Kalium wurde aus dem Grüngut mit 119 % und aus Stallung mit 139 % angereichert, so dass die Bodengehalte um 3,44 mg K/100 g angestiegen sind. Da durch die N-Mineraldüngung nur eine selektive N-Zufuhr erfolgte und auch noch auf Grund der Ertragswirkung ein erhöhter Nährstoffentzug zu berücksichtigen war, sind die Gehalte an Phosphat und Kali im Boden der Versuchsvarianten auf 88 – 95 % des Versorgungsniveaus der nicht gedüngten Varianten abgefallen.

In vielen anderen Dauerversuchen der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft führen organische Düngemittel zu positiven Wirkungen auch auf die löslichen P- und K-Gehalte des Bodens (WERNER et al., 1988; RICHTER et al., 1997; SCHARF & SCHÖNMEIER, 1997; WHALEN & CHANG, 2001; KOLBE & BECKMANN, 2003;

ZALLER & KÖPKE, 2004; OWEN et al., 2008; FARACK et al., 2021). Eine kurze Übersicht über weitere Versuchsergebnisse kann aus KOLBE & KÖHLER (2008) entnommen werden. Nach organischer Düngung kommt es zu einer Stabilisierung von besser löslichen P-Fractionen und zu einer Reduzierung schwerer löslicher Fraktionen auch in Böden mit höheren pH-Werten (SHEN et al., 2014).

Obwohl mit der Gülledüngung verhältnismäßig geringe Mengen an Phosphor und Kalium in den Boden gelangt sind, kam es wahrscheinlich durch die flüssige Verabreichung zu einer deutlicheren Nährstoffverlagerung in den Untergrund (90 – 200 cm) als bei den anderen organischen Düngemitteln. Im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung erfolgte mit 146 % eine relativ hohe P-Verlagerung nach Gülledüngung. Die festen organischen Dünger haben demgegenüber eher im Trend zu einer Reduzierung an Phosphat und Kalium im Untergrund beigetragen. Die Nährstoffanreicherung war in 90 – 200 cm Tiefe offensichtlich in den Marktfruchtssystemen auf dem leichten Standort in Spröda besonders ausgeprägt.

Hervorzuheben sind weiterhin die Varianten, die über eine N-Mineraldüngung zwar zu einer Abnahme der P- und K-Gehalte in der Bodenkrume beigetragen haben. Auf der anderen Seite wurde aber eine auffallend hohe selektive P-Anreicherung im Untergrund festgestellt, die mit 142 % einen ähnlich hohen Umfang wie in den Güllevarianten angenommen hat. Eine sichere Fixierung der Werte ist auf Grund der hohen Streuung und der relativ geringen zu bewertenden Nährstoffmengen aber oft nicht möglich. Nach Untersuchungen von BAUKE et al. (2018) wurde jedoch ein ähnlicher Effekt zwischen der Verlagerung an Stickstoff und Phosphor in Dauerversuchen festgestellt. Auch in anderen Experimenten wird von einer Verlagerung von P und K aus organischen Düngemitteln, wie z.B. der Gülle, berichtet (WERNER et al., 1988; WHALEN & CHANG, 2001; BULL et al., 2018; MERBACH et al., 2019; WANG et al., 2021).

Im Gegensatz hierzu ist eine relativ eindeutige Zuordnung der gemessenen Veränderungen des reaktiven Stickstoffs in der Ackerkrume, im Untergrund und durch Auswaschung möglich. Nach organischer Düngung sind die mittleren N_{\min} -Gehalte im Frühjahr zwischen 2,8 – 9,1 kg N/ha und im Herbst relativ einheitlich um lediglich 4,9 – 6,4 kg N/ha angestiegen (Tabelle 250). Auch die in den Untergrund verlagerten N-Mengen sowie die berechneten Auswaschungsmengen lagen für diese Düngemittel auf niedrigem Niveau. Es ist lediglich ein geringer Anstieg dieser Werte auf 110 – 120 % nach Stalldung und auf 135 – 160 % nach Rindergülle im Vergleich zu keiner Düngung zu verzeichnen. Auch in anderen Untersuchungen wurde von vergleichsweise geringen Verlagerungsmengen an Stickstoff in den Untergrund nach organischer Düngung berichtet (KOLBE & BECKMANN, 2003; ERHART et al., 2007).

Durch die mineralische N-Düngung haben sich die Werte der N-Verlagerung und Auswaschung ganz anders entwickelt. Entsprechend dem relativ günstigen Abschneiden dieser Varianten bei der N-Bilanzierung (siehe dort), sind die N_{\min} -Werte im Frühjahr um 15,3 kg N/ha und im Herbst sogar um 37,3 kg N/ha angestiegen, das waren zwischen 137 – 202 % im Vergleich zu keiner Düngung. Auf Grund dieser erhöhten Werte an reaktivem Stickstoff im Profil bis 90 cm Bodentiefe war auch die verlagerte Menge an Stickstoff mit 22,7 kg N/ha um 392 % höher und die berechnete Auswaschungsmenge mit 10,9 kg N/ha und Jahr sogar auf 573 % im Vergleich zu den Varianten ohne Düngung angestiegen (Tabelle 250). Mit diesen Werten lagen besonders die Herbst- N_{\min} -Werte, die vornehmlich im Winterhalbjahr von einer Verlagerung betroffen sind, zwischen den Varianten mit N-Mineraldüngung um 31 – 32 kg N/ha höher als die mit organischer Düngung. Die zusätzlich verlagerten N-Mengen waren zwischen 18 – 22 kg N/ha sowie die jährlich ausgewaschenen N-Mengen lagen um 9 – 10 kg N/ha höher als nach langjähriger organischer Düngung. Auf dem Sandboden des Standortes in Spröda waren zudem diese ermittelten Werte der Verlagerung und Auswaschung besonders hoch, obwohl ein vergleichsweise niedrigeres Düngungsniveau mit Stickstoff realisiert worden ist.

Auch aus anderen zusammengefassten Untersuchungen können hohe Raten an Verlagerung und Auswaschung nach N-Mineraldüngung abgeleitet werden (KOLBE, 2000; ERHART et al., 2007; THORUP-

KRISTENSEN et al., 2012). In einem weiteren über 20-jährigen Versuch auf anlehmigem Sand in Spröda kam es zu einer auffallend hohen Verlagerung von Stickstoff bis in 300 cm Bodentiefe nach hoher N-Mineraldüngung im Vergleich zu einer extrem hohen organischen Düngung. Die Verluste waren insbesondere in den Varianten, die keine Bewässerung erhalten und deshalb eine deutlich geringere Ertragsleistung erbracht haben, besonders hoch (KOLBE & BECKMANN, 2003).

Es ist auf Grund der deutlich unterschiedlichen Nährstoffverfügbarkeit zwischen den getesteten organischen Düngern sehr bemerkenswert, dass die Herbst- N_{\min} -Werte, die verlagerten und die ausgewaschenen N-Mengen auf einem vergleichsweise sehr niedrigen Niveau gelegen haben. Bei der Mengenbetrachtung ist zudem wichtig, die zu jeder Zeit verfügbare reaktive N-Menge zu bedenken. Diese Mengen liegen offensichtlich bei reinen Systemen mit organischer Düngung auch über eine lange Zeit betrachtet auf einem sehr niedrigen Niveau. Deshalb sind diese organischen Dünger je nach Anwendungsschwerpunkt für den Ökolandbau sehr gut geeignet. Das hat sich auch für das erstmals langfristig getestete Grüngut bewährt, dass heute auch in Form von Transfermulch- bzw. in Cut & Carry-Systemen Verwendung findet (STUMM & KÖPKE, 2015; MAAß et al., 2017).

Sobald eine direkte Düngung mit N-Mineraldüngern in vergleichbarer Höhe erfolgt, steigt der reaktive N-Anteil im Boden bereits im zeitigen Frühjahr und über eine längere Zeit stark an. Die N-Versorgung im zeitigen Frühjahr ist hierbei für das Pflanzenwachstum und eine frühe Ertragsbildung besser gesichert als nach üblicher organischer Düngung. Im weiteren Verlauf des Wachstums kommt es hierdurch dann sowohl zu einer deutlichen Zunahme der N-Gehalte in den pflanzlichen Produkten, was zu einer entsprechenden Erhöhung der Backqualität beim Weizen, aber auch zu hohen Nitratwerten z.B. in Kartoffelknollen beitragen kann.

Da gleichzeitig die N_{\min} -Gehalte im Herbst und daraufhin auch im Untergrund stark ansteigen, wächst die Gefahr von Stickstoffverlusten kontinuierlich an. Bei den durchgeführten Versuchen sind keine Behandlungsvarianten, z.B. durch Verbleib der Koppelprodukte auf den Flächen (Stroh) oder Anbau von Zwischenfrüchten auf Dauer geeignet gewesen, um diese überaus ungünstigen Auswirkungen der N-Mineraldüngung herabsetzen zu können. Auf Grund der verhältnismäßig negativen Ergebnisse kann auch in Zukunft für den Ökolandbau nur von einem Einsatz leicht löslicher mineralischer N-Düngemittel abgeraten werden.

5.2.8 Zusammenfassende Anmerkungen zu den angewendeten Düngemittelarten

Standort und Düngemittelart

Abschließend werden Zusammenhänge zwischen den verwendeten Düngemitteln für einige wichtige Merkmale des Stickstoffs sowie der GE-Erträge zusammenfassend dargestellt. Die Ergebnisse werden getrennt für die beiden Standorte Methau und Spröda ermittelt und diskutiert. In Abbildung 115 wurden sieben Merkmale des Stickstoffs (im Durchschnitt der Steigerungsstufen und der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht) über Bilanzkriterien, die Summe an reaktivem Stickstoff, die N-Mineralisation (ohne Abzüge durch Ausbringungsverluste der Düngemittel) und eine vergleichende Gegenüberstellung zwischen der mit den Ernten abgefahrenen N-Menge und dem GE-Ertrag für die untersuchten Düngemittel Stalldung, Grüngut, Rindergülle und der mineralischen N-Düngung aufgeführt.

Die durchschnittliche N-Zufuhr über die organischen Düngemittel liegt am Ort Methau zwischen 76 kg und 85 kg N/ha und am Ort Spröda mit 62 – 74 kg N/ha zwar auf etwas niedrigerem Niveau. An beiden Orten sind die Werte aber untereinander recht gut vergleichbar. Das trifft auch auf die Höhe der N-Mineraldüngung in Spröda zu, während in Methau mit 120 kg N/ha auf Grund der besseren Bodenverhältnisse eine etwas höhere N-Versorgung verabreicht worden ist.

Da sich diese mineralische N-Versorgung an beiden Orten negativ auf die Leguminosenanteile im Klee gras und auch entsprechend ungünstig auf die N₂-Bindung der Leguminosen ausgewirkt hat, sind die ermittelten Gesamt-N-Zufuhren mit 205 – 228 kg N/ha und Jahr zwischen allen aufgeführten Düngemittelarten recht gut miteinander vergleichbar. Am Standort Spröda waren diese Werte auf niedrigerem Niveau und lagen mit 155 – 168 kg N/ha bei den organischen Düngern sowie mit 143 kg N/ha bei dem N-Mineraldünger insgesamt ebenfalls noch auf einem vergleichbaren Niveau.

Aus den bisher beschriebenen Ergebnissen der Versuche wurde ermittelt, dass sich mit fortschreitender Versuchszeit die durchschnittlichen Erträge der Fruchtarten zwischen den langjährig verwendeten Düngemitteln angeglichen haben. Das trifft besonders für die festen organischen Düngemittel wie den Stalldung zu, dessen direkte Ertragswirkung zunächst verhalten war, während mit den Jahren es durch Anstieg des Humusumsatzes zu einer stetigen Erhöhung der Ertragswirkung gekommen ist. Die Verwendung der Gülle war dagegen durch Ertragsvorteile insbesondere in der ersten Versuchsphase durch ihren höheren Gehalt an direkt verfügbarem Stickstoff gekennzeichnet, während der Humusumsatz im Verlauf der Zeit vergleichsweise geringer anzusetzen war.

Die hier aufgeführten Versuchsdaten stammen hingegen weitgehend aus der zweiten Versuchsphase. Daher sind zwischen den angebauten Fruchtarten der berechneten einheitlichen Fruchtfolge (mit jeweils 33,3 % Klee gras, Getreidearten, Hackfrüchte) keine großen Ertragsunterschiede mehr zu erkennen (Abbildung 115). So liegen die GE-Erträge am Ort Methau mit 82 dt/ha für Stalldung und Grüngut, 83 dt/ha für Gülle und mit 86 dt/ha bei der N-Mineraldüngung auf relativ vergleichbarem Niveau. Am Standort Spröda lagen die GE-Erträge mit 42 dt/ha für die Stalldung- und Grüngut-Varianten und mit 43 dt/ha nach stetiger Güllezufuhr dicht beieinander, während an diesem Ort die Erträge nach N-Mineraldüngung mit 37 dt/ha auf etwas niedrigerem Niveau zu veranschlagen sind.

Nach zusammengefassten Untersuchungen von KOLBE (2007, 2008c) über die Wirkung von Kompost, Stalldung und Gülle nach einmaliger bzw. nach jährlich fortgesetzter Anwendung zu Kartoffeln wurden deutlich unterschiedliche Ertragsentwicklungen festgestellt. Nach einmaliger Anwendung erfolgte folgende bekannte Rangfolge zwischen den Düngemitteln in der Ertragswirkung: Kompost < Stalldung < Gülle. Wurden diese Düngungsregime in Dauerversuchen geprüft, so konnten keine deutlichen Unterschiede mehr zwischen diesen Düngemitteln in der Ertragswirkung gefunden werden. Bei Fortsetzung vergleichbarer Düngeregime mit ähnlich hoher Gesamt-N-Zufuhr dürften nach Erreichen des Humusgleichgewichtes dann kaum noch

Ertragsunterschiede zwischen den verschiedenen organischen Düngemitteln auftreten. Die Erträge gleichen sich auf höherem Niveau dann weitgehend aneinander an, obwohl die Humusgehalte zwischen den Düngervarianten deutliche Unterschiede aufweisen können.

Zu dieser Angleichung des Ertragsniveaus in ökologischen Dauerversuchen könnten die unterschiedlichen Wachstumsbedingungen und N₂-Bindungsverhältnisse der Leguminosenanteile der Fruchtfolgen beigetragen haben (siehe vorheriges Kap.). In Anbausystemen mit festen organischen Düngemitteln und entsprechend geringerem Anteil an reaktivem Stickstoff im Boden kam es auf Dauer zu einer höheren legume N₂-Bindung als bei Düngerarten mit höherem reaktivem N-Anteil, wie bei der Gülle oder der mineralischen N-Düngung. Auch hierdurch könnte es zwischen den Varianten zu einer relativen Ertragsangleichung gekommen sein. In rein konventionellen Dauerversuchen mit entsprechend unterschiedlichen Düngemitteln aber ohne Leguminosenanbau in den Fruchtfolgen sind derartige Angleichungen des Ertragsniveaus oft nicht in dem Ausmaß beobachtet worden (HÜLSBERGEN et al., 1992; ROGASIK et al., 1997; GRUNERT, 2020).

Nach langer Versuchszeit sind zwar keine großen Unterschiede mehr in den Erträgen zu verzeichnen, die N-Aufnahme der Pflanzen richtete sich in den hier geprüften Versuchen jedoch jeweils nach der direkten Verfügbarkeit an Stickstoff. Hierbei sind in der Regel nach Stallunggaben nur verhaltene Werte vorhanden, nach Grüngut und besonders nach Gülle werden etwas höhere Werte an verfügbarem Stickstoff ermittelt. Nach N-Mineraldüngung werden demgegenüber sehr hohe Anteile direkt verfügbarer N-Mengen im Jahr der Düngieranwendung vorgefunden (ALBERT et al., 2007; KOLBE et al., 2022).

Auf Grund dieser Unterschiede kommt es nach Gülle- und N-Mineraldüngung zu einer stärkeren N-Aufnahme, so dass die N-Gehalte dieser Pflanzen auf etwas höherem Niveau liegen. Im Vergleich zur Ertragswirkung steigen somit die hieraus berechneten N-Entzüge der Fruchtarten nach Gülle- und besonders nach N-Mineraldüngung stärker an (Abbildung 115). Nach Stallung ist somit kaum eine N-Anreicherung möglich, nach Grüngut und Gülle war nur eine geringfügig höhere Aufnahme gegeben, während nach N-Mineraldüngung eine deutlich forcierte N-Aufnahme im Vergleich zur Ertragswirkung ermöglicht wurde.

Zusammengefasste Versuchsergebnisse von KOLBE (2007) erbrachten hierzu folgende Rangfolge der Steigerung der N-Gehalte in Kartoffelknollen durch stetige Anwendung verschiedener organischer Düngemittel: Kompost < Stallung < Gülle < organische Handelsdüngemittel. Die Gehalte an Phosphor konnten dagegen kaum beeinflusst werden, während von allen Düngerarten über eine gute Verfügbarkeit des Kaliums die K-Gehalte in den Knollen z.T. deutlich angehoben werden konnten.

Auf Grund der geschilderten Wirkungen der N-Mineraldüngung auf die N-Gehalte, die berechneten N-Entzüge sowie auch auf den Vitalitätsabfall durch Krankheit und verringerte Standfestigkeit, der zu negativen Ertragswirkungen im Getreideanbau geführt hat, sind die relativen Abstände zwischen den N-Abfuhrungen und den GE-Erträgen im Vergleich zu den organischen Düngemitteln an beiden Versuchsorten besonders groß ausgefallen (Abbildung 115).

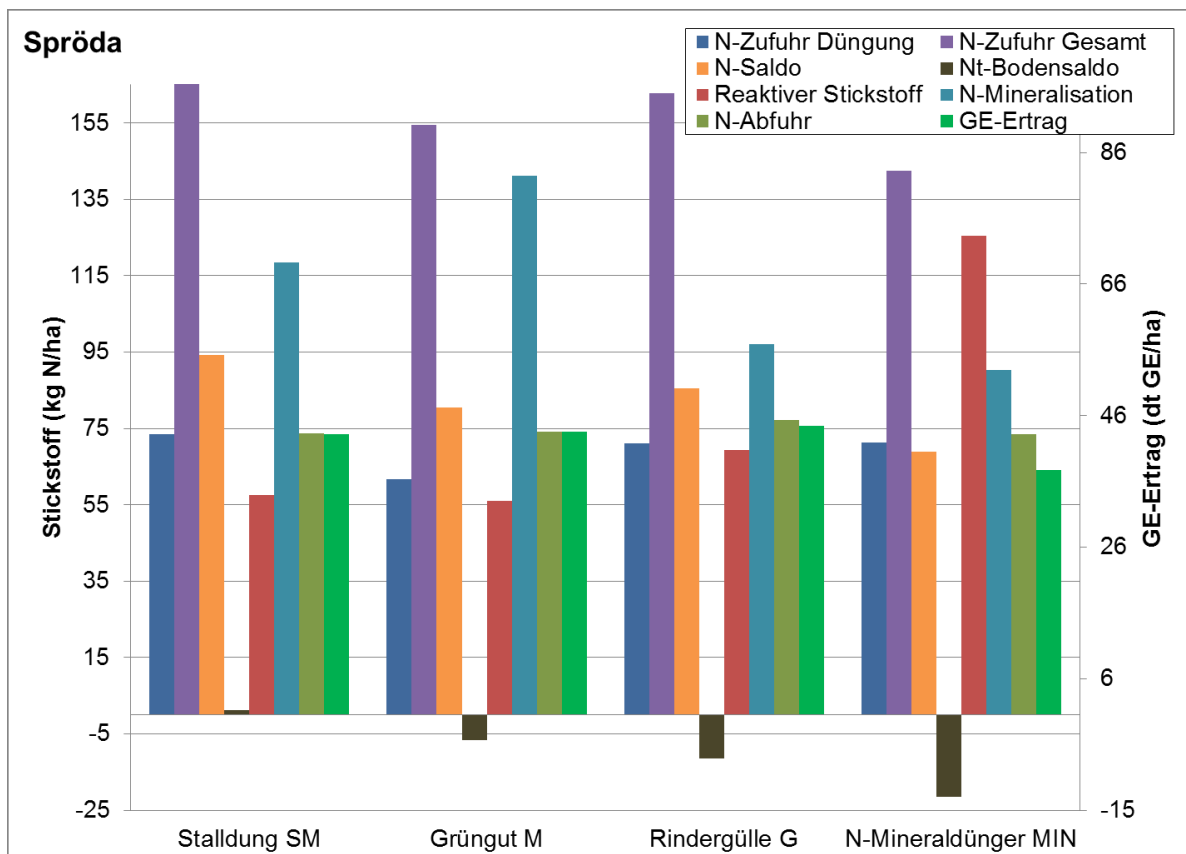
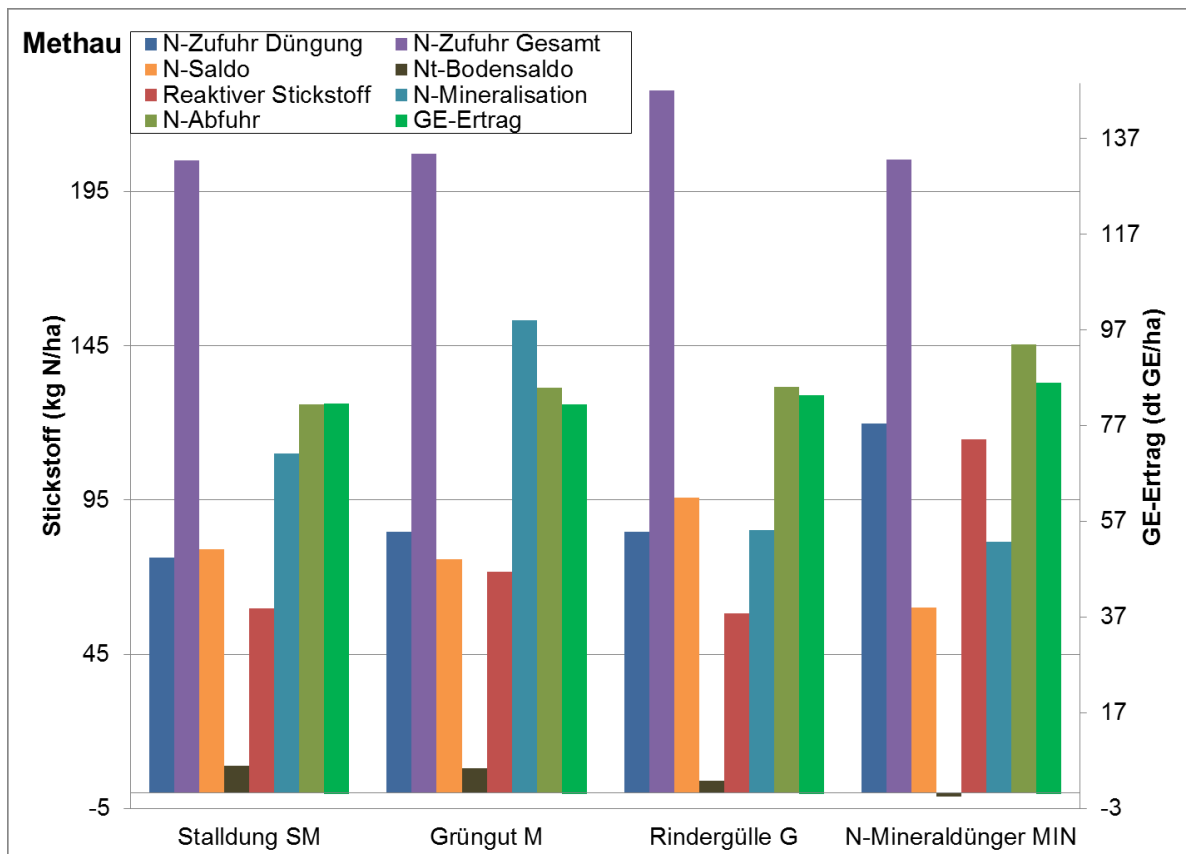


Abbildung 115: Vergleich von einigen Bilanzkriterien, der Mineralisation und dem reaktiven Stickstoff sowie dem GE-Ertrag zwischen den langjährig angewendeten Düngemittelarten am Anbauort Methau (oben) und Spröda (unten)

Neben dem direkt verfügbaren Stickstoff aus den N_{\min} -Vorräten des Bodens und der NH_4 -N-Freisetzung aus den Düngemitteln im Anwendungsjahr wird die Ertragsbildung der Fruchtarten im Ökolandbau insbesondere durch die Höhe der jährlichen N-Mineralisation abgedeckt. Der Umfang an Mineralisation wird aus dem Abbau langjährig dem Boden zugefügter organischer Substanz über Düngung, Gründüngung, Ernte- und Wurzelreste sowie den alten Reserven des umsetzbaren Humusanteils gespeist.

Wie aus der Höhe der N-Mineralisation am Ort Methau zu erkennen ist, wird die Ertragsbildung im Wesentlichen bereits aus diesem Mineralisationsumfang abgedeckt, was besonders für die festen organischen Dünger zutrifft (Abbildung 115). Hiervon weist das Grüngut an beiden Orten die höchsten Werte an N-Mineralisation auf, da es anders als der Stalldung über einen hohen Anteil an leicht umsetzbarer organischer Substanz verfügt. Aus den Ergebnissen wird die große Bedeutung der N-Mineralisation für den Ökolandbau sichtbar. Andere Quellen tragen zusätzlich zur Ertragsbildung bei, ihnen kommt aber oft nur eine ergänzende Bedeutung zu.

Im Vergleich zu den festen organischen Düngern wurde nach stetiger Güllezufuhr und noch stärker nach N-Mineraldüngung eine weitaus geringere N-Mineralisation für beide Versuchsorte berechnet. Wie an den Ergebnissen am Ort Methau hierzu weiterhin sichtbar wird, sind bei diesen Düngern die direkt verfügbaren N-Quellen von größerer Bedeutung. So weist die Rindergülle auch aus dem Ökolandbau bekanntlich über einen pflanzenverfügbaren NH_4 -N-Anteil von 40 – 60 % auf. Bei dem eingesetzten Kalkammonsalpeter kann ein wirksamer Anteil von annähernd 100 % angesetzt werden.

Werden diese verfügbaren Stickstoffquellen im Rahmen einer Düngebedarfsermittlung addiert, so kann aus den getätigten umfangreichen Kalkulationen angenommen werden, dass in der Regel die N-Aufnahme der Fruchtarten zur Abdeckung der Ertragsbildung für jedes untersuchte Düngemittel ausgereicht hat. Diese generelle Übereinstimmung kann auch aus den abgebildeten Werten der N-Mineralisation und den veranschlagten N-Mengen im Jahr der Anwendung aus der N-Zufuhr dieser Düngemittel abgelesen werden (Abbildung 115).

Auf dem Sandstandort in Spröda sind im Gegensatz hierzu noch andere begrenzende Faktoren zu berücksichtigen. Auf Grund der berechneten Höhe der N-Mineralisation (von der jedoch noch gewisse Abzüge durch Verluste z.B. bei der Düngerausbringung in Anrechnung zu stellen sind) und den weiteren verfügbaren N-Quellen, hätten die Nährstoffsummen an diesem Ort für ein z.T. deutlich höheres Ertragsniveau ausgereicht. Neben den ungünstigeren Bedingungen eines leichten Sandbodens war hierfür im Wesentlichen ein Wassermangel verantwortlich. Am Ort Spröda wurden im Durchschnitt der Versuchszeit 436 mm Niederschlag je Jahr (291 mm von April – September) gemessen. Am Ort Methau waren es auf dem tiefgründigen Lösslehm 686 mm bzw. 398 mm Niederschlag (siehe Tabelle 2).

Als weiteres Kennzeichen für eine nicht ausreichende Ertragsbildung in Folge von Wassermangel oder auch von anderen Faktoren, wie z.B. Mängel in der Versorgung mit Grundnährstoffen, sind auch in den eigenen Versuchen z.B. die erhöhten N_{\min} -Werte nach der Ernte am Ort Spröda anzusehen. Außerdem zählen hierzu noch die hohen N-Salden und eine verringerte Nährstoffeffizienz an diesem Versuchsort. Durch den Standortvergleich der Bilanzkriterien sowie der aufgeführten reaktiven N-Anteile kann die verringerte N-Effizienz in Spröda sehr genau nachvollzogen werden (Abbildung 115). So liegen zwar diese Beträge zwischen beiden Orten in etwa auf gleich hohem Niveau. Jedoch sind die Werte für die Düngerezufuhr, Gesamt-N-Zufuhr und die N-Abfuhr am Ort Methau bei allen Düngemitteln z.T. deutlich höher. Durch diese Unterschiede wird am Ort Methau in etwa eine um 13 – 14 % höhere Nährstoffeffizienz realisiert.

Entsprechend dem Minimumgesetz kann zudem am Versuchsort Methau eine Beeinträchtigung der Nährstoffeffizienz weitgehend ausgeschlossen werden, da neben den pH-Werten die jedoch bereits bis auf die

Klasse B abgefallen waren, alle Nährstoffe mindestens in einer optimalen Versorgungsklasse vorgelegen haben. Auf dem leichten Standort in Spröda wurde jedoch, neben Begrenzungen bei den pH-Werten, insbesondere eine starke Verringerung der Mg-Gehalte des Bodens teilweise bis auf Klasse A festgestellt. Hierbei werden ohne zukünftige Mg-Zuführen negative Ertragsreaktionen zu verzeichnen sein.

Untersuchungen auf dem Gladbacherhof kommen bei einer Tierhaltung von etwa 1,1 – 1,4 GV/ha zu ähnlichen Ergebnissen bei Betrachtung der erlangten Nährstoffsalden und der -effizienzen (SOMMER, 2010; SOMMER et al., 2011). Bereits bei diesem Intensitätsniveau wurden in den meisten Futterbaufruchtfolgen mit 37,5 % Leguminosen in der dritten Untersuchungsphase (Jahr 2005) bereits N-Salden von 75 kg N/ha, deutlich positive P-Salden um +15 kg/ha und K-Salden um +55 kg/ha berechnet. Diese verhältnismäßig hohen Werte sind durch die im Laufe der Zeit stetig abfallenden Erträge und die damit zusammenhängenden niedrigen Nährstoffentzüge durch die angebauten Fruchtarten zu erklären, die auf Grund anderer langjähriger Mängel im Nährstoffmanagement des Bodens (u.a. Schwefel, Phosphor, Kalium, pH-Wert; REEB, 2004; RIFFEL et al., 2015) erklärt werden können.

Es wird an diesem Beispiel deutlich, dass auch in Folge einer steigenden Intensität der organischen Düngung auf alle wichtigen Merkmale zu achten ist, dass sie entsprechend dem Minimumgesetz für die Ertragsbildung im Optimum verbleiben. In Phasen starker Aufdüngung, z.B. in Folge Aufstockungen in der Tierhaltung, kann es zudem durch den Anstieg der Humusgehalte zwischenzeitlich zu einer Nährstofffestlegung kommen. Wie die Ergebnisse zeigen, spielen diese Zusammenhänge um die Beachtung von Ertragsausfällen auf Grund von Mängeln in der chemischen Bodenfruchtbarkeit nicht nur im Versuchswesen, sondern auch in der landwirtschaftlichen Praxis des Ökolandbaus eine zunehmend bedeutende Rolle (siehe MEYER et al., 2021b; KOLBE & MEYER, 2021).

Wie weiter aus den hier präsentierten Ergebnissen zur N-Mineralisation entnommen werden kann, ist bei den verhältnismäßig niedrigen Werten in der N-Mineralisation bei der Rindergülle und besonders in Folge der N-Mineraldüngung außerdem zu bedenken, dass ein Teil dieser Werte auf einem Nettoabbau des im Humus enthaltenen Stickstoffs beruht, was besonders für den Standort Spröda zutrifft (Abbildung 115). So wurden in den Güllevarianten jedes Jahr 11 kg N/ha und bei N-Mineraldüngung sogar 22 kg N/ha aus dem N_T -Bodenfond freigesetzt. Die Werte an N-Mineralisation dieser Varianten bestehen also am Ort Spröda teilweise auf einer Abnahme der Humusqualität, so dass auch die C/N-Verhältnisse im Boden sich entsprechend verändert haben.

Besonders in den Varianten, die kontinuierlich mit organischem Material der festen Düngemittel versorgt worden sind, erfolgte trotz der hohen Werte an N-Mineralisation eine Nettoanreicherung an Stickstoff im Boden, die am Standort Methau mit 8 – 9 kg N/ha und Jahr veranschlagt werden konnte. Zur Bewertung der erhaltenen N-Brutto-Salden sollten diese Werte in der Änderung der N_T -Gehalte der Böden zunächst verrechnet werden: Addition negativer N_T -Salden und Subtraktion positiver Werte.

Bei Gegenüberstellung dieser korrigierten N-Brutto-Salden mit den ermittelten Summen aus N_{min} -Mengen im Herbst sowie im Bodenprofil bis auf 200 cm Tiefe inklusive der veranschlagten N-Auswaschungsmengen (= reaktiver Stickstoff; Abbildung 115) besteht eine relativ gute Übereinstimmung bei den organischen Düngemitteln am Ort Methau. Am Ort Spröda liegen jedoch die Werte der N-Salden etwas höher als die des reaktiven Stickstoffs. Zu bedenken ist hierbei jedoch, dass der rezyklierte N-Anteil durch das Klee-gras-Mulchen in den Salden noch enthalten ist. Unter Beachtung dieser Hinweise besteht somit auch nach dieser Zusammenstellung bei den organischen Düngemitteln in der Größenordnung eine recht gute Übereinstimmung zwischen den erhaltenen Brutto-Salden und der Summe an reaktivem Stickstoff im Boden.

Bei den mit N-Mineraldüngern versorgten Varianten liegen jedoch die Werte der korrigierten N-Salden in Spröda um ca. 34 kg N/ha und in Methau um sogar 54 kg N/ha niedriger als die veranschlagten Summen des reaktiven Stickstoffs. Mit diesen Ergebnissen wird deutlich, dass offensichtlich die N-Salden nicht die gesamte Summe an reaktivem Stickstoff widerspiegeln, offenbar liegen diese N-Anteile, die besonders durch Verluste über den Winter, Verlagerung, Auswaschung und für die klimaschädlichen Spurengase (N_2O) verantwortlich sind, um 25 – 50 % über den auf übliche Weise ermittelten N-Brutto-Salden. N-Mineraldüngung ist daher im Vergleich zu den organischen Düngemitteln durch ein außerordentlich höheres Verlustpotenzial gekennzeichnet, das zusammenfassend auf folgende Ursachen zurückgeführt werden kann:

- hoher Anteil an direkt verfügbarem reaktivem Stickstoff in der Gesamt-N-Menge
- deutliche Verschiebung der NO_3-N/NH_4-N -Relation in den N_{min} -Mengen nach der Ernte und im Tiefenprofil zu Gunsten der Nitrat-Fraktion, die durch eine hohe Beweglichkeit zur Verlagerung und Auswaschung gekennzeichnet ist
- durch Verringerung des Leguminosen-Anteils im periodisch angebauten Klee-grasgemenge um ca. 40 %-Anteile erfolgt zwar eine Reduktion der N_2 -Bindung. Es ist aber auch eine deutliche Abnahme an tief wurzelnden Pflanzenarten eingetreten, wodurch das Nährstoff-Mobilisierungspotenzial aus dem Untergrund entsprechend verringert worden ist (siehe KAUTZ et al., 2013).

Auch in anderen Untersuchungen deutet sich in ökologischen Anbausystemen eine relative Abnahme des NO_3-N -Anteils in der N_{min} -Fraktion an, besonders auch in tieferen Bodenschichten (KOLBE et al., 1999; KWIATKOWSKI & HARASIM, 2020). Die Nitratenahme aus dem Untergrund ist offensichtlich abhängig vom Anbauumfang und der Anbaudauer an tiefwurzelnden Pflanzenarten, wie z.B. der Luzerne (SCHELLER et al., 1995). Hierbei betragen die Durchwurzelungstiefen bei Luzerne bis 200 cm, Rotklee bis 150 cm und die in den Versuchen verwendeten Grasarten (Wiesenschwingel, Wiesenlieschgras, Deutsches Weidelgras) ungefähr bis 90 cm Bodentiefe (KOLBE et al., 2006). Der periodische Anbau von den besonders tiefwurzelnden Futterleguminosen mit möglichst hohen Bestandsanteilen erscheint, obwohl sie selbst über die N_2 -Bindung zur N-Versorgung beitragen, als eine Art genereller Rückversicherung dafür zu sein, dass die Verlagerung und Auswaschungsverluste an Nährstoffen auf einem sehr niedrigen Niveau gehalten werden können.

In Feldgemüse-Fruchtfolgen mit Untersaaten an Leguminosengras und anderen Varianten des Ökolandbaus, in denen besonders im Herbst und Winter mit Zwischenfrüchten eine Begrünung vorgenommen wurde, kam es über Tiefwurzler zu einer bedeutenden Reduktion an Stickstoff im Untergrund bis auf ca. 250 cm Bodentiefe, während die konventionelle Variante mit z.T. hoher N-Mineraldüngung aber ohne Begrünung zu einem verringerten Tiefenwachstum auch der Hauptfrüchte und hohen N-Gehalten im Untergrund beigetragen hat (THORUP-KRISTENSEN, 2002; THORUP-KRISTENSEN et al., 2012). Da die ökologischen Varianten in diesen Versuchen aber offensichtlich unter zu geringer Nährstoffversorgung gelitten haben, kann für das forcierte Tiefenwachstum an Pflanzenwurzeln auch eine gewisse Mangelversorgung zusätzlich beigetragen haben. Ökologische Bewirtschaftung führt jedoch oft zu einer Erhöhung der Bewurzelung besonders der tieferen Bodenschichten (CHIRINDA et al., 2012).

Als eindeutiges Ergebnis kann abschließend festgehalten werden, dass die N-Mineraldüngung im Ökolandbau aus den vielen aufgeführten Gründen kein zu empfehlendes Düngemittel darstellt. Im Vergleich zu dem höheren Anteil an reaktivem Stickstoff könnte sogar im Rahmen einer gezielten Intensivierung ein deutlich höheres Niveau an organischer Düngung mit entsprechender Ertragswirkung angestrebt werden bis ein vergleichbares Niveau an reaktivem Stickstoff erreicht wird. Im Vergleich zum reaktiven N-Anteil könnte somit im beschränkten Umfang ein höheres Ertragsniveau besser über eine Intensivierung der organischen Düngung als durch Anwendung der N-Mineraldüngung realisiert werden. Im Rahmen einer nachhaltigen Intensivierung des Ökolandbaus ist die Anwendung der N-Mineraldüngung somit kein geeignetes Mittel (KÜHLING et al., 2015; MEEMKEN & QAIM, 2018).

Anbausystem und Düngemittelart

Abschließend wurde der Frage nachgegangen, wie die unterschiedlich ausgerichteten Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht in den aufgeführten Versuchen auf diesen N-betonten Merkmalskomplex eingewirkt haben und ob es relevante Wechselwirkungen zwischen Anbausystem und Düngerart gegeben hat. Hierzu wurden zusammenfassend Mittelwerte dieser Merkmale für die recht gut dokumentierten Düngerarten Stalldung und N-Mineraldünger sowie den Varianten Ohne Düngung zunächst jeweils für die beiden Anbausysteme getrennt erfasst. Anschließend wurden die ermittelten Differenzen (Marktfrucht minus Futterbau) berechnet und graphisch dargestellt (Abbildung 116).

Im Gegensatz zum Futterbau wurden in den Varianten des Marktfruchtsystems alle Koppelprodukte als Stroh und die Kleeerasaufwüchse durch Mulchen auf den Versuchsflächen belassen. Hierdurch wurde eine zusätzliche Menge an Trockenmasse zwischen 52 – 56 dt TM/ha und Jahr auf den Marktfruchtflächen eingebracht, die im Durchschnitt der gesamten Varianten zu verbesserten Werten in den Nährstoff- und Humussalden, zu höheren Gehalten an löslichen Grundnährstoffen im Boden und zu einer deutlich höheren N-Mineralisation geführt haben, während auf der anderen Seite aber auch geringfügige Ertragsverluste und deutlich reduzierte N-Abfuhr zu verzeichnen waren (Abbildung 116).

Zu den um ca. 11 – 18 kg verringerten N-Gesamtzufuhren haben neben der etwas geringeren N-Zufuhr über die Düngung vor allem eine zwischen 17 – 33 kg N/ha niedrigere N_2 -Bindung der Leguminosen beigetragen, obwohl der Leguminosenanteil im Kleeerasgemenge in der Tendenz auf den Marktfruchtflächen im Durchschnitt der Versuche um 6 % höher lag. Die abgebildeten Differenzwerte in den N-Salden wurden um die Rezyklierungsanteile über das wiederholte Kleeerasmulchen um ca. 50 kg N/ha reduziert und als korrigierte N-Bruttosalden in Abbildung 116 ebenfalls aufgeführt.

Auf diese Weise wurden positive Differenzen für die Marktfruchtflächen in den N-Salden zwischen 23 kg N/ha in den Varianten ohne Düngung und 31 kg N/ha nach N-Mineraldüngung berechnet. Neben den allgemein verbesserten Kennziffern der Bodenfruchtbarkeit und höheren C_{org} -Gehalten wurden auch positive Differenzen in den N_T -Werten des Bodens ermittelt, die mit 12 – 23 kg N/ha und Jahr in guter Übereinstimmung mit den ermittelten N-Salden stehen. Das trifft in noch höherer Übereinstimmung zu, wenn man für das Mulchen der Kleeerasaufwüchse zusätzlich die N-Verluste durch Ammoniakausgasung von ca. 10 kg N/ha und Jahr in Anrechnung stellt.

Nach Untersuchungen von HEUWINKEL et al. (2005) liegen die Ammoniakverluste nach Mulchen auf gleichem hohem Niveau. Die legume N_2 -Bindung wurde hierbei um 114 kg N/ha (= -36 %) und der Leguminosenanteil im Kleeeras von 73 % auf 58 % reduziert. LOGES et al. (1999) kommen bei verschiedenen Futterleguminosen-Gras-Gemengen zu ähnlichen Ergebnissen. Nach eigenen Beobachtungen wurden auch große Mulchmengen in der Regel bereits in kurzen Zeitspannen von ungefähr 30 Tagen nach Verbringung z.T. durch nächtliche Regenwurmaktivitäten von der Bodenoberfläche entfernt und zur Mineralisation in den Boden eingezogen. Die Ammoniakverluste entstehen also nur in einer relativ kurzen Zeitspanne.

Nach Untersuchungen von SMITH & SHARPLEY (1990) und RILEY et al. (2003) sind in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis des Materials bis zum Spätherbst dann ca. 20 – 50 % der enthaltenen Nährstoffe an N, P und K von den nachwachsenden Pflanzen aufgenommen oder in löslicher Form im Boden vorgefunden worden. Durch Mulchdüngung alleine, auch als Cut & Carry-System, wurden z.T. deutliche Ertragssteigerungen bei den angebauten Fruchtarten beobachtet.

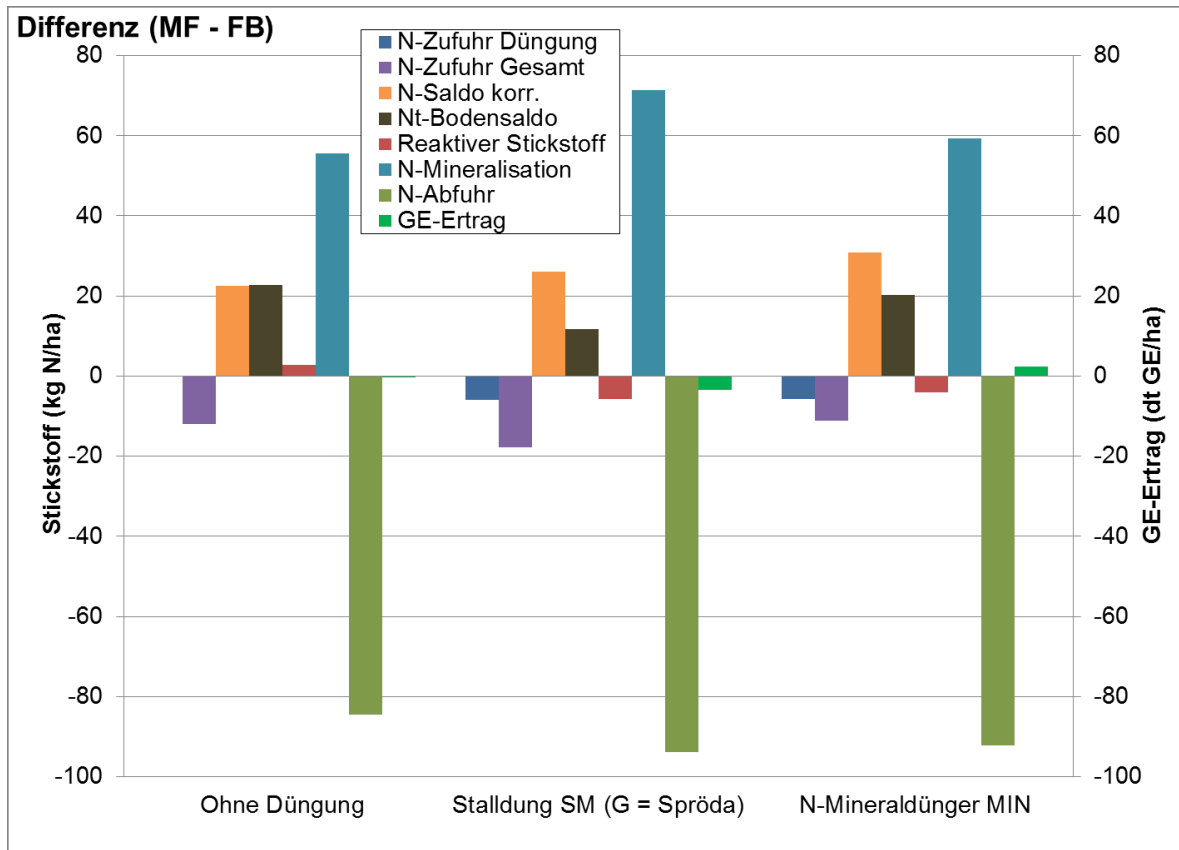


Abbildung 116: Absolute Differenzwerte von einigen Bilanzkriterien, der Mineralisation und dem reaktiven Stickstoff sowie dem GE-Ertrag zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht [Werte Marktfrucht minus Werte Futterbau] für die langjährig angewendeten Düngervarianten Ohne Düngung, Stallung und N-Mineraldünger im Durchschnitt der Anbauorte Methau und Spröda

Aus den eigenen Versuchen kann somit die Schlussfolgerung getroffen werden, dass der über die Trockenmasse zusätzlich eingetragene Stickstoff auf den Marktfruchtflächen weitgehend als Humus- und N-Gehalte im Boden verblieben ist. Durch diese Vorgänge haben sich die Summen an reaktivem Stickstoff im Boden zwischen den Systemen Futterbau und Marktfrucht kaum verändert. Bei Verwendung der Varianten ohne Düngung als Vergleichsbasis wurden durch die stetige Stallungapplikation die reaktiven N-Mengen um 8,4 kg N/ha und Jahr im Vergleich zu den Futterbauvarianten verringert (= -15,1 %). Die überaus hohen Werte in den Varianten der N-Mineraldüngung wurden lediglich um 6,8 kg N/ha und Jahr reduziert (= -5,8 %).

Bei Betrachtung langer Zeiträume kann daher die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der reaktive Anteil an Stickstoff zwar durch die Wahl des Düngemittels entscheidend beeinflusst werden kann. Alle geprüften organischen Düngemittel führten zu relativ geringen Anteilen an reaktivem Stickstoff im Boden. Die N-Mineraldüngung in Form von Kalkammonsalpeter hat demgegenüber eine deutlich höhere Menge an reaktivem Stickstoff (gemessen als N_{\min} -Mengen im Herbst nach der Ernte, im Tiefenprofil und als Verlustgröße durch Auswaschung) zu Folge. Diese Anteile an reaktivem Stickstoff können jedoch durch Zufuhr auch hoher TM-Mengen z.B. in Folge zusätzlicher Maßnahmen der Strohdüngung und der Belassung der Klee-gras-aufwüchse auf den Flächen nur geringfügig verringert werden (siehe POMMER & BACHTHALER, 1978; SCHUSTER & KOLBE, 2015).

Die ausgewiesenen deutlich höheren Differenzbeträge der N-Mineralisation zwischen den Systemen Futterbau und Marktfrucht sind durch die wiederholten Mulchvorgänge im Klee-gras-glied der Fruchtfolgen sicherlich in der aufgeführten Summe in den Versuchen so angefallen (Abbildung 116). Es ist aber zu

bedenken, dass diese berechneten Werte auf einem erheblichen Anteil an jeweils z.T. mehrfach rezykliertem Stickstoff beruhen. Im Rahmen von Maßnahmen der Düngebedarfsermittlung müssten diese Werte kritisch hinterfragt und ggf. entsprechend experimenteller Überprüfungen korrigiert werden.

Als Schlussfolgerung aus den Versuchsergebnissen und der Diskussion kann folgende Rangfolge für die relative Verfügbarkeit des Nährstoffs Stickstoff für das pflanzliche Wachstum und die Qualität manifestiert werden: N-Mineraldünger > Leguminosenanteil Fruchtfolge > Grüngut > Rindergülle > MF: Stroh + Klee gras-Mulch > Stalldung. Obwohl nach langjähriger Anwendung ein ähnlich hohes Ertragsniveau erzielt werden kann, gibt es Unterschiede sowohl bei den N-haltigen Inhaltsstoffen der Pflanzenarten und auch bei den pflanzenverfügbaren N-Gehalten des Bodens (N_{\min}). Die N-Verfügbarkeit ist auch von der mit dem Stickstoff zugefügten TM-Menge und deren Zusammensetzung (C/N-Verhältnisse) abhängig. Auf die anderen löslichen Gehalte an Nährstoffen hat sich die Düngung folgendermaßen ausgewirkt (- = Abfall):

- P_{DL} : Grüngut > Stalldung > Rindergülle
- K_{DL} : Stalldung > Grüngut > Rindergülle
- Mg_{CaCl_2} : Stalldung > Grüngut > Rindergülle (-)
- S_{\min} : Stalldung > Rindergülle (-) > Grüngut (-).

Für die Grundnährstoffe sind Stalldung und Grüngut gut geeignet, um deren Verfügbarkeit im Boden zu erhöhen. Die Gehalte an S_{\min} konnten durch die organische Düngung nur geringfügig verbessert werden, Dies gilt auch für die Verfügbarkeit von Cu, Mn und Zn. Nach Rindergülle, Grüngut und in den MF-Varianten war sogar eine Verringerung der S-Verfügbarkeit eingetreten. Nach Untersuchungen von SCHERER & WELP (2008) und FÖRSTER (2013) wurden ebenfalls z.T. niedrigere Werte in der S-Verfügbarkeit nach organischer Düngung ermittelt. Das Verhältnis zwischen leicht löslichen Anteilen und dem Gesamt-S-Gehalt verschiebt sich so, dass weniger Verlagerung und Auswaschung an Schwefel erfolgt. Der Humusumsatz geschieht im Prinzip wie beim Stickstoff, nur wird Schwefel verzögert durch die Mineralisation freigesetzt. Oft kommt es zu einer S-Sperre im Boden, besonders wenn die zugefügten Düngemittel niedrige S-Gehalte bzw. über ein weites C/S-Verhältnis aufweisen.

6 Zusammenfassung

Zielsetzung dieser experimentellen Untersuchungen war eine komplexe Prüfung von Anbau- und Düngungsverfahren zur Optimierung von ökologischen landwirtschaftlichen Anbausystemen mit unterschiedlich hohem Tierbesatz unter den klimatischen Bedingungen von Ostdeutschland vorzunehmen. Hierzu wurden ab dem Jahr 1992 zwei umfangreiche Dauerfeldversuche mit nachfolgenden Einflussfaktoren angelegt:

- Standorte in Westsachsen: Spröda (Sandboden, SI, Ackerzahl 30) Regenschatten des Harzes, 120 m NN, Niederschlag: 547 mm, Temperatur: 8,8 °C; Methau (Lößboden aus L, Ackerzahl 63) Mitteldeutsches Berg- und Hügelklima, 265 m NN, Niederschlag: 693 mm, Temperatur: 8,4 °C.
- Anbausysteme und Betriebsformen: Marktfruchtbau (Leguminosenaufwüchse werden gemulcht, Koppelprodukte verbleiben auf dem Acker), Futterbau (Leguminosenaufwüchse und Koppelprodukte werden vom Feld abgefahren), ca. 6jährige Fruchtfolgen mit 33 – 50 % Klee gras, 25 – 33 % Getreide (S.- u. W.-Weizen, Triticale), 21 – 33 % Hackfrüchte (Mais, Kartoffeln) und 7 – 17 % Zwischenfrüchte.
- Düngemittelarten und -höhe: Stallmist (Jauche), Grüngut (Mulch) aus Leguminosengras, Rindergülle; organische Düngung mit 0 – 2 Dungeinheiten je Hektar und Jahr in vier Stufen: ca. 0 – 125 kg N/ha (Gesamt-N: ca. 95 – 275 kg N/ha); N-Mineraldüngung (kleiner Versuchsumfang): 70 – 125 kg N/ha Kalkammonsalpeter (Gesamt-N: ca. 140 – 215 kg N/ha und Jahr).

Zwischenauswertungen erfolgten aus der ersten Versuchsphase bis zum Jahr 1999 über die Ertrags- und Qualitätsleistungen sowie verschiedener Effizienz Kennzahlen der Ackerbausysteme von BECKMANN et al. (2001), über die Entwicklung und Dynamik der N_{\min} -Gehalte und gasförmigen Emissionen (N_2O , NH_3-N , CH_4 , CO_2) sowie Hinweise zur Entwicklung optimaler Anbausysteme von BECKMANN et al. (2002) und MODEL (2003).

Zielsetzung dieser experimentellen Untersuchungen war es, im Vergleich zu den geprüften Formen und der Intensität der Landbewirtschaftung, neben den Erträgen, der Qualität der Ernteprodukte und der Bodenfruchtbarkeit, auch die Bedeutung und den Umfang an Umweltwirkungen (Nährstoff-Bilanz, -Effizienz Kennzahlen, -Verlagerung) aufzuzeigen und zu beschreiben. Es wurden Rückschlüsse für eine optimale Ausgestaltung ökologischer Anbauverfahren in ihren kurzfristigen und langfristigen Auswirkungen auf Boden, Pflanze und Atmosphäre abgeleitet. Auf nachfolgend genannte Einflussfaktoren wurde dabei besonderes Augenmerk gelegt.

In der vorliegenden Arbeit wurden mit Schwerpunkt auf die zweite Versuchsphase (Spröda bis 2005, Methau bis 2007) eine Gesamtauswertung der Dauerversuche über die langfristigen Wirkungen von Standort, Anbausystem und Düngung auf ein Spektrum von über 80 Merkmalen der Entwicklung der Erträge und Qualität der Fruchtarten und der Fruchtfolgen, Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit der Ackerkrume und im Bodenprofil bis 2 m Tiefe sowie bestimmten Umweltwirkungen vorgenommen. Die Dokumentation dieses hohen Umfangs an Merkmalen soll zum Eigenstudium anregen.

Die Versuche haben eine Darstellung der Ergebnisse über ein weites Spektrum an Anbauverfahren ermöglicht, die z.T. auch über das übliche Maß des Ökolandbaus hinausgehen. Das Intensitätsniveau reichte von einer relativ niedrigen Nährstoffversorgung in den viehlosen Marktfruchtvarianten ohne Düngung bis zu einer sehr hohen Nährstoffversorgung in den intensiven Futterbauvarianten. Hierdurch konnten sowohl die vielfältigen Möglichkeiten als auch die Grenzen der Intensivierung in diesen Anbauverfahren untersucht und aufgezeigt werden.

FM-Erträge

Das durchschnittliche HP-Ertragsniveau der angebauten Fruchtarten lag am Ort Methau auf dem fruchtbaren Lößboden deutlich höher als auf dem zu häufiger Vorsommertrockenheit neigenden Sandstandort Spröda auf folgendem Niveau (dt FM/ha):

Versuchsort:	Methau	Spröda
■ Klee gras	454 – 492	334 – 360
■ Getreidearten	39 – 62	20 – 39
■ Silomais	416 – 512	193 – 200
■ Kartoffeln	347 – 468	183 – 255.

GE-Erträge

Die langjährig aufgebrauchten Düngemittel hatten einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklung des Ertragsniveaus der Fruchtarten. An beiden Versuchsorten erfolgte der größte Ertragsanstieg mit genau 111 % jeweils zwischen 0 DE und 0,5 DE/ha organischer Düngung. Eine Verdopplung auf ca. 1 DE, sowie eine nochmalige Verdopplung hatten nach diesen Ergebnissen deutlich geringere Ertragszunahmen zur Folge, so dass der abnehmende Ertragszuwachs in Folge der Intensitätsstufen deutlich zu erkennen war. Mit einer Zufuhr von 2 DE/ha wurde an beiden Orten in etwa das Ertragsmaximum erreicht.

Im Vergleich zu keiner Düngung (= 100 %) hatte der Ertragszuwachs der geprüften Fruchtfolgen (jeweils 33,3 % Klee gras, Getreide- und Hackfruchtarten) durch Düngung am Ort Methau ca. 11,9 dt GE/ha (ca. 119 %) und am Ort Spröda lediglich 5,4 dt GE/ha (ca. 112 %) betragen. Diese Unterschiede sind im Verhältnis zu den zugeführten Düngermengen nicht besonders groß. Die geprüften organischen Düngemittel lagen im Durchschnitt der Fruchtfolgen nach dauerhafter Anwendung in ihren Ertragswirkungen auf ähnlich hohem Niveau. Auch durch Anwendung spezieller Düngemittel, wie dem leicht löslichen N-Mineraldünger konnten im Allgemeinen die Erträge nicht weiter gesteigert werden. Entgegen diesen Ergebnissen gab es aber große Unterschiede zwischen den geprüften Fruchtarten.

Zeitliche Entwicklung des Ertragsniveaus

Die Ergebnisse über die Wirkung der untersuchten Einflussfaktoren auf die chronologische Entwicklung des GE-Ertragsniveaus der Fruchtarten im Verlauf der Versuche können folgendermaßen charakterisiert werden:

- Mit zunehmender Dauer der Versuche nahmen die Ertragsdifferenzen zwischen den Einflussfaktoren in der Regel zu.
- Auf dem Lößlehm Boden in Methau wurden allgemein deutlich höhere Erträge erzielt, außerdem waren die Ertragssteigerungen im zeitlichen Verlauf deutlicher ausgeprägt als auf dem Sandboden in Spröda.
- Am Beginn der Versuche waren die FB-Systeme bei Abfuhr aller Koppelprodukte der Fruchtarten im Ertragsniveau auf beiden Versuchsorten höher, am Ende lagen dagegen die Erträge der MF-Systeme (Koppelprodukte und Klee gras aufwüchse verblieben auf den Parzellen) höher, da der Ertragsanstieg je Zeiteinheit in diesem System deutlich stärker ausgeprägt war.
- Mit steigender organischer Düngungsintensität von 0,0 – 2,0 DE/ha und Jahr waren am Versuchsbeginn nur verhältnismäßig geringe Unterschiede zwischen den Varianten eingetreten, bei langer zeitlicher Andauer der Düngungsregime wurden die Variantenunterschiede im Ertragsniveau an beiden Versuchsorten immer größer.
- Zwischen den untersuchten Düngemitteln war folgende Nachwirkung festzustellen: Stalldung > Gülle > Grüngut, Koppelprodukte, Klee gras mulch > N-Mineraldüngung.

- Die erlangten Ertragsdifferenzen beruhen auf kumulativen Effekten durch die zeitliche Anreicherung von organischen Materialien im Boden, wodurch bei periodisch fortgesetzter Düngung mit der Zeit die Umsetzungsmenge an Humus und die Nährstoffmineralisation immer größer wurde.
- Der Effekt ist abhängig von dem verwendeten Düngemittel und vom Anbausystem. Nach N-Mineraldüngung wurde am Anfang der Versuche oft ein höheres Ertragsniveau erlangt, eine Nachwirkung war in der Regel nicht vorhanden. Die Düngemittel Gülle und Grüngut sowie die Koppelprodukte und der Kleeegrasmulch weisen noch höhere Anteile leicht verfügbarer Nährstoffe auf. Die Nachwirkung war in diesen Düngervarianten sowie im MF-System dann oft als mittelhoch einzuschätzen. Feste organische Düngemittel, wie insbesondere der geprüfte Stalldung, waren demgegenüber durch eine deutliche Nachwirkung gekennzeichnet, so dass der Ertragseffekt mit Fortdauer der Anwendung von Jahr zu Jahr immer größer wurde.
- Durch diese unterschiedlichen Nachwirkungseffekte der geprüften Düngemittel haben sich die GE- Erträge der Fruchtarten im Verlauf der Versuche auf steigendem Niveau einander angenähert.

Ertragsstabilität

Im Durchschnitt der Anbausysteme konnte meistens an beiden Orten eine große Übereinstimmung in der Rangfolge der Fruchtarten ausgewiesen werden:

- Ertragszuwachs durch Intensivierung: Kartoffeln > Silomais und Klee gras > Getreidearten
- Ertragsstabilität (Methau): Silomais > Sommerweizen > Klee gras > Winterweizen > Kartoffeln
- Ertragsstabilität (Spröda): Winterweizen > Sommerweizen > Silomais > Klee gras > Kartoffeln.

Nährstoffgehalte und Qualitätsparameter der Fruchtarten

Mit Schwerpunkt auf die zweite Versuchsphase haben sich im Durchschnitt von 8 Klee grasjahren und 9 Anbaujahren mit Nichtleguminosen am Ort Methau bzw. auf Grundlage von 7 Klee grasjahren und 6 Anbaujahren mit Nichtleguminosen in Spröda viele der erfassten Inhaltsstoffe und Qualitätsparameter der Fruchtarten z.T. deutlich verändert. Diese Veränderungen haben mit Fortdauer der Versuche zugenommen.

An beiden Anbauorten sind im Marktfrucht-System bei den meisten Nährstoffen (außer Mg-Gehalt) folgende relativen Nährstoffgehalte (FB-System = 100 %) nachgewiesen worden:

- Leguminosen: N: 99 – 102 %, P: 103 %, K: 101 – 112 %
- Nichtleguminosen: N: 99 – 104 %, P: 100 – 104 %, K: 103 – 106 %.

Als Ursache konnte der Verbleib aller Koppelprodukte inkl. der gemulchten Klee gras aufwüchse in den MF-Varianten festgestellt werden. Auch eine steigende Düngung mit organischen Düngemitteln führte in der Mehrzahl der Analysen zu einem Anstieg der untersuchten Nährstoffe sowohl in den Leguminosen als auch in den Nichtleguminosen. Im Vergleich zu keiner Düngung hat die lange anhaltende unterschiedliche Zufuhr an Düngemitteln nicht nur den N- und den K-Gehalt in den pflanzlichen Materialien angehoben, sondern auch im relativen Vergleich in ähnlichem Umfang die Gehalte an P und z.T. auch an Mg.

Das Ausmaß der Veränderung ist nicht nur abhängig vom Standort (auf dem Sandboden in Spröda etwas deutlicher als auf dem Lößboden in Methau), sondern auch von der angebauten Fruchtart. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen waren oft geringer in Körnerfrüchten, gefolgt von den Klee gras aufwüchsen, dem Getreidestroh und den Kartoffelknollen und waren am stärksten sichtbar in vegetativen Materialien, wie dem Silomais, Kartoffelkraut und Zwischenfruchtaufwüchsen. Darüber hinaus gab es noch folgende Veränderungen an Qualitätsparametern durch eine steigende organische Düngung (Ohne Düngung = 100 %):

- Klee gras: legume N₂-Bindung 101 – 107 %, Leguminosenanteil im Gemenge 96 – 105 %, NEL 101 – 103 %, Rohasche 105 – 106 %.
- Getreidearten: Rohprotein 99 – 109 %, Sedimentationswert 112 – 131 %, Mehлтаubefall 142 – 200 %, Wuchshöhe 105 – 106 %
- Mais: Rohprotein 104 – 111 %, Rohfett 117 – 126 %
- Kartoffeln: Krautdeckungsgrad 145 – 167 %, Rohbreiverfärbung 51 %, Stärke 96 %, Trockenmasse 98 – 99 %, Nitrat 122 – 371 %.

Die stetige Zufuhr von leicht löslichen N-Mineraldüngern (Kalkammonsalpeter KAS) führte zu einer teilweise stärkeren Veränderung der Inhaltsstoffe und Qualitätsparameter der Fruchtarten als in Folge der organischen Düngemittel. Zu nennen ist hierbei der deutlich negative Einfluss auf den Leguminosenanteil und die legume N₂-Bindung beim Klee gras, die Erhöhung des Anteils an großen Knollen auf Kosten der mittleren Knollenfraktion sowie der deutlich erhöhte Nitratgehalt und die erhebliche Rohverfärbung bei Kartoffeln, die starke Erhöhung des Mehлтаubefalls und der Lagerneigung bei Getreide sowie eine deutliche Zunahme der Gehalte an Rohprotein und Verbesserung der Backeigenschaften (Sedimentation) bei Weizen.

Nährstoffgehalte des Bodens

Von der Bodenkrume (0 – 30 cm Tiefe), teilweise auch bis auf 2 m Bodentiefe, sind sehr viele Nährstoffe fast in jedem Versuchsjahr untersucht worden. Bei den Anbausystemen ist die bessere Versorgung der Böden durch Verbleib der Nebenprodukte und der Klee grasaufwüchse über das Marktfrucht-System zu erwähnen. Hierdurch wurden höhere Gehalte an N_{min}, aber auch an DL- bzw. CAL-löslichem P, K und teilweise auch an CaCl₂-löslichem Mg sowie höhere pH-Werte im Boden erzielt.

Eine hohe organische Düngung bewirkte gegenüber keiner Düngung eine Verbesserung bei vielen untersuchten Bodenmerkmalen. Hierzu zählen u.a. der pH-Wert, die N_{min}-Gehalte, eingeschränkt auch die S_{min}-Werte, Gehalte an allen löslichen Grundnährstoffen, C_{org}, N_t und eine Verengung der C/N-Verhältnisse im Boden. Die dauerhafte Anwendung leicht löslicher N-Dünger in Form des Kalkammonsalpeters hat im Vergleich zu keiner Düngung demgegenüber die stärkste Erhöhung der N_{min}-Werte zum Frühjahr und besonders nach der Ernte bewirkt. Folgende Bodenmerkmale wurden z.T. standortabhängig in ihren Gehalten reduziert: S_{min}, P, K und Mg. Dagegen wurden die Gehalte an C_{org} etwas und an N_t angehoben und das C/N-Verhältnis gegenüber keiner Düngung verengt.

Mit der Anwendung der N-Mineraldüngung war eine deutlich höhere Verlagerung und Auswaschung an Stickstoff, aber auch an Phosphat verbunden als mit den organischen Düngemitteln. Nach langer Anwendung stieg jedoch auch die Verlagerung an Stickstoff entsprechend der Steigerungsstufe an organischen Düngemitteln etwas an, erreichte in der höchsten Stufe von 2,0 DE/ha aber bei weitem nicht das Verlagerungspotenzial der N-Mineraldüngung.

Im Vergleich zu der konventionellen Vorbewirtschaftung der Versuchsflächen sind einige Bodenkennzahlen besonders in den Varianten ohne oder mit geringer organischer Düngung an beiden Versuchsorten auch abgefallen. Hierzu zählen vor allem die folgenden Merkmale: pH-Wert, N_{min}-Gehalte (besonders im Herbst), lösliche Gehalte an P, K, Mg sowie die N_t-Gehalte des Bodens. Dagegen sind die Werte an C_{org} und das C/N-Verhältnis der Bodenkrume in allen Versuchsvarianten im Vergleich zum Versuchsbeginn im Jahr 1992 angestiegen.

Auch die Gehalte an Gesamtnährstoffen und pflanzenverfügbaren Spurenelementen wurden in der Ackerkrume durch die andauernde hohe organische Düngung, insbesondere auf dem Sandstandort, z.T. etwas angehoben. Die Düngemittel hatten auch Auswirkungen auf die heißwasserlöslichen Kohlenstoff- und

Stickstoffmengen. Im Durchschnitt der Anbausysteme wird deutlich, dass mit langjährig angewendeter organischer Düngung die Werte an löslichem Kohlenstoff und an Stickstoff des Bodens angestiegen sind, KAS-Düngung wies diese Fähigkeit gegenüber keiner Düngung nicht auf. Die Ergebnisse zeigen eindrucksvoll, dass die organische Düngung ein sehr breites Wirkungsspektrum aufweist. Hierdurch kam es sowohl zu einer Anhebung der Humusreserven und der Umsetzungsaktivität als auch zu einer Verbesserung der Versorgung mit Stickstoff, anderen Makronährstoffen und vielen Mikronährstoffen des Bodens.

Aber auch die getesteten organischen Düngemittel wiesen einige interessante Unterschiede im Wirkungsspektrum auf. Während die festen organischen Düngemittel (Stalldung, in abgeschwächter Form auch das Grüngut) über eine höhere Reservenbildung an C_{org} bzw. an Humus und vorübergehend festgelegten Nährstoffen im Boden aufwiesen, war nicht nur in den ersten Anwendungsjahren ein z.T. deutlich verringertes Verlagerungspotenzial an Nährstoffen im Tiefenprofil aufgetreten. Diese Dünger zeichneten sich durch vergleichsweise geringere Wirkungen auf die direkte Erhöhung der Nährstoffgehalte wie z.B. der Rohprotein- und Nitrat-Gehalte der Fruchtarten aus. Dagegen zeigte die stetige Anwendung der Rindergülle keine so ausgeprägte Reservebildung an Humus und Nährstoffen im Boden. Dafür war die Wirkung auf die N_{min} -Gehalte des Bodens, die Aufnahme an Stickstoff in den Fruchtarten sowie das Verlagerungspotenzial an Nährstoffen in den Untergrund etwas deutlicher ausgeprägt.

Bei fortgesetzter gleicher Düngungshöhe haben sich die Ertragsleistungen der Fruchtarten zwischen diesen geprüften organischen Düngemitteln angeglichen, da mit der Zeit die Nährstofffreisetzung durch Anstieg des Humusumsatzes insbesondere bei den festen Düngemitteln und den Ertragswirkungen durch die direkt verfügbaren Nährstoffanteile insbesondere durch die Gülleanwendung weitgehend ausgeglichen wurde.

Die untersuchten Düngungs- und Anbauregime haben zu bedeutenden zeitlichen Veränderungen an Bodenmerkmalen geführt, die auf Grund der großen Datenmenge und der verhältnismäßig langen Versuchsdauer gut quantifiziert werden konnten. Die Auswertungen ergaben weitgehende vergleichbare Veränderungen zwischen den untersuchten Nährstoffen des Bodens, die im Wesentlichen auf den Humusumsatz zurückgeführt werden konnten. Daher konnten Nährstoffäquivalente berechnet werden, um die zeitliche Veränderung an Kohlenstoff und Stickstoff des Bodens im Verhältnis zu der Änderung der anderen Nährstoffe darzustellen.

Nährstoffbilanzen und -effizienzen

Die umfangreichen Nährstoffbilanzierungen wurden in dieser Arbeit für Stickstoff und Schwefel in der Form der Brutto-Bilanzierung, bei den anderen Nährstoffen in der üblichen Form ohne Berücksichtigung der Nährstoffdeposition durchgeführt. Auf Grund der großen Differenzen zwischen den Bilanzierungskriterien Zufuhr und Abfuhr wurden deutliche Unterschiede in den berechneten Nährstoffsalden nicht nur in Folge steigender Düngung sondern auch zwischen den Standorten und den Anbauverfahren ermittelt. Einige dieser Differenzen konnten zudem auf deutliche Unterschiede in der erfassten TM-Zufuhr durch Düngung und Anbausystem zurückgeführt werden. Für die Dokumentation verlässlicher Zahlenwerte wurden die Nährstoffbilanzen genau für eine Fruchtfolge mit jeweils 33,3 % Klee gras, Getreidearten und Hackfrüchten ermittelt. Folgende Nährstoffsalden wurden in Folge steigender organischer Düngung berechnet (kg Reinnährstoff/ha u. Jahr, Effizienz in Klammern in %):

Versuchsort		Methau		Spröda	
■ Stickstoff	FB	-24 – 84	(118 – 70)	-13 – 101	(113 – 53)
	MF	51 – 167	(55 – 31)	58 – 162	(37 – 20)
■ Phosphor	FB	-23 – 9	(- – 77)	-14 – 5	(- – 77)
	MF	-14 – 15	(- – 51)	-6 – 9	(- – 45)
■ Kalium	FB	-141 – -18	(- – 111)	-111 – -4	(- – 51)
	MF	-52 – 107	(- – 38)	-20 – 63	(- – 30)
■ Magnesium	FB	-15 – 9	(- – 65)	-8 – 7	(- – 54)
	MF	-6 – 14	(- – 33)	-2 – 9	(- – 25)
■ Schwefel	FB	-2 – 8	(118 – 68)	4 – 17	(69 – 34)
	MF	6 – 17	(52 – 29)	10 – 18	(20 – 14).

In den Futterbau-Varianten ohne Düngung wurden fast bei allen Nährstoffen z.T. stark negative Salden ermittelt. Selbst die Zufuhr der Koppelprodukte und der Kleeegrasaufwüchse in den Marktfruchtvarianten reichte nur beim Stickstoff und beim Schwefel in den ungedüngten Varianten für die Erzielung ausgeglichener Nährstoffsalden. Erst mit einer steigenden Zufuhr an organischen Düngemitteln wurden die Salden aller Nährstoffe deutlich angehoben, so dass sich nach hoher Düngung mit 2,0 DE/ha bei allen Nährstoffen (außer beim Kalium in den FB-Varianten) z.T. deutlich positive Salden eingestellt haben. Infolge der Düngungssteigerung ist eine deutliche Abnahme der Nährstoffeffizienzen verbunden.

Zusammenhang zwischen Saldo und Bodenänderung an Nährstoffen

Weitere mathematisch-statistische Auswertungen haben ergeben, dass sehr enge korrelative Beziehungen zwischen den berechneten Nährstoffsalden und den experimentell ermittelten zeitlichen Veränderungen der Nährstoffe im Boden im Verlauf der Versuche bestanden, die weitgehend unabhängig von dem verwendeten Düngemittel etabliert werden konnten. Unter Verwendung der erlangten mathematischen Gleichungen kann an Hand der ermittelten Nährstoffsalden und in Abhängigkeit von den Bodenarten der untersuchten Standorte die Veränderung der Nährstoff- und C_{org} -Gehalte im Boden quantitativ beschrieben werden.

Da an beiden Standorten entsprechend der konventionellen Vorbewirtschaftung in den ungedüngten Varianten eine positive Veränderung der C_{org} -Gehalte ermittelt worden ist, würden bereits negative N-Salden von bis zu -30 kg N/ha ausreichen, um eine ausgeglichene C_{org} -Entwicklung (= 0 % C_{org} Bodenänderung je Jahr) zu erreichen ($r = 0,978^{***}$). Die N_f -Gehalte des Bodens weisen dagegen erst eine ausgeglichene Entwicklung auf, wenn die N-Salden am Standort Methau ungefähr auf 45 kg N/ha und am Standort Spröda sogar auf etwas über 100 kg N/ha ansteigen ($r = 0,936^{***} - 0,969^{***}$). Auf Grund dieser Ergebnisse sind auf allen Versuchsvarianten die C_{org} -Gehalte angestiegen und gleichzeitig in den meisten Varianten auch die N_f -Gehalte im Boden im Verlauf des Versuches abgefallen.

Auch die Auswertung der Regressionsgleichungen zwischen den Nährstoffsalden und der jährlichen Bodenveränderung an Grundnährstoffen auf den FB-Flächen waren mit Korrelationen zwischen $r = 812^* - 0,985^{***}$ in den meisten Fällen statistisch hoch gesichert. Danach erfolgt keine Änderung der DL- bzw. $CaCl_2$ -löslichen Gehalte des Bodens mehr, wenn die entsprechenden Nährstoffsalden folgende Werte erreichen:

- P-Salden zwischen ca. -4 kg P/ha in Methau und um 2 – 3 kg P/ha in Spröda
- K-Salden zwischen ca. -60 kg K/ha in Methau und 10 kg K/ha in Spröda
- Mg-Salden zwischen ca. -7 kg Mg/ha in Methau und um 3 kg Mg/ha in Spröda.

Am Standort Methau konnten die Versuchsflächen bei allen drei Nährstoffen die genannten negativen Salden aufweisen, ohne dass sich die löslichen Gehalten im Boden ändern, der fruchtbare Boden weist daher eine z.T. erhebliche jährliche Nachlieferung auf. Der Sandboden des Sprödaer Standortes ist dagegen durch höhere Verluste z.B. durch Verlagerung als durch Nachlieferung charakterisiert, daher müssen die untersuchten Nährstoffe die aufgeführten positiven jährlichen Salden aufweisen, damit die Bodengehalte stabil bleiben.

Grundsätzlich ist eine höhere Zufuhr von allen Nährstoffen auf den FB-Flächen erforderlich, da die Koppelprodukte und die Kleeerasaufwüchse abgeerntet worden sind. Daher ist auf diesen Flächen oft eine organische Düngung von 1 – 2 DE/ha und auf den MF-Flächen eine Düngung zwischen ungefähr 0 – 1 DE/ha erforderlich, damit die untersuchten Nährstoffe im Boden keine Veränderungen mehr erfahren.

Die MF-Flächen wiesen demgegenüber Nährstoffsalden auf, die z.T. auf exorbitant höherem Niveau lagen als die der FB-Varianten. Diese Prüfglieder zeigten jedoch weder entsprechende Änderungen in den Bodennährstoffen noch ein entsprechendes Verlagerungspotenzial auf. Auf dieses Missverhältnis wurde schon in der ersten Versuchsphase hingewiesen (BECKMANN et al., 2002). Da im MF-System die Kleeerasaufwüchse in der Regel mehrfach gemulcht worden sind, wurden die aufgenommenen Nährstoffmengen jeweils bei der Bilanzierung als Zufuhren angerechnet. Um diesen im System rezyklierten, d.h. mehrfach angerechneten Nährstoffanteil abschätzen zu können, wurden über systematische Kalkulationen die Bilanzierungskriterien so lange verändert, bis eine gute Übereinstimmung zwischen den FB- und den MF-Varianten in den Relationen zwischen den dann erhaltenen Nährstoffsalden an N, P, K und Mg und den entsprechenden Bodenänderungen dieser Nährstoffe gegeben war.

Diese Prämisse war erfüllt, wenn im Durchschnitt lediglich 30 – 50 % der Nährstoff-Mengen in den entsprechenden gemulchten Aufwüchsen an Kleeeras in den Salden berücksichtigt worden sind, 50 – 70 % der aufgenommenen Mengen wurden somit als Rezyklernährstoffe ermittelt. Durch diese veränderte Nährstoffbilanzierung wiesen im Vergleich zu den FB-Varianten dann die MF-Systeme zwar nach wie vor eine höhere Nährstoffversorgung und auch entsprechend höhere (korrigierte) Nährstoffsalden auf, mit denen jetzt aber die Veränderung der Nährstoffgehalte und Reserven im Boden quantitativ berechnet und die Nährstoffverlagerung und -verluste (Atmosphäre, Tiefenprofil) plausibel erklärt werden konnten.

In weiteren Auswertungsschritten zum Humusumsatz wurden die Relationen zwischen den berechneten Werten an Mineralisation und Nährstofffreisetzung und der Nährstoffaufnahme durch die Fruchtarten (EWR; Haupt- u. Nebenprodukt) im Verlaufe der Vegetation ermittelt (ähnlich der Düngebedarfsermittlung). Eine Beschränkung der Ertragsbildung der Fruchtarten konnte auf Grund dieser vorliegenden Ergebnisse fast nur für den Nährstoff Stickstoff veranschlagt werden. In zweiter Linie könnten die Nährstoffreserven für Phosphor (und an Magnesium auf dem Sandboden) auf den nicht gedüngten Futterbauflächen so knapp werden, dass die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat (bzw. an Mg) bestimmte Schwellenwerte unterschreiten können, so dass auf Grund des Minimumgesetzes die Ertragsbildung hierdurch begrenzt worden ist. Durch die hohen Reserven im Boden (Untergrund) und die noch zu registrierende S-Deposition war Schwefel in den Versuchen bisher als kein begrenzender Faktor zur Ertragsbildung anzusehen.

Beim Stickstoff sind die zur Ertragsbildung nötigen Nährstoffmengen in der untersuchten Fruchtfolge (Kleeeras, Getreidearten, Hackfrüchte) bei Mais und Kartoffeln besonders groß. Kleeeras enthält zwar die höchsten aufgenommenen N-Mengen von allen Fruchtarten, der überwiegende Anteil stammt jedoch aus der legumen N₂-Bindung der Leguminosen. Bei den anderen untersuchten Nährstoffen Phosphor, Kalium, Magnesium und Schwefel wiesen jeweils das Kleeeras und der Mais (beim K auch die Kartoffel) den höchsten

Nährstoffbedarf zur Ertragsbildung auf, so dass diese Nährstoffe bei knappen Bodenreserven dann in der Regel das Wachstum in einigen Varianten der untersuchten Fruchtfolge begrenzt haben könnten.

Mit Hilfe von besonderen statistischen Methoden (u.a. durch die Diskriminanzanalyse) wurde eine signifikante Trennung zwischen allen untersuchten Varianten der Standorte, Anbausysteme, Düngemittelarten und der Düngungsintensitäten der Dauerversuche ermittelt. Darüber hinaus wurden die erfassten Merkmale durch Ausweisung sowohl der relativen Wirkungsrichtung und -stärke als auch durch Aufstellung von Rangfolgen bewertet, damit das Wirkungsspektrum der Einflussfaktoren besser veranschaulicht werden konnte (siehe Kap. 4.7).

Möglichkeiten und Grenzen der Intensivierung

In der abschließenden Diskussion und den Schlussfolgerungen konnte das Datenmaterial aus weiteren hinzugezogenen Dauerversuchen nochmals deutlich erweitert werden. Hierdurch ist es gelungen, Anbausysteme des Ökolandbaus mit einem Leguminosenanteil (Futter- u. Körnerleguminosen) zwischen 20 – 50 % in den Fruchtfolgen und einer organischen Düngung zwischen 0 – 160 kg N/ha und Jahr mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse für nachfolgende Merkmale quantitativ darzustellen:

■ Humusbilanzen	$r = 0,801^{***}$
■ C_{org} -Differenzen Boden	$r = 0,791^{***}$
■ N_t -Differenzen Boden	$r = 0,784^{***}$
■ N_2 -Bindung Leguminosen	$r = 0,939^{***}$
■ N_{min} -Menge Frühjahr	$r = 0,913^{***}$
■ GE-Erträge Fruchtfolge	$r = 0,962^{***}$
■ N-Saldo (brutto)	$r = 0,830^{***}$
■ N-Effizienz	$r = 0,742^{***}$

Zu jeder Intensivierungsstufe wurden Daten aus entsprechenden eigenen und zitierten Dauerversuchen und Erhebungen aus der landwirtschaftlichen Praxis vergleichend gegenüber gestellt und ausgiebig diskutiert. Es bestand eine relativ gute Übereinstimmung zwischen experimentell und betrieblich ermittelten Daten, so dass auch Projektionen für Bereiche vorgenommen werden konnten, die in der Praxis nicht oder bisher nur unzulänglich belegt sind. Hierdurch konnten sowohl verschiedene Möglichkeiten als auch Grenzen der Intensivierung der Produktion für deutlich unterschiedliche landwirtschaftlich und umwelttechnisch wichtige Bereiche genau durchleuchtet werden.

Auf diese Weise wurden bestimmte Nachteile der mineralischen N-Düngung analysiert, wodurch die generelle Ablehnung der Anwendung für den Ökologischen Landbau eindeutig experimentell belegt werden konnte. Außerdem wurden Grenzen einer extremen organischen Düngung wie auch von sehr hohen Anteilen an Leguminosen in den Fruchtfolgen zu verschiedenen Gesichtspunkten herausgearbeitet (Erträge, Qualität, Krankheiten, Bodenfruchtbarkeit, Umweltwirkung). Es konnten zudem die Möglichkeiten viehloser Bewirtschaftung als extensive nachhaltige Anbauverfahren mit sowohl besonderen Leistungen für den Umweltschutz und hohen Anforderungen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit lokalisiert werden. Darüber hinaus wurden auch die Chancen und die Wirkungen zur Weiterentwicklung des Ökolandbaus in Folge einer gesteigerten Intensivierung durch Leguminosenanbau (Körner- u. Futterleguminosen) sowie flüssigen und festen organischen Düngern für eine optimale Gestaltung und Ertragsbildung der Fruchtfolgen und der Umweltverträglichkeit detailliert aufgeführt.

7 Danksagung

Wesentliche Aspekte der Gestaltung, Durchführung und Auswertung dieser Dauerversuche wurden mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) sowie des Sächsischen Staatsministerium SMUL unterstützt. Ein herzlicher Dank gilt der langjährigen Durchführung der Versuche durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) bzw. des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und insbesondere für die stetige Versuchsbetreuung durch die Mitarbeiter:

- des Prüffeldes Methau: Frau Hörig, Herr Bömer
- des Prüffeldes Spröda: Herr Schumacher.

Für die Durchführung umfangreicher und langjähriger Laboruntersuchungen danken wir der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Leipzig und Nossen. Nur durch außergewöhnlichen persönlichen Einsatz ist es gelungen, eine ausreichend lange Laufzeit und eine ordnungsgemäße Beendigung der Dauerversuche zu gewährleisten. Da eine Fertigstellung der Arbeiten zum Ökolandbau von der tragenden Einrichtung nicht mehr vorgenommen wurde, erfolgte wegen der besonderen wissenschaftlichen Bedeutung der erlangten Ergebnisse und dem nicht unbedeutenden Einsatz von öffentlichen Mitteln eine Fertigstellung und Veröffentlichung des Forschungsberichtes von privater Seite mit Eigenmitteln. Ein Dankeschön gilt auch besonders für Frau Maffee für die Anfertigung und Formatierung des sehr komplexen und umfangreichen Manuskriptes.

8 Literatur

- ABELE, U. (1987): Einfluss mineralischer und organischer Düngung sowie der biologisch-dynamischen Präparate auf Qualitätsmerkmale pflanzlicher Produkte und auf Bodeneigenschaften. Schriftenreihe d. Bundesministers f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, H. 345.
- ALBERT, E. (1980): Wirkung langjähriger differenzierter N-, P- und K-Düngung auf Nährstoffzug, -bilanz und -ausnutzung sowie Nährstoffgehalt des Bodens. Arch. Acker-, Pflanzenb. Bodenkd. 24, 99-106.
- ALBERT, E. (1999): Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalt, Netto-N-Mineralisierung und N-Bilanz.. Arch. Acker- Pflanzenb. Bodenkd. 46, 187-213.
- ALBERT, E., F. FÖRSTER, H. ERNST, H. KOLBE, B. DITTRICH, H. LABER, M. HANDSCHACK, G. KRIEGHOFF, T. HEIDENREICH, G. RIEHL, S. HEINRICH & W. ZORN (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- ALVERMANN, G. (1990): Muss ich dem Boden etwas zurückgeben. Bioland, Nr. 5, 6-7.
- ANONYM (1995): DOK Versuch. Schweiz. Landwirtschaftl. Forsch., Sonderausgabe. Eidgenöss. Forschungsanstalt f. Agrikulturchemie u. Umwelthygiene (FAC), Liebefeld.
- ANONYM (2007a): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Amtsblatt der Europäischen Union L189 vom 20.07.2007, 1-23.
- ANONYM (2007b): Feldversuchsstationen zum Ökologischen Landbau der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
<https://orgprints.org/id/eprint/10470/>
- ANONYM (2014): Unterschiede zwischen der EU-Verordnung Ökologischer Landbau und den Richtlinien der Anbauverbände Bioland, Naturland und Demeter. Umweltinstitut München e.V., München.

https://www.umweltinstitut.org/fileadmin/Mediapool/Downloads/07_FAQ/Lebensmittel/vergleich_richtlinien.pdf

- ANONYM (2018): Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union L 150 vom 14.6.2018, 1-92.
- ARMBRUSTER, M. & F. WIESLER (2019): Dauerversuche der LUFA Speyer – Stickstoff-Ausnutzung organischer Dünger. Vortrag, Internat. Arbeitsgemein. f. Bodenfruchtbarkeit, LTFE-Meeting, Gießen.
- ASKEGAARD, M. (2008): Residual effect and leaching of N and K in cropping systems with clover and ryegrass catch crops on a coarse sand. *Agricult., Ecosys. Environment* 123, 99-108.
- ASKEGAARD, M., J.E. OLESEN & I.A. RASMUSSEN (2005): Long-term organic crop rotation experiments for cereal production – yield development and dynamics. *ISOFAR Proceedings of the Conference “Researching sustainable systems”*, Adelaide, Australia, 198-201.
- ASKEGAARD, M., J. ERIKSEN & J.E. OLESEN (2006): Exchangeable potassium and potassium balances in organic crop rotations on a coarse sand. *Soil Use Management* 19, 96-103.
- AUERSWALD, K., M. KAINZ, A.C. SCHEINOST & W. SINOWSKI (2001): The Scheyern experimental farm: research methods, farming system and definition of site properties and characteristics. *Ecosystem Approaches to Landscape Management in Central Europe. Ecological Studies* 147, 183-194.
- BACH, M., M. RODE & H.-G. FREDE (1991): Möglichkeiten zur Verminderung des Nitrateintrages in das Grundwasser durch Verringerung des Stickstoff-Überschusses aus der Landwirtschaft. *Mitt. Bodenkundl. Gesell.* 66, 895-898.
- BACHTHALER, G. (1972): Einfluss verschiedener Humusdünger auf den Pflanzenertrag auf einer Parabraunerde aus Lößlehm. *Landwirtsch. Forsch.* 24, SH 28, 297-309.
- BAKKEN, A.K., T. A. BRELAND, T.K. HARALDSEN, T.S. AAMLID, & T.E. SVEISTRUP (2005): Soil fertility in three cropping systems after conversion from conventional to organic farming. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil and Plant Sci.* 56, 81-90.
- BALZER, F. & D. SCHULZ (2015): Umweltbelastende Stoffeinträge aus der Landwirtschaft. Möglichkeiten und Maßnahmen zu ihrer Minderung in der konventionellen Landwirtschaft und im ökologischen Landbau. Broschüre, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- BARTH, N., R. TANNERT, H.-J. KURZER, H. KOLBE, H. ANDREAE, F. JACOB, U. HAFERKORN, M. RUST & M. GRUNERT (2016): Stickstoffmonitoring sächsischer Böden. Broschüre, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden.
- BAUKE, S.L., C. VON SPERBER, F. TAMBURINI, M.I. GOCKE, B. HONERMEIER, K. SCHWEITZER, M. BAUMECKER, A. DON, A. SANDHAGE-HOFMANN & W. AMELUNG (2018): Subsoil phosphorus is affected by fertilization regime in long-term agricultural experimental trials. *European J. Soil Sci.* 69, 103-112.
- BECKER, J. (1988): Aggregation in landwirtschaftlichen Gesamtrechnungen über physische Maßstäbe: Futtergersteneinheiten als Generalnenner. *Wissenschaftlicher Fachverlag*, Gießen.
- BECKER, K. & G. LEITHOLD (2007): Ausweitung des Anbaukonzeptes Weite Reihe bei Winterweizen auf Roggen, Hafer, Raps und Körnererbsen. Eine pflanzenbauliche und betriebswirtschaftliche Untersuchung unter Berücksichtigung der Vorfruchtwirkungen. Forschungsprojekt 03OE100, Universität, Gießen. <https://orgprints.org/id/eprint/14858/>
- BECKER, K., A. RIFFEL & G. LEITHOLD (2015): Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne-Kleegrasbeständen durch Verbesserung des aktuellen Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Flächen – Situation und Bedeutung unter Praxisbedingungen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt 2810OE104, Universität, Gießen. <https://orgprints.org/id/eprint/29689/>

- BECKMANN, U., H. KOLBE, A. MODEL & R. RUSSOW (2001): Ackerbausysteme im ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung von N-Bilanz und Effizienzkennzahlen. UFZ-Bericht, Nr. 14. UFZ-Umweltforschungszentrum, Leipzig-Halle.
- BECKMANN, U., H. KOLBE, A. MODEL & R. RUSSOW (2002): Ackerbausysteme im ökologischen Landbau – Untersuchungen zur N_{min} -, N_2O -N- und NH_3 -N-Dynamik sowie Rückschlüsse zur Anbau-Optimierung. Initiativen zum Umweltschutz 35. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- BERNER, A., I. HILDERMANN, A. FLIEßBACH, L. PFIFFNER, U. NIGGLI & P. MÄDER (2008): Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil & Tillage Res.* 101, 89-96.
- BERRY, P.M., R. SYLVESTER-BRADLEY, L. PHILIPPS, D.J. HATCH, S.P. CUTTLE, F.W. RAYNS & P. GOSLING (2002): Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use Management* 18, 248-255.
- BERRY, P.M., E.A. STOCKDALE, R. SYLVESTER-BRADLEY, L. PHILIPPS, K.A. SMITH, E.I. LORD, C.A. WATSON & S. FORTUNE (2003): N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK. *Soil Use Management* 19, 112-118.
- BLUMENSTEIN, B. (2017): Sustainable intensification of organic and low-input agriculture through integrated bioenergy production. Kassel University Press, Kassel.
- BÖHM, H., K. BUCHECKER, J. DRESOW, W. DREYER, CHR. LANDZETTEL, S. MAHNKE-PLESKER & F. WESTHUES (2011): Optimierung der ökologischen Kartoffelproduktion. *Landbauforschung Sonderheft* 348. Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Ökologischen Landbau, Westerau.
- BOLDRINI, A., P. BENINCASA, G. GIGLIOTTI, D. BUSINELLI & M. GUIDUCCI (2008): Effects of an organic and a conventional cropping system on soil fertility. *ISOFAR Conference 2*, Modena, Italy, 324-326. <https://orgprints.org/id/eprint/12381/>
- BROCK, CHR. (2009): Humusdynamik und Humusreproduktion in Ackerbausystemen und deren Bewertung mit Hilfe von Humusindikatoren und Humusbilanzmethoden. Diss., Univ., Gießen.
- BROCK, CHR., M. OLTMANN & A.-K. SPIEGEL (2013): Humusmanagement und Humusbilanz hessischer Öko-Betriebe. Broschüre, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH), Kassel.
- BUCHHOLZ, H. (1993): Pflanzliche Inhaltsstoffe. *VDLUFA-Methodenbuch III*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- BULL, I., M. DIEPOLDER, M. GRUNERT, U. HAFERKORN, L. HEIGL, S. KNOBLAUCH, D. KOCH, R. MEIßNER, C. RAMP, H. RUPP, M. RUST, M. SCHRÖDTER, CHR. SCHULZ, N. TAUCHNITZ & B. ZACHOW (2018): Langjährige Untersuchungen zur P-, K-, Mg- und S-Auswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland. Kooperation Lysimeter. Beiheft zur Schriftenreihe „Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen“, Neues aus Untersuchung und angewandter Forschung 1. Thüringer Landesanstalt f. Landwirtschaft, Jena.
- CAPRIEL, P. (2010): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft 5. Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft, Freising.
- CASPER, S., J. HEß & CHR. BRUNS (2019): Transferdüngung mit Klee gras: Auswirkungen verschiedener Düngesubstrate und –stufen auf den Kornertrag von Winterweizen. *Beitr. 15. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau*, Kassel. <https://orgprints.org/id/eprint/36240/>
- CASTELL, A., TH. ECKL, M. SCHMIDT, R. BECK, E. HEILES, G. SALZEDER & P. URBATZKA (2016): Fruchtfolgen im ökologischen Landbau – Pflanzenbaulicher Systemvergleich in Viehhausen und Puch. Zwischenbericht 2005 – 2013. Schriftenreihe d. Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft 9, Freising-Weihenstephan.
- CHIRINDA, N., J.E. OLSEN & J.R. PORTER (2012): Root carbon input in organic and inorganic fertilizer-based systems. *Plant Soil* 359, 321-333.
- CHMELIKOVA, L., H. SCHMID, S. ANKE & K.-J. HÜLSBERGEN (2021): Nitrogen-use efficiency of organic and conventional arable and dairy farming systems in Germany. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 119, 337-354.

- COOPER, J., E.Y. REED, S. HÖRTENHUBER, T. LINDENTHAL, A.-K. LOES, P. MÄDER, J. MAGID, A. OBERSON, H. KOLBE & K. MÖLLER (2018): Phosphorus availability on many organically managed farms in Europe. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 110, 227-239.
- CORMACK, W. (2005): Assessing the sustainability of a stockless arable rotation. Report OF0318. ADAS, UK. <https://orgprints.org/id/eprint/10778/>
- DAMHOFER, I., T. LINDENTHAL, W. ZOLLITSCH & R. BARTEL-KRATOCHVIL (2009): Konventionalisierung: Notwendigkeit einer Bewertung mittels Indikatorsystem, basierend auf den IFOAM-Prinzipien. *Beitr. 10. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Zürich*, 514-517.
- DELLEN, A. VAN (2001): Yield, and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. *Agron. J.* 93, 1370-1385.
- DIEZ, T. & H. WEIGELT (1986): Vergleichende Bodenuntersuchungen von konventionell und alternativ bewirtschafteten Betriebsschlägen. Einführung, Untersuchungskonzept, spatendiagnostische und chemische Untersuchungen. *Bayer. Landw. Jahrb.* 63, 979-991.
- EBERTSEDER, T., C. ENGELS, J. HEYN, K.-J. HÜLSBERGEN, K. ISERMANN, H. KOLBE, G. LEITHOLD, J. REINHOLD, H. SCHMID, K. SCHWEITZER, M. WILLMS & J. ZIMMER (2014): Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. *Standpunkt. VDLUFA, Speyer*.
- EICHLER-LÖBERMANN, B., P. WINKLHOFER, T. ZICKER & F. FREITAG (2019): Phosphorus pools in the soil profile – results of different fertilizer practices over 20 years. *LTFE-Meeting 2019, Gießen, Abstracts*, 11.
- EMMERLING, C. & D. SCHRÖDER (2000): Ist viehlose Wirtschaft im ökologischen Landbau nachhaltig? *VDLUFA-Schriftenreihe* 55, Teil 6, Kongressband 2000, 61-67.
- ENGELMANN, K. (2010): Ökologisch nachhaltiges Betriebsmanagement mit dem Modell REPRO. Vortrag, *Naturland Ackerbautagung, Würzburg*.
- ENGELMANN, K. & K.-J. HÜLSBERGEN (2012): Stickstoffkreislauf und Stickstoffeffizienz. *Naturland Nachrichten*, Nr. 1, 15-17.
- ERHART, E., F. LEICHTINGER & W. HARTL (2007): Nitrogen leaching losses under crops fertilized with biowaste compost compared with mineral fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 608-614.
- FARACK, K., P. MÜLLER, W. SCHLIEPHAKE & H. KOLBE (2021): Berichte aus dem Ökolandbau 2021 – Dauer-versuch zur organischen und mineralischen Grunddüngung. Einfluss steigender organischer sowie mineralischer P- und K-Düngung auf Merkmale der Bodenfruchtbarkeit, Ertrag und Qualität der Fruchtarten in einem ökologischen Dauerversuch auf Lehmboden. Dr. H. Kolbe, Schkeuditz, 1-112. <https://slub.qucosa.de/api/qucosa%3A76876/attachment/ATT-0/>
- FINLAY, K. & G. WILKINSON (1963): The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Crop Pasture Sci.* 14, 742-754.
- FÖRSTER, F., H. ERNST & E. ALBERT (1997): N, P, K, Kalk, Mg-Düngungsempfehlung. N, P, K-Schlagbilanzen. Broschüre, *Sächsische Landesanstalt f. Landwirtschaft, Dresden*.
- FÖRSTER, S. (2013): Einfluss langjährig differenzierter organischer Düngung auf S-Bindungsformen und S-Nachlieferung einer Parabraunerde aus Löß. *Diss. Univ., Bonn*.
- FRANKO, U., H. KOLBE, E. THIEL & E. LIESS (2011): Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma* 166, 119-134.
- FREYER, B. (2016a): Umstellung landwirtschaftlicher Betriebe. In: FREYER, B.: *Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen*. UTB-Verlagsgruppe, Haupt Verlag, Bern, Schweiz, 148-182.
- FREYER, B. (2016b): Ernährungssicherung. In: FREYER, B.: *Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen*. UTB-Verlagsgruppe, Haupt Verlag, Bern, Schweiz, 183-191.

- FREYER, B., M. KLIMEK & V. FIALA (2016): Ethik im Ökologischen Landbau – Grundlagen und Diskurs. In: FREYER, B.: Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt Verlag, Bern, Schweiz, 44-79.
- FRIEDEL, J.K., E. DIERENBACH & D. GABEL (1997): Die Rolle der mikrobiellen Biomasse im C- und N-Kreislauf ökologisch bewirtschafteter Ackerböden. Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 77-83.
- FRIEDEL, J., M. KASPER, H. SCHMID, K.-J. HÜLSBERGEN & B. FREYER (2014): Need for phosphorus input in Austrian organic farming? Proceedings ISOFAR Scientific Conference 4, Istanbul, Turkey, 37-40.
- GATTINGER, A., C. SKINNER, M. KRAUSS & P. MÄDER (2019): Auswirkungen des langfristigen ökologischen Landbaus auf bodenbürtige Treibhausgasemissionen. Beitr. 15. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Kassel. <https://orgprints.org/id/eprint/36205/>
- GATTINGER, A., A. MULLER, M. HAENI, C. SKINNER, A. FLIESSBACH, N. BUCHMANN, P. MÄDER, M. STOLZE, P. SMITH, N. EL-HAGE SCIALABBA & U. NIGGLI (2012): Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), October 2012, 109, 18226-18231.
- GENGENBACH, H. & TH. HAASE (2019): Strategien zur Erzeugung von Qualitätsgetreide in viehlosen/-armen Marktfruchtbetrieben. Beitr. 15. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Kassel. <https://orgprints.org/id/eprint/36259/>
- GOSLING, P. & M. SHEPHERD (2005): Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. Agriculture Ecosys. & Environm. 105, 425-432.
- GRUBER, H. (2009): Entwicklung der Grundnährstoffe in einem schwach lehmigen Sandboden Norddeutschlands nach langjähriger ökologischer Bewirtschaftung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 21, 123-125.
- GRUBER, H. (2013): Auswirkungen einer langjährigen ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter am Standort Gülzow. Abschlussbericht Forschungs-Nr. 4/02, Landesforschungsanstalt f. Landwirtschaft u. Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut f. Acker- u. Pflanzenbau, Gülzow.
- GRUBER, H. & U. THAMM (2008): Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter. Forschungsbericht 22/04, Landesforschungsanstalt f. Landwirtschaft u. Fischerei, Gülzow.
- GRUBER, H. & C. WEGNER (2017): Schwefeldüngung zu Körnererbsen und Blauen Lupinen auf einem Sandstandort. Beitr. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan. <https://orgprints.org/id/eprint/31750/>
- GRUNERT, M. (2019): Nährstoffgehalte ausgewählter mineralischer N-, P- und K-Dünger. Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG), Dresden.
- GRUNERT, M. (2020): Wirkung langjähriger Kompostgaben – sächsische Versuchsergebnisse. Vortrag, Fachtagung „Kompost im Ökolandbau“, Nossen. https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Kompost_Nossen_2020_11_04.pdf
- GUNST, L., W. RICHNER, P. MÄDER & J. MAYER (2013): DOK-Versuch: Nährstoffversorgung in Winterweizen – Wo wird es eng? Agrarforschung Schweiz 4, 74-81.
- GUNST, L., W. JOSSI, U. ZIHLMANN, P. MÄDER & D. DUBOIS (2007): DOK-Versuch: Erträge und Ertragsstabilität 1978 bis 2005. Agrarforschung 14, 542-547.
- GUTSER, R. & TH. EBERTSEDER (2002): Steuerung der Stickstoffkreisläufe landwirtschaftlicher Betriebe durch effiziente Verwertung der Wirtschaftsdünger. In: Neue Wege der Tierhaltung. KTBL-Schrift 408, Kuratorium f. Technik u. Bauwesen i.d. Landwirtschaft (KTBL). Darmstadt, 153-168.
- GUTSER, R., H.J. REENTS, I. RÜHLING, H. SCHMID & K.H. WEINFURTNER (2002): Flächen- und betriebsbezogene Indikatoren auf der Grundlage des Langzeitmonitorings. Forschungsverbund Agrarökosysteme München, Jahresbericht, Univ., Freising-Weihenstephan, 147-159.

- GUTSER, R., TH. EBERTSEDER, A. WEBER, M. SCHRAML & U. SCHMIDHALTER (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 439-446.
- GUTSER, R., TH. EBERTSEDER, M. SCHRAML, S. VON TUCHER & U. SCHMIDHALTER (2010): Stickstoffeffiziente und umweltschonende organische Düngung. In: Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. KTBL-Schrift 483, Kuratorium f. Technik u. Bauwesen i.d. Landwirtschaft (KTBL). Darmstadt, 31-50.
- HAAS, G.(2010): Wasserschutz im Ökologischen Landbau: Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft. Agraringenieurbüro Dr. habil. Guido Haas, Bad Honnef. <https://orgprints.org/id/eprint/16897/>
- HAAS, G. & CHR. DEITERT (2004): Stoffflussanalyse und Produktionseffizienz der Milchviehhaltung unterschiedlich intensiver ökologisch wirtschaftender Betriebe. Forschungsbericht FKZ 020E462, Institut f. Organischen Landbau, Bonn. <https://orgprints.org/id/eprint/5163/>
- HAAS, G., CHR. DEITERT & U. KÖPKE (2007): Farm-gate nutrient balance assessment of organic dairy farms at different intensity levels in Germany. *Renewable Agriculture Food Systems* 22, 223-232.
- HAASE, G., H. RICHTER, A. BERNHARDT, K. MANNSFELD, R. SCHMIDT & H. BARTEL (1986): Sächsische Lößgefülle. In: Naturräume der sächsischen Bezirke. Sächsische Heimatblätter 4, Dresden.
- HÄUBERMANN, U., M. BACH, L. KLEMENT & L. BREUER (2019): Stickstoff-Flächenbilanz für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017. Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen. Texte 131, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- HAFERKORN, U. (2013): N-Auswaschung unter Ackernutzung auf Böden der sächsischen Lössgefülle. In: KNOBLAUCH, S., E. ALBERT, U. HAFERKORN, J. HEYN, L. HEROLD, T. LIPPOLD, E. LEHMANN, J. LORENZ, B. ZACHOW, R. MEIßNER, J. SEEGER, M. SCHRÖDTER & C. STRAUß: Kooperation Lysimeter. Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Nordostdeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befrachtung der Gewässer. Thüringer Landesanstalt f. Landwirtschaft, Jena, 117-142.
- HALLER, L., S. MOAKES, U. NIGGLI, J. RIEDEL, M. STOLZE & M. THOMPSON (2020): Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. Texte 32, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- HARZER, N. (2006): Humus- und Nährstoffhaushalt ökologischer Betriebe und Systemversuche im Land Sachsen-Anhalt. Diplomarbeit, Institut f. Acker- u. Pflanzenbau, Univ., Halle-Wittenberg.
- HAUG, H.M. (1974): Probleme der Umstellung von Konventioneller auf Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise unter besonderer Berücksichtigung ackerbaulicher Maßnahmen. Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise, Darmstadt.
- HEGE, U., A. FISCHER & K. OFFENBERGER (2003): Nährstoffsalden und Nitratgehalte des Sickerwassers in ökologisch und konventionell bewirtschafteter Ackerflächen. Schriftenreihe d. Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft, Nr. 3, 7-13.
- HEIßENHUBER, A. & H. RING (1992): Ökonomische und umweltbezogene Aspekte des ökologischen Landbaus. Bayer. Landwirt. Jahrb. 68, 275-305.
- HEUWINKEL, H. (2001): N₂-Bindung in gemulchtem Klee gras: Messmethodik und Fixierleistung. Beitr. 6. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan, 183-186.
- HEUWINKEL, H., R. GUTSER & U. SCHMIDHALTER (2005): Auswirkung einer Mulch- statt Schnittnutzung von Klee gras auf die N-Flüsse in einer Fruchtfolge. In: Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft, Forschung für den ökologischen Landbau, 71-79.
http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriften-reihe_url_1_27.pdf
- HEYN, J. (2013): Bewirtschaftungsmodelle im Vergleich – Lysimeterversuch in Kassel-Harleshausen. In: KNOBLAUCH, S., E. ALBERT, U. HAFERKORN, J. HEYN, L. HEROLD, T. LIPPOLD, E. LEHMANN, J. LORENZ, B. ZACHOW, R. MEIßNER, J. SEEGER, M. SCHRÖDTER & C. STRAUß (2013): Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und

Nordostdeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befruchtung der Gewässer. Mehrländerprojekt, Thüringer Landesanstalt f. Landwirtschaft, Jena, 44-68.

- HIRSCHAUER, N., O. MUßHOFF, S. GRÜNER, U. FREY, I. THEESFELD & P. WAGNER (2016): Die Interpretation des p-Wertes – Grundsätzliche Missverständnisse. *J. Economics Statistics* 236, 557-575.
- HOFFMANN, G. (1991): Die Untersuchung der Böden. VDLUFA-Methodenbuch 1. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- HOFFMANN, H. & W. HÜBNER (2001): Ökologischer Landbau auf leichten Böden – Ertragsparameter und Bodenfruchtbarkeitskennziffern aus dem Demonstrationsversuch Ackerbausysteme in Blumberg bei Berlin. Beitr. 6. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan, 171-174.
- HOF-KAUTZ, C. (2019): Wie entwickeln sich langjährige viehlose Fruchtfolgen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus? Landwirtschaftskammer (LWK) Nordrhein-Westfalen, Köln-Auweiler.
- HONEGGER, A., R. WITWER, D. HEGGLIN, H.-R. OBERHOLZER, A. DE FERRON, P. JEANNERET & M. VAN DER HEIJDEN (2014): Auswirkungen langjähriger biologischer Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz* 5, 44-51.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Unternehmen. *Berichte aus der Agrarwirtschaft*, Shaker Verlag, Aachen.
- HÜLSBERGEN, K.-J. & B. KÜSTERMANN (2005): Development of an environmental management system for organic farms and its introduction into practice. *ISOFAR Proceedings Conf. "Researching sustainable systems"*, Adelaide, 460-463.
- HÜLSBERGEN, K.-J. & H. SCHMID (2010): Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. *Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. KTBL-Schrift* 483, 229-245.
- HÜLSBERGEN, K.-J. & G. RAHMANN (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Abschlussbericht Förderkennzeichen 06OE160 (TUM) und 06OE353 (TI). *Thünen Report* 8, Johann Heinrich v. Thünen-Institut, Braunschweig.
- HÜLSBERGEN K.-J., K. RAUHE, H. SCHARF & H. MATTHIES (1992): Langjähriger Einfluss kombinierter organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, Humusgehalt und Stickstoffverwertung. *Kühn-Arch.* 86, 11-24.
- JAROSCH, K.A., L. GUNST, D. DUBOIS, P. MÄDER & J. & MAYER (2017): Phosphor- und Kalium-Bilanzen über 35 Jahre DOK-Versuch & geschätzte K-Nachlieferungsraten auf einem Lössboden. Beitr. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan. <https://orgprints.org/id/eprint/31861/>
- JUNG, J., J. DRESSEL & R. KUCHENBUCH (1989): Nitrogen balance of legume-wheat cropping sequences. *J. Agron. Crop Sci.* 162, 1-9.
- KAUTZ, T., W. AMELUNG, F. EWERT, TH. GAISER, R. HORN, R. JAHN, M. JAVAUX, A. KEMNA, Y. KUZYAKOV, J.-C. MUNCH, S. PÄTZOLD, S. PETH, H.W. SCHERER, M. SCHLOTTER, H. SCHNEIDER, J. VANDERBORGH, D. VETTERLEIN, A. WALTER, G.L.B. WIESENBERG & U. KÖPKE (2013): Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review. *Soil Biology & Biochemistry* 57, 1003-1022.
- KELM, M., H. HÜWING & N. KEMPER (2007a): COMPASS. Vergleichende Analyse der pflanzlichen Produktion auf ökologischen und konventionellen Praxisbetrieben in Schleswig-Holstein. Endbericht, Universität, Kiel.
- KELM, M., R. LOGES & F. TAUBE (2007b): N-Auswaschung unter ökologisch und konventionell bewirtschafteten Praxisflächen in Norddeutschland – Ergebnisse aus dem Projekt COMPASS. Beitr. 9. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Hohenheim, 29-32.
- KERSCHBERER, M. & H. SCHRÖTER (2015): Von wegen sauer! DLG-Mitteilungen, Nr. 3, 26-29.
- KNOBLAUCH, S., E. ALBERT, U. HAFERKORN, J. HEYN, L. HEROLD, T. LIPPOLD, E. LEHMANN, J. LORENZ, B. ZACHOW, R. MEIßNER, J. SEEGER, M. SCHRÖDTER & C. STRAUß (2013): Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Nordostdeutschland und

Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befruchtung der Gewässer. Mehrländerprojekt, Thüringer Landesanstalt f. Landwirtschaft, Jena.

- KOCH, W. (2012): Grundbodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung und Düngung im ökologischen viehlosen Ackerbau der Magdeburger Börde. Vortrag, Jahrestagung d. Ökologischen Landbaus 5, Landesanstalt f. Landwirtschaft, Forsten u. Gartenbau, Bernburg-Strenzfeld.
- KOCH, W. (2019a): Ertragstrends in modellhaften Fruchtfolgen im mitteldeutschen Trockengebiet – Ergebnisse aus dem Versuch „Leistungsfähigkeit verschiedener Landbausysteme“ am Standort Bernburg. Vortrag, Internat. Arbeitsgemein. f. Bodenfruchtbarkeit, LTFE-Meeting, Gießen.
- KOCH, W. (2019b): Versuch Anbausysteme-Vergleich Bernburg. Vortrag, DLG-Anbausysteme-Vergleich, Agritechnica, Hannover.
- KÖHN, W. & P. LIMBERG (1996): Der internationale organische Stickstoffdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem nach drei Rotationen. Arch. Acker-, Pflanzenb. Bodenk. 40, 75-95.
- KÖPKE, U. (2016): Ressourcenschutz und ökologische Leistungen. In: FREYER, B.: Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt Verlag, Bern, Schweiz, 590-612.
- KOLBE, H. (1990): Kartoffeldüngung unter differenzierten ökologischen Bedingungen. Einfluss von Blatt- und Bodendüngung sowie Sorte und Klima auf Erträge und Inhaltsstoffe der Knollen zur Erntezeit und nach kontrollierter Lagerung. Severin Verlag, Göttingen.
- KOLBE, H. (1993): Acker- und pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Vergleich verschiedener landwirtschaftlicher Bewirtschaftungssysteme unterschiedlicher Intensität und Schlußfolgerungen für weitere notwendige Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Bedingungen in den neuen Bundesländern. Literaturstudie, Institut f. Bodenkultur u. Pflanzenbau, Sächsische Landesanstalt f. Landwirtschaft, Leipzig, unveröffentlicht.
- KOLBE, H. (1995): Nährstoffversorgung und Qualität der Kartoffel. Potato nutrition and tuber quality. Severin Verlag, Göttingen.
- KOLBE, H. (1997): Qualitäten des Ökologischen Landbaus und Fördermöglichkeiten im Rahmen des agrar-(umwelt)politischen Instrumentariums. In: KNICKEL, K.-H. & H. PRIEBE: Praktische Ansätze zur Verwirklichung einer umweltgerechten Landnutzung. Peter Lang Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt/Main, 219-235.
- KOLBE, H. (2000): Landnutzung und Wasserschutz. Der Einfluss von Stickstoff-Bilanzierung, N_{min} -Untersuchung und Nitrat-Auswaschung sowie Rückschlüsse für die Bewirtschaftung von Wasserschutzgebieten in Deutschland. Land Use and Water Protection. Effects on nitrogen budget, N_{min} -values, nitrate content and leaching in Germany. WLV Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig.
- KOLBE, H. (2006a): Fruchtfolgegestaltung im ökologischen und extensiven Landbau: Bewertung von Vorfruchtwirkungen. Pflanzenbauwiss. 10, 82-89.
- KOLBE, H. (2006b): Leistungsfähigkeit von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit für das Nährstoffmanagement des ökologischen Landbaus. Vortragsveranstaltung mit Feldtag „Forschung zum ökologischen Landbau in Sachsen“, Sächsische Landesanstalt f. Landwirtschaft, Roda. <https://orgprints.org/id/eprint/8975/>
- KOLBE, H. (2007): Wirkungsgrad organischer Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Kartoffeln im ökologischen Landbau. In: Berichte aus dem ökologischen Pflanzenbau. Schriftenreihe d. Sächsischen Landesanstalt f. Landwirtschaft, Heft 9, 22-46. <https://orgprints.org/id/eprint/11010/>
- KOLBE, H. (2008a): Effects of increasing fertilization in organic field fodder and arable systems on different soils and climatic conditions of eastern Germany. Annals Agrarian Sci. 6, Nr. 3, 15-24.
- KOLBE, H. (2008b): Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau. Faltblatt, Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Dresden.

- KOLBE, H. (2008c): Wirkung organischer Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Ökologischen Landbau. Arbeitspapier, FB Pflanzliche Erzeugung, Sächsische Landesanstalt f. Landwirtschaft, Leipzig. <https://orgprints.org/id/eprint/13624/>
- KOLBE, H. (2009a): Auswirkungen differenzierter Land- und Bodenbewirtschaftung auf den C- und N-Haushalt der Böden unter Berücksichtigung konkreter Szenarien der prognostizierten Klimaänderung im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe d. Landesamtes f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Heft 23, Dresden.
- KOLBE, H. (2009b): Vergleich von Methoden zur Berechnung der biologischen N₂-Fixierung von Leguminosen zum Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis. Pflanzenbauwiss. 13, 23-36.
- KOLBE, H. (2010): Phosphor und Kalium im ökologischen Landbau – aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien. In: Phosphor- und Kaliumdüngung – brauchen wir neue Düngekonzepte? Tagung d. Verbandes d. Landwirtschaftskammern (VLK) u. d. Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) in Würzburg, Bundesarbeitskreis Düngung, Frankfurt/Main, 117-137.
- KOLBE, H. (2011): Einfluss des Klimawandels auf Humus- und Stickstoffvorräte im Boden sowie Kompensationsmöglichkeiten durch Umstellung auf den Ökologischen Landbau am Beispiel von Sachsen. Schriftenreihe d. Landesamtes f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Heft 6, 4-15.
- KOLBE, H. (2012a): Zusammenführende Untersuchungen zur Genauigkeit und Anwendung von Methoden der Humusbilanzierung im konventionellen und ökologischen Landbau. In: Bilanzierungsmethoden und Versorgungsniveau für Humus. Schriftenreihe d. Sächsischen Landesamtes f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Dresden, Heft 19, 4-85.
- KOLBE, H. (2012b): Untersuchungen zum Niveau der Humusversorgung in Sachsen. In: Bilanzierungsmethoden und Versorgungsniveau für Humus. Schriftenreihe d. Sächsischen Landesamtes f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Heft 19, 86-107.
- KOLBE, H. (2013): Anwendungsbeispiele zur standortangepassten Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. In: Standortangepasste Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Informationen für Praxis, Beratung und Schulung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Dresden.
- KOLBE, H. (2015a): Wie ist es um die Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau bestellt: Nährstoffversorgung und Humusstatus? In: Bodenfruchtbarkeit – Grundlage erfolgreicher Landwirtschaft. Tagung d. Verbandes d. Landwirtschaftskammern (VLK) u. d. Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) in Würzburg, Bundesarbeitskreis Düngung, Frankfurt/Main, 89-123.
- KOLBE, H. (2015b): Humusumsatz und Nährstoffbilanzen – Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus Dauerversuchen Mitteleuropas. Vortrag, 50 Jahre Dauerversuche L 28 in Methau, Spröda und Bad Salzungen. Thüringer Landesanstalt f. Landwirtschaft (TLL), Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG), LfULG, Nossen.
- KOLBE, H. (2016): C_{org}- und N_t-Bilanz sowie N-Effizienz in Anbausystemen mit mineralischer und organischer Düngung. Vortrag, „Nachhaltige Sicherung der Humusgehalte und Bodenfruchtbarkeit unter Beachtung von Klimawandel und EU-WRRL“. Workshop, Kooperation der Landesanstalten und Landesämter für Landwirtschaft, Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG), Nossen.
- KOLBE, H. (2019): Einfluss mineralischer P- und K-Düngung auf die Ertragsreaktion der Fruchtarten in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung des Bodens unter den Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus in Deutschland. J. f. Kulturpflanzen 71, 161-181.
- KOLBE, H. (2021): Berichte aus dem Ökolandbau 2021 – Nährstoffumsatz, Ertrag und Qualität von Kartoffeln. Einfluss mineralischer und organischer Düngemittel auf den Nährstoffumsatz im Boden sowie Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Ökologischen Landbau. Dr. H. Kolbe, Schkeuditz, 1-144. <https://slub.qucosa.de/api/qucosa%3A76720/attachment/ATT-0/>
- KOLBE, H. & U. BECKMANN (2003): Einfluss extrem unterschiedlich hoher mineralischer und organischer Düngung und Beregnung auf Ertragsleistung der Kulturarten, Bodenfruchtbarkeit und Umwelt-

- verträglichkeit eines Sandbodens. In: Umweltwirkungen von Extensivierungsmaßnahmen. Schriftenreihe d. Sächsischen Landesanstalt f. Landwirtschaft 8, H. 6, 1-41.
- KOLBE, H. & B. KÖHLER (2008): Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau. Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung. In: BEFU – Teil Ökologischer Landbau. Schriftenreihe d. Landesamtes f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Heft 36, 1-256.
- KOLBE, H. & M. SCHUSTER (2011): Bodenfruchtbarkeit im Öko-Betrieb. Untersuchungsmethoden. Broschüre, Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Dresden.
- KOLBE, H. & J. ZIMMER (2015): Leitfaden zur Humusversorgung. Informationen für Praxis, Beratung und Schulung. Broschüre, Verbund der Landesanstalten und Landesämter für Landwirtschaft, Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfJULG), Dresden.
- KOLBE, H. & D. MEYER (2021): Schlaggenaue Analyse von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus im Freistaat Sachsen: Nährstoff- und Humusmanagement. Berichte Landwirtschaft 99, 2, 1-38.
<https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/315>
- KOLBE, H., U. JÄCKEL & M. SCHUSTER (1999): Entwicklung der Nährstoffgehalte und des pH-Wertes im Tiefenprofil von Testflächen im Verlauf der Umstellung auf ökologischen Landbau. Z. f. Kulturtechnik u. Landentwicklung 40, 145-151.
- KOLBE, H., U. BECKMANN & A. MODEL (2003): Einfluss von Futterbau- und Marktfruchtsystemen auf Leistungen der Fruchtfolge, Bodenfruchtbarkeit und Umwelt. Beitr. 7. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Wien, 53-56.
- KOLBE, H., E. SCHMIDT & S. KLAGES (2015): Bodenfruchtbarkeit und Düngung. In: KTBL: Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Kuratorium f. Technik u. Bauwesen i.d. Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt, 103-151.
- KOLBE, H., D., MEYER & K. SCHMIDTKE (2021): Schlaggenaue Analyse von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus im Freistaat Sachsen: Fruchtfolgegestaltung. Berichte Landwirtschaft 99, 1, 1–28.
- KOLBE, H., W. SCHLIEPHAKE & P. MÜLLER (2022): Berichte aus dem Ökolandbau 2022 – Parameterdatensätze von organischen Materialien. Ernte- und Wurzelrückstände und Nährstoffgehalte der Fruchtarten, Nährstoffgehalte organischer Düngemittel sowie Abbauverhalten von organischen Materialien im Boden. Dr. H. Kolbe, Schkeuditz, 1-94. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-775069>
- KOLBE, H., U. FRANKO, E. THIEL & E. LIEB (2013): Verfahren zur Abschätzung von Humusreproduktion und N-Umsatz im ökologischen und konventionellen Ackerbau. In: Humusreproduktion und N-Umsatz. Schriftenreihe d. Landesamtes f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Heft 1, 1-119.
- KOLBE, H., S. MEINCK, F. RIKABI & I. SCHLIEßER (in Vorbereitung): Einfluss von Boden, Klima und Bewirtschaftung auf C_{org} , N_t und N-Effizienz im Ackerbau. Mathematisch-statistische Auswertungen von Ergebnissen aus Dauerversuchen in Mitteleuropa.
- KOLBE, H., M. SCHUSTER, M. HÄNSEL, I. SCHLIEßER, B. PÖLITZ, E. STEFFEN & R. POMMER (2006): Feldfutterbau und Gründüngung im Ökologischen Landbau. Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt f. Landwirtschaft, Dresden.
- KÖPKE, U., C. DAHN, F. TÄUFER, & J. ZALLER (2006): Soil fertility properties in a long-term field experiment with organic and biodynamic farmyard manure amendment. In: RAUPP, J. et al.: Long term field experiments in organic farming. ISOFAR Scientific Series 1. Verlag Dr. Köster, Berlin. 33-40.
- KÖPPEN, D. (1997): Langjährige Entwicklung des Gehaltes an pflanzenverfügbaren Nährstoffen in unterschiedlichen Bodennutzungssystemen. Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 122-128.
- KÖPPEN, D., D. EICH & A. KERNER (1990): Einfluss 80jähriger differenzierter Düngung auf Kartoffelertrag und -inhaltsstoffe bei der Sorte „Adretta“ im Statischen Versuch Bad Lauchstädt. Arch. Acker-, Pflanzenb. Bodenk. 34, 63-70.

- KÖRSCHENS, M., E. ALBERT, M. ARMBRUSTER, D. BARKUSKY, M. BAUMECKER, L. BEHLE-SCHALK, R. BISCHOFF, Z. ČERGAN, F. ELLMER, F. HERBST, S. HOFFMANN, B. HOFMANN, T. KISMANYOKY, J. KUBAT, E. KUNZOVA, CHR. LOPEZ-FANDO, I. MERBACH, W. MERBACH, M.T. PARDOR, J. ROGASIK, J. RÜHLMANN, H. SPIEGEL, E. SCHULZ, A. TAJNSEK, Z. TOTH, H. WEGENER & W. ZORN (2012): Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Arch. Agron. Soil Sci.* 59, 1-24.
- KRAUSS, M., A. BERNER, F. PERROCHET, R. FREI, U. NIGGLI & P. MÄDER (2020): Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic farming – a synthesis of 15 years. *Scientific Reports* 10, 4403. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-61320-8.pdf>
- KTBL (2015): Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- KÜCHLER, W., & W. SOMMER (2005): Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick. Broschüre, Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG), Dresden.
- KÜHLING, I., J. HESS & D. TRAUTZ (2015): Nachhaltige Intensivierung und Ökolandbau – passt das zusammen? *Ökologie & Landbau*, Nr. 3, 18-20.
- KÜSTERMANN, B., O. CHRISTEN & K.-J. HÜLSBERGEN (2010): Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agricult., Ecosyst. Environm.* 135, 70-80.
- KWIATKOWSKI, C.A. & E. HARASIM (2020): Chemical properties of soil in four-field crop rotations under organic and conventional farming systems. *Agronomy* 2020, 10, 1045, 1-16.
- LEISEN, E. (2013): Veränderung der Mineralstoffgehalte in Böden und Pflanzen von Öko-Milchviehbetrieben in den letzten 15 Jahren. In: Leitbetriebe Ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen, Versuchsbericht 2013, 220-226.
- LEISEN, E. (2017): Hoftor-Bilanz von Phosphor- und Kalium in Öko-Milchviehbetrieben. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan. <https://orgprints.org/id/eprint/31553/>
- LEITHOLD, G., K.-J. HÜLSBERGEN, D. MICHEL & H. SCHÖNMEIER (1997): Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. *Initiativen z. Umweltschutz* 5, Zeller Verlag, Osnabrück, 43-54.
- LFULG (2008): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. Broschüre, Staatsministerium f. Umwelt u. Landwirtschaft, Dresden. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/12173>
- LFULG (2012): Boden-Klima-Räume Sachsens (regionalisierte Darstellung). Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG), Dresden. <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/boden-klima-raeume-15281.html>
- LIPPOLD, H. & E. ALBERT (2003): Atmosphärische Deposition von Stickstoff und Schwefel (nass, fest und gasförmig) auf landwirtschaftlichen Stationen Sachsens. *VDLUFA-Schriftenreihe* 58, Kongressband 2002, 99-101.
- LOES, A.-K. (2003): Studies of the availability of soil phosphorus (P) and potassium (K) in organic farming systems, and of plant adaptations to low P- and K-availability. Diss., Univ., Ås, Norway.
- LOES, A.-K. & A.F. OGAARD (1997): Changes in the nutrient content of agricultural soil on conversion to organic farming in relation to farm-level nutrient balances and soil contents of clay and organic matter. *Acta Agric. Scandinavia, B Soil Plant Sci.* 47, 201-214.
- LOES, A.-K. & A.F. OGAARD (2003): Concentration of soil potassium after long-term organic dairy production. *Intern. J. Agricult. Sustainability* 1, 14-29.
- LOGES, R. & F. TAUBE (2011): Nitratauswaschung, Ertrag und N-Bilanz zweier Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Leguminosenanteil im mehrjährigen Vergleich. *Beitr. 11. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Gießen*, 89-92.

- LOGES, R., A. KASKE & F. TAUBE (1999): Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: OLESEN, J.E., R. ELTUN, M.J. GOODING, E.S. JENSEN & U. KÖPKE: Designing and testing crop rotations for organic farming. DARCOF Report, Nr. 1, 181-190.
- MAAß, H., B. BLUMENSTEIN, C. BRUNS & D. MÖLLER (2017): Alternativen der Klee grasnutzung in vieharmen und viehlosen Betrieben. Beitr. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan.
<https://orgprints.org/id/eprint/31859/>
- MÄDER, P., A. BERNER, H.U. DIERAUER & M. MESSMER (2011): Langjährige Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung auf unterschiedlichen Standorten. Beitr. 11. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Gießen.
<https://orgprints.org/id/eprint/17771/>
- MÄDER, P., A. FLIESSBACH, D. DUBOIS, L. GUNST, P. FRIED & U. NIGGLI (2002): Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.
- MALLAST, J., J. RÜHLMANN & H.-H. STEINMANN (2015): Wird „Pfluglos“ überbewertet? DLG-Mitteilungen, Nr. 6, 58-60.
- MAYER, J. & P. MÄDER (2016): Langzeitversuche – Eine Analyse der Ertragsentwicklung. In: FREYER, B.: Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB, Stuttgart, 421-445.
- MAYER, J., K.A. JAROSCH, A. HAMMELEHLE, D. DUBOIS, L. GUNST, C. BOSSHARD, E. FROSSARD, P. MÄDER & A. OBERSON (2017): Stickstoffbilanzen in biologischen und konventionellen Anbausystemen – Das Effizienz-Nachhaltigkeits-Dilemma. Beitr. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan.
<https://orgprints.org/id/eprint/31925/>
- MEEMKEN, E.-M. & M. QAIM (2018): Organic agriculture, food security, and the environment. *Ann. Rev. Resource Economics* 10, 39-63.
- MEINEKE, S. (1994): Einfluss mineralischer, organischer sowie organisch-mineralischer Düngung auf Erträge und Gehalte an einigen qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen in Kartoffeln, Möhren, Spinat und Tomaten aus mehrjährigen Feld- und Gefäßversuchen. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- MERBACH, W., F. HERBST, W. GANS & U. VÖLKER (2019): pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit im „Ewigen Roggenbau“ (Halle) im Verlauf von 140 Jahren. LTFE-Meeting 2019, Gießen, Abstracts, 33.
- MEYER, D. & H. KOLBE (2021): Improvement of nitrogen-fertilizer recommendation by consideration of long-term site and cultivation effected mineralization. *Agronomy* 2021, 11(12), 2492, 1-24.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11122492>
- MEYER, D., N. GRANDNER & H. KOLBE (2019): Strategien zur Optimierung betrieblicher Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe von landwirtschaftlichen Anbausystemen in Sachsen. In: Optimierung von Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufen. Schriftenreihe d. Sächsischen Landesamts f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Dresden, Heft 15, 1-138.
- MEYER, D., H. KOLBE & M. SCHUSTER (2021a): Berichte aus dem Ökolandbau 2021 – Das Ökofeld Roda. Ergebnisse zur langjährigen Bewirtschaftung von Feldversuchsflächen der Versuchsstation Roda in Sachsen. Dr. H. Kolbe, Schkeuditz, 1-139.
<https://slub.gucosa.de/api/gucosa%3A76643/attachment/ATT-0/>
- MEYER, D., K. SCHMIDTKE, B. WUNDERLICH, J. LAUTER, Y. WENDROCK, N. GRANDNER & H. KOLBE (2021b): Berichte aus dem Ökolandbau 2021 – Nährstoffmanagement und Fruchtfolgegestaltung in sächsischen Ökobetrieben. Analyse des Nährstoff- und Humusmanagements sowie der Fruchtfolgegestaltung in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus im Freistaat Sachsen. Dr. H. Kolbe, Schkeuditz, 1-104.
<https://slub.gucosa.de/api/gucosa%3A76918/attachment/ATT-0/>
- MITSCHERLICH, E.A. (1909): Das Gesetz vom Minimum und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. *Landwirtsch. Jahrb.* 38, 537-552.
- MODEL, A. (2003): Spurengasflüsse (N₂O, CH₄, CO₂) in verschiedenen Anbausystemen des Ökologischen Landbaus. Diss., Univ., Halle/Saale.

- MODEL, A., U. BECKMANN, R. RUSSOW & H. KOLBE (2004): Trace gas fluxes (N₂O, CH₄) of two different cropping systems of organic farming. In: A. WEISKE: Greenhouse gas emissions from agriculture mitigation options and strategies. Proceedings of the Intern. Conf., Leipzig, 31-37.
- MÖLLER, D. (2018): Betriebswirtschaft. In: WACHENDORF, M., A. BÜRKERT & R. GRAß: Ökologische Landwirtschaft. Eugen Ulmer, Stuttgart, 282-296.
- MÖLLER, K. (2014): Nährstoffstatus und Nährstoffbilanzen im Ökologischen Gemüsebau. Vortrag, KTBL-Fachgespräch „Organische Handelsdünger im Ökologischen Landbau, Stand des Wissens und Forschungsbedarf“. Bioland Treffpunkt, Fulda.
https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Handelsduenger/Naehrstoffstatus-Naehrstoffbilanzen.pdf
- MÖLLER, K. (2019): Reformieren statt Romantisieren! Ökologie & Landbau, Nr. 4, 20-22.
- MÖLLER, K. & U. SCHULTHEIß (2014): Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. KTBL-Schrift 499. Kuratorium f. Technik u. Bauwesen i.d. Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- MÖLLER, K & J.K. FRIEDEL (2016): Pflanzenernährung und Düngung. In: FREYER, B.: Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt Verlag, Bern, Schweiz, 467-485.
- MÖLLER, K., H. KOLBE & H. BÖHM (2003): Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf, Österreich.
- MÖLLER, K., W. STINNER & A. DEUKER (2008): Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 82, 209-232.
- MULLER, A., CHR. SCHADER, N. EL-HAGE SCIALABBA, J. BRÜGGEMANN, A. ISENSEE, K.-H. ERB, P. SMITH, P. KLOCKE, F. LEIBER, M. STOLZE & U. NIGGLI (2017): Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. Nature Communications 8, 1290. <https://www.nature.com/articles/s41467-017-01410-w.pdf>
- MÜLLER, P., W. SCHLIEPHAKE & H. KOLBE (2022): Berichte aus dem Ökolandbau 2022 – Nachwirkungsvermögen von Zwischenfrüchten und organischer Düngung. Einfluss des Zwischenfruchtanbaus auf das Nachwirkungsvermögen organischer Düngemittel beim Anbau von Kartoffeln, Weizen und Mais auf einem Lehmboden im ökologischen Landbau. Ergebnisse aus Feld- und Gefäßversuchen. Dr. H. Kolbe, Schkeuditz, 1-138. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-775091>
- MUNRO, T.L., H.F. COOK & H.C. LEE (2002): Sustainability indicators used to compare properties of organic and conventionally managed topsoils. Biolog. Agric. Hort. 20, 201-214.
- NAGEL, H.-D., A. SCHLUTOW & PH. HÜBENER (2004): Aktualisierung und Präzisierung der Erfassung und Kartierung von ökologischen Belastungsgrenzen und ihrer Überschreitungen im Freistaat Sachsen. Landesamt f. Umwelt u. Geologie. https://www.luft.sachsen.de/download/luft/Critical_Loads_2004.pdf
- NEUHOFF, D. (2015): Ertragspotentiale ökologischer Anbausysteme aus pflanzenbaulicher Sicht. Beitr. 13. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Eberswalde. <https://orgprints.org/id/eprint/27193/>
- NEUMANN, H.J. (2005): Optimierungsstrategien für den Getreideanbau im ökologischen Landbau: System „weite Reihe“ und Direktsaat in ausdauernden Weißklee („Bi-cropping“). Diss., Univ., Kiel.
- NIEDERMAIER, T. (1995): Düngemitteluntersuchung. VDLUFA-Methodenbuch II, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- NIGGLI, U. (2013): Ökolandbau: Alle Zeichen stehen auf Intensivierung. Mit mehr Forschung ist reichlich Potenzial zu heben. Lebendige Erde, Nr. 5. http://www.lebendigeerde.de/index.php?id=hintergrund_135
- OEHL, F., A. OBERSON, H.U. TAGMANN, J.M. BESSON, D. DUBOIS, P. MÄDER, H.-R. ROTH & E. FROSSARD (2002): Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. Nutr. Cycling Agroecosyst. 62, 25-35.

- OENEMA, O., F. BRENTROP, J. LAMMEL, P. BASCOU, G. BILLEN, A. DOBERMANN, J.W. ERISMAN, T. GARNETT, et al. (2015): Nitrogen Use Efficiency (NUE) – an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Wageningen University: Alterra, Wageningen, The Netherlands. <http://www.eunep.com/wp-content/uploads/2017/03/Report-NUE-Indicator-Nitrogen-Expert-Panel-18-12-2015.pdf>
- OWEN, J., S. LEBLANC & S.A.E. FILMORE (2008): Season-long supply of plant-available nutrients from compost and fertiliser in a long term organic vs. conventional snap bean rotations experiment. IFOAM World Congress 16, Modena, Italy. <https://orgprints.org/id/eprint/11798/>
- PARCOM (1993): PARCOM guide lines for calculating mineral balances. Meeting of the ad hoc working group on measures to reduce the nutrient load from agriculture 3, The Hague, Niederlande.
- PAUL, E.A. & F.E. CLARK (1989): Soil microbiology and biochemistry. Academy Press, San Diego, USA.
- PAULSEN, H.M., H. BÖHM & B. FREYER (2016): Fruchtfolgen. In: : FREYER, B.: Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt Verlag, Bern, Schweiz, 336-366.
- POMMER, G. & G. BACHTHALER (1978): Ertragsbeeinflussende Wirkungen verschiedener Formen der organischen Düngung in langjährigen Getreidefruchtfolgen. Z. Acker- Pflanzenb. 147, 241-254.
- QUINTERN, M., R.G. JOERGENSEN & H. WILDHAGEN (2006): Permanent-soil monitoring sites for documentation of soil-fertility development after changing from conventional to organic farming. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169, 564-572.
- QUIRIN, M., C. EMMERLING & D. SCHRÖDER (2006): Phosphorgehalte und -bilanzen konventionell, integriert und biologisch bewirtschafteter Acker- und Grünlandflächen und Maßnahmen zum Phosphorabbau hoch versorgter Flächen. Pflanzenbauwiss. 10, 60-65.
- RASMUSSEN, I., M. ASKEGAARD & J.E. OLESEN (2006): Organic crop rotation experiments – short-term versus longer-term results. Vortrag, Joint Organic Congress, Odense, Denmark. <https://orgprints.org/id/eprint/7680/>
- RAUPP, J. (2001): Forschungsthemen und Ergebnisse eines Langzeitdüngungsversuchs in zwei Jahrzehnten, ein Beitrag zur Bewertung von pflanzenbaulichen Langzeitversuchen. Berichte Landwirtschaft 79, 71-93.
- RAUSSEN, TH., F. RICHTER, M. KERN, H.-J. MÜLLER, R. GOTTSCHALL & CHR. BRUNS (2019): Nährstoffrückführung durch Biogut- und Grüngutkomposte in den Ökologischen Landbau Hessens (Öko-Kompost). Endbericht, Hessisches Ministerium f. Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft u. Verbraucherschutz (HMUKLV), Wiesbaden.
- RECKNAGEL, J. & H. NUßBAUER (2017): Ertragsentwicklung langjährig viehlos bewirtschafteter Öko-Ackerflächen am Oberrhein. Beitr. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan, 330-331. <https://orgprints.org/id/eprint/31552/>
- REEB, D. (2004): Analyse und Bewertung des Humus- und Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Diplomarbeit, Institut f. Pflanzenbau u. Pflanzenzüchtung II, Univ., Gießen.
- REENTS, H.J., S. KIMMELMANN, M. KAINZ & K.-J. HÜLSBERGEN (2011): Biogas-Fruchtfolgeversuch Viehhausen – Versuchsanlage sowie Ertrag- und Qualitätseffekte bei Winterweizen. Beitr. 11. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Gießen, 76-80.
- REIMER, M., K. MÖLLER & T.E. HARTMANN (2020): Meta-analysis of nutrient budgets in organic farms across Europe. Org. Agr. 10, 65-77.
- REIMER, M., T.E. HARTMANN, M. OELOFSE, J. MAGID, E.K. BÜNEMANN & K. MÖLLER (2020): Reliance on biological nitrogen fixation depletes soil phosphorus and potassium reserves. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 118, 273-291.

- REMPELOS, L., M. BARANSKI, J. WANG, T.N. ADAMS, K. ADEBUSUYI, et al. (2021): Integrated soil and crop management in organic agriculture: a logical framework to ensure food quality and human health? *Agronomy* 11, 2494. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122494>
- RICHTER, S. & J. DEBRUCK (2001): Einfluss der Reihenweite auf Ertrag und Qualität von Winterweizen. *Beitr. 6. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan*, 233-236.
- RICHTER, CHR., B. HEILIGTAG, R. SCHMIDT & E. KÖLSCH (1997): Einfluss unterschiedlicher Düngung auf pH, N, C, und die Gehalte an CAL-extrahierbarem K und P im Boden. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 160, 107-111.
- RIFFEL, A., K. BECKER & G. LEITHOLD (2015): Bemessung einer Schwefel-Düngung in einem Luzerne-Klee gras-Bestand im 2. Hauptnutzungsjahr. *Beitr. 13. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Eberswalde*. <https://orgprints.org/id/eprint/27204/>
- RILEY, H., A.-K. LØES, S. HANSEN & S. DRAGLAND (2003): Yield responses and nutrient utilization with the use of chopped grass and clover material as surface mulches in an organic vegetable growing system. *Biolog. Agricult. Horticult.* 21, 63-90.
- ROGASIK, J., S. OBENAUF, M. LÜTTICH & R. ELLERBROCK (1997): Faktoreinsatz in der Landwirtschaft – ein Beitrag zur Ressourcenschonung (Daten und Analysen aus dem Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch). *Arch. Acker- Pfl. Boden.* 42, 247-263.
- RUHE, I., R. LOGES & F. TAUBE (2001): Vergleichende Analyse der N-Flüsse in Fruchtfolgen N-intensiver und N-extensiver ökologischer Produktionssysteme unter besonderer Berücksichtigung der Nitratverluste. *Beitr. 6. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan*, 237-240.
- SANDERS, J. & J. HEß (2019): Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. *Thünen Report, Nr. 65*. Johann Heinrich v. Thünen-Institut, Braunschweig.
- SAUERBECK, D. (1985): Funktion, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer Sicht. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart.
- SCHARF, H. & H. SCHÖNMEIER (1997): Organisch und anorganisch gebundener Phosphor im Boden nach langjähriger unterschiedlicher Gülle- und Mineraldüngung. *Kühn-Arch.* 91, 35-46.
- SCHELLER, E., U. KOI & CHR. MORITZ (1995): Der Einfluss mehrjähriger Luzerne auf die Nitrat-N-Gehalte der ungesättigten Zone im tieferen Unterboden. *Beitr. 3. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Kiel*, 189-192.
- SCHERER, H.W. & G. WELP (2008): Kompost fördert S-Versorgung der Pflanzen. *Getreide Magazin, Nr. 3, Sonderdruck*, 1-4.
- SCHERER, H.W., W. WERNER & A. KOHL (1988): Einfluss langjähriger Gülldüngung auf den Nährstoffhaushalt des Bodens. 1. Mitteilung: N-Akkumulation und N-Nachlieferungsvermögen. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 151, 57-61.
- SCHMID, H., M. BRAUN & K.-J. HÜLSBERGEN (2012): Klimawirksamkeit und Nachhaltigkeit von bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben. In: *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Schriftenreihe d. Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft* 4, 137-143.
- SCHMID, H., M. BRAUN & K.-J. HÜLSBERGEN (2013): Treibhausgasbilanzen und ökologische Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion – Ergebnisse aus dem Netzwerk der Pilotbetriebe. In: HÜLSBERGEN, K.-J. & G. RAHMANN: *Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben*. *Thünen Report* 8, 259-293.
- SCHMIDT, H. (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau. Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. *Diss., Univ. Gesamthochschule, Kassel*.
- SCHMIDT, H. (2004): *Viehloser Öko-Ackerbau*. 1. Auflage, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- SCHMIDTKE, H. (1997): Selbstregulierung der N-Zufuhr im Ökologischen Landbau – ein Wirkungsmechanismus zum Schutz des Grundwassers? *Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn*, 21-27.

- SCHMIDTKE, K. & G. LUX (2015): Wirkung verschiedener Verfahren der Schwefeldüngung auf Ertragsleistung und Vorruchtwert von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben BOELN 2811OE110 und BOELN2811OE111. <https://orgprints.org/id/eprint/29783/>
- SCHMIDTKE, K. & R. RAUBER (2000): Stickstoffeffizienz von Leguminosen im Ackerbau. In: CHR. MÖLLERS: Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Initiativen z. Umweltschutz 21, E. Schmidt Verlag, Berlin, 48-69.
- SCHMITT, L. & TH. DEWES (1997): N₂-Fixierung und N-Flüsse in und unter Klee grasbeständen bei viehloser und viehhaltender Bewirtschaftung. Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 258-264.
- SCHNEIDER, R., G. SALZEDER, M. SCHMIDT, K. WIESINGER & P. URBATZKA (2013): Einfluss verschiedener Fruchtfolgen viehhaltender und viehloser Systeme auf Ertrag und Produktivität: Ergebnisse eines Dauerfeldversuches. Beitr. 12. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 54-57.
- SCHRÖDER, J.J., A.G. JANSEN & G.J. HILHORST (2005): Long-term nitrogen supply from cattle slurry. Soil Use Management 21, 196-204.
- SCHUBERT, S. & D. STEFFENS (2019): Stickstoff- und Protonenhaushalt in einer Ackerbohnen-Weizen-Fruchtfolge: 18 Jahre Dauerfeldversuch Launsbacher Weg. LTFE-Meeting 2019, Gießen, Abstracts, 29.
- SCHULTE, G. (1996): Bodenchemische und bodenbiologische Untersuchungen ökologisch bewirtschafteter Böden in Rheinland-Pfalz unter besonderer Berücksichtigung der Nitratproblematik. Diss., Univ., Trier.
- SCHULTE, G. & D. SCHRÖDER (1996): P- und K-Extraktionsverfahren zur Kennzeichnung des Versorgungsgrades unterschiedlich lange ökologisch bewirtschafteter Böden in Rheinland-Pfalz. VDLUFA-Schriftenreihe 44, Kongressband 1996, 437-440.
- SCHULZ, F. (2012): Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Effekte auf Flächenproduktivität, Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit. Diss., Univ., Gießen.
- SCHULZ, F., C. BROCK, & G. LEITHOLD (2013): Viehhaltung im Ökologischen Landbau – ja oder nein? Effekte auf Bodenfruchtbarkeit, N-Bilanzen und Erträge. Beitr. 12. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn. <https://orgprints.org/id/eprint/21379/>
- SCHULZ, F., C. BROCK, L. KNEBL & G. LEITHOLD (2017): Gemischtbetrieb mit Viehhaltung vs. viehloser Ökolandbau. 3. Rotation im Dauerfeldversuch Gladbacherhof. Beitr. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan. <https://orgprints.org/id/eprint/31955/>
- SCHUPHAN, W. (1976): Mensch und Nahrungspflanze. Der Biologische Wert der Nahrungspflanze in Abhängigkeit von Pestizideinsatz, Bodenqualität und Düngung. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, Niederlande.
- SCHUSTER, M. & H. KOLBE (2015): Einfluss von Stroh- und Gründüngung auf die Ertrags- und Qualitätsleistung von Hafer in viehlosen Anbausystemen des ökologischen Landbaus. In: Berichte aus dem Ökolandbau. Schriftenreihe d. Landesamtes f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie, Heft 2, 4-41.
- SEUFERT, V., N. RAMANKUTTY & J.A. FOLEY (2012): Comparing the yield of organic and conventional agriculture. Nature 485, 229-232.
- SEURI, P. (2008): Nitrogen utilization in integrated crop and animal production. IFOAM Organic World Congress 16, Modena. <https://orgprints.org/id/eprint/12304/>
- SHEN, P., M. XU, H. ZHANG, X. YANG, S. HUANG, S. ZHANG, & X. HE (2014): Long-term response of soil Olsen P and organic C to the depletion or addition of chemical and organic fertilizers. Catena 118, 20-27.
- SMITH, S.J. & A.N. SHARPLEY (1990): Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated crop residues. Agron. J. 82, 112-116.
- SOLBERG, S.O. (1995): Influence of crops and cultivation management on the nitrogen leaching potential on ecological farms in south east Norway. In: KRISTENSEN, L. et al.: Nitrogen leaching in ecological agriculture. Proceedings Internat. Workshop, Univ., Copenhagen, Denmark, 115-121.

- SOMMER, H. (2010): Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Giessener Schriften z. Ökologischen Landbau 3. Dr. Köster Verlag, Berlin.
- SOMMER, H., A. SCHMID-EISERT, K. FRANZ & G. LEITHOLD (2011): Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau: Ergebnisse einer 14-jährigen Fallstudie am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Beitr. 11. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Band 1, Gießen, 159-162.
- SOMMER, C. KRUTZINNA, J. KEIL & J. HEß (2015): Intensivierung einer Fruchtfolge unter ökologischen Bewirtschaftungsbedingungen – Bewertung der Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit. Beitr. 13. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Eberswalde. <https://orgprints.org/id/eprint/27159/>
- STAUFFER, W. & E. SPIESS (2001): Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Nitratauswaschung. Agrarforschung 8, 324-329.
- STEFFENS, D., TH. LEPPIN, N. LUSCHIN-EBENGREUTH, Z.M. YANG & S. SCHUBERT (2010): Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 765-771.
- STEINSHAMN, H. (2001): Effects of cattle slurry on the growth potential and clover proportion of organically managed grass-clover leys. Acta Agricult. Scandinavica, Section B, Soil and Plant Sci. 51, 113-124.
- STUMM, C. & U. KÖPKE (2015): Optimierung des Futterleguminosenanbaus im viehlosen Acker- und Gemüsebau. Beitr. 13. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Eberswalde. <https://orgprints.org/id/eprint/27196/>
- SURBÖCK, A., M. HEINZINGER, H. SCHMID, J.K. FRIEDEL & B. FREYER (2013): Auswirkungen unterschiedlicher Leguminosenanteile in der Fruchtfolge auf Humus- und Stickstoffhaushalt. Beitr. 12. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 164-165.
- SURBÖCK, A., J.K. FRIEDEL, M. HEINZINGER, A. SCHWEINZER & B. FREYER (2017): Auswirkungen unterschiedlicher Vorfrüchte und Düngungssysteme auf Ertrag und Qualität von Winterweizen. Poster, Beitr. 14. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Freising-Weihenstephan. <https://orgprints.org/id/eprint/31616/>
- TAUBE, F., R. LOGES, M. KELM & U. LATACZ-LOHMANN (2005): Vergleich des ökologischen und konventionellen Ackerbaus im Hinblick auf Leistungen und ökologische Effekte auf Hohertragsstandorten Norddeutschlands (An economic and ecological comparison of organic and conventional arable farming systems in Northern Germany). Berichte Landwirtschaft 83, 165-176.
- THE ROYAL SOCIETY (2009): Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/publications/2009/4294967719.pdf
- THOMSEN, I.K., M. SAMSON, M. CAREA & V. NARDUCCI (2011): The influence of long-term inputs of catch crops and cereal straw on yield, protein composition and technological quality of spring and winter wheat. Internat. J. Food Sci. Technol. 46, 216-220.
- THORUP-KRISTENSEN, K. (2002): Six years results from an organic vegetable crop rotation aimed at self-sufficiency in nitrogen. Internat. Horticult. Congress & Exhibition (IHC2002), Toronto, Canada. <https://orgprints.org/id/eprint/3874/>
- THORUP-KRISTENSEN, K., D.B. DRESBOLL & H.L. KRISTENSEN (2012): Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. Europ. J. Agron. 37, 66-82.
- TLL (2010): Untersuchung von N_{min}-Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{min}-Monitorings auf Dauertestflächen. Ergebnisse der Jahre 2005 bis 2009 und langjährige Betrachtungen. Themenblatt-Nr.: 21.13.210 / 2010, Thüringer Landesanstalt f. Landwirtschaft, Jena.
- TROTT, H., M. WACHENDORF, M. BÜCHTER & T. TAUBE (2003): Stickstoffmanagement in unterschiedlich genutzten Grünlandbeständen unter Berücksichtigung der N-Verluste. Vortrag, DLG-Ausschuss „Grünland und Futterbau“ im Haus Riswick, Kleve. DLG-Grünlandtag 2003, 25-35.

https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/ausschuesse_facharbeit/pflanze/gruenland/Gruenlandtagung03.pdf

- URBATZKA, P., K. CAIS, A. REHM & R. RIPPEL (2011): Status-Quo-Analyse von Dauerversuchen: Bestimmung des Forschungsbedarfes für den ökologischen Landbau. Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft, Institut f. Agrarökologie, Ökologischen Landbau u. Bodenschutz, Freising. <https://orgprints.org/id/eprint/19317/>
- VAN DER WERFF, P.A., A. BAARS & G.J.M. OOMEN (1995): Nutrient balances and measurement of nitrogen losses on mixed ecological farms on sandy soils in the Netherlands. In: KRISTENSEN, L. et al.: Nitrogen leaching in ecological agriculture. Proceedings Internat. Workshop, Univ., Copenhagen, Denmark, 41-50.
- VETTER, R., M. MIERSCH, J. WEISSBART, B. FREYER & K. RENNENKAMPFF (2000): Stickstoffversorgung und -dynamik in Fruchtfolgen vieharter Betriebe des ökologischen Landbaus. Abschlussbericht zum Projekt A1.5. ITADA-Sekretariat, Colmar. <https://orgprints.org/id/eprint/2439/>
- WATSON, C.A., H. BENGTSOON, M. EBBEVSK, A.-K. LOES, A. MYRBECK, E. SALOMON, J. SCHRÖDER & E.A. STOCKDALE (2002): A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *Soil Use Management* 18, 264-273.
- WEISSBACH, F. (1995): Über die Schätzung des Beitrags der symbiontischen N₂-Fixierung durch Weißklee zur Stickstoffbilanzierung von Grünlandflächen. *Landbauforschung Völkenrode* 45, 67-74.
- WELLIE-STEPHAN, O. (2011): Die Fallzahl – ein komplexes Merkmal. *Innovation*, Nr. 3, 14-15. <https://www.magazin-innovation.de/export/sites/magazin-innovation.de/extras/dokumente/innovation-ab-3-2010/fallzahl-3-11.pdf>
- WENDLAND, M., M. DIEPOLDER & P. CAPRIEL (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Broschüre, Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft (LfL), Freising.
- WERNER, W., F. FRITSCH & H.W. SCHERER (1988): Einfluss langjähriger Gülledüngung auf den Nährstoffhaushalt des Bodens. 2. Mitteilung: Bindung und Löslichkeitskriterien der Bodenphosphate. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 151, 63-68.
- WHALEN, J.K. & C. CHANG (2001): Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual applications of cattle feedlot manure. *J. Environm. Qual.* 30, 229-237.
- WHALEN, J.K., C. CHANG & B.M. OLSON (2001): Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Bio. Fertil. Soils* 34, 334-341.
- WISTINGHAUSEN, E. VON (1984): Düngung und biologisch-dynamische Präparate. Feldversuche mit frischem und kompostiertem Stallmist, biologisch-dynamischen Präparaten und Mineraldüngung im Gemüsebau. Verlag „Lebendige Erde“, Darmstadt.
- ZALLER, J.G. & U. KÖPKE (2004): Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendment on yields, soil chemical, biochemical and biological properties in a long-term field experiment. *Biol. Fert. Soils* 40, 222-229.
- ZENTGRAF, H., S. LÜCK & S. MÜLLER (2006): Lasst Zahlen sprechen: Mehlwissen für die Backpraxis. *Mehlreport* Nr. 7, 2-4.
- ZIKELI, S., L. DEIL & K. MÖLLER (2015): Nährstoffmanagement in ökologisch bewirtschafteten Gewächshäusern in Südwest-Deutschland: Bedingt der Anbauverband die Düngestrategie? *Beitr. 13. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau*, Eberswalde. <https://orgprints.org/id/eprint/27137/>
- ZIKELI, S., H. GOTTSCHLICH, M. FÜRNKRANZ & S. SZIN (2016): Gemüsebau. In: FREYER, B.: *Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen*. UTB-Verlagsgruppe, Haupt Verlag, Bern, Schweiz, 367-391.
- ZIMMER, J. & B. DITTMANN (2004): Nährstoffbilanzen im ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme. *VDLUFA-Schriftenreihe* 59, Kongressband, 75-83.
- ZIMMER J. & B. DITTMANN (2010): Nährstoffbilanzen im ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme. *LVL Brandenburg, Güterfelde*. <https://gruendungsnetz.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/N%C3%A4hrstoffbilanzen%20im%20%C3%B6kologischen%20Landbau.pdf>

9 Anhang

Tabelle A 1: Abfolge der durchgeführten acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen an den Versuchstandorten Methau und Spröda

Methau – Versuchsjahre 1993/94/95/96									
Fruchtart:	Kleegras/Hafer (bis inkl. 1996 Kleegras)								
Saatstärke:	Kleegras (35 kg/ha)/Hafer (144 kg/ha)								
Reihenabstand:	12 cm								
Aussaattermin:	22.04.1993 mit 35 kg/ha Kleegras-Untersaat								
Vorfrucht:	Wintergerste								
Nachfrucht 1997:	Sommerweizen								
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 17.11.1992 Saatbettbereitung mit Kompaktor am 16.04.1993								
Nutzung:	<table border="0"> <tr> <td><u>1993</u></td> <td>1. Schnitt am 13.07.1993 2. Schnitt am 22.09.1993</td> </tr> <tr> <td><u>1994</u></td> <td>1. Schnitt am 26.05.1994 2. Schnitt am 21.07.1994 3. Schnitt am 19.10.1994</td> </tr> <tr> <td><u>1995</u></td> <td>1. Schnitt am 23.05.1995 2. Schnitt am 31.07.1995 3. Schnitt am 17.10.1995</td> </tr> <tr> <td><u>1996</u></td> <td>1. Schnitt am 05.06.1996 2. Schnitt am 07.08.1996 3. Schnitt am 12.11.1996</td> </tr> </table>	<u>1993</u>	1. Schnitt am 13.07.1993 2. Schnitt am 22.09.1993	<u>1994</u>	1. Schnitt am 26.05.1994 2. Schnitt am 21.07.1994 3. Schnitt am 19.10.1994	<u>1995</u>	1. Schnitt am 23.05.1995 2. Schnitt am 31.07.1995 3. Schnitt am 17.10.1995	<u>1996</u>	1. Schnitt am 05.06.1996 2. Schnitt am 07.08.1996 3. Schnitt am 12.11.1996
<u>1993</u>	1. Schnitt am 13.07.1993 2. Schnitt am 22.09.1993								
<u>1994</u>	1. Schnitt am 26.05.1994 2. Schnitt am 21.07.1994 3. Schnitt am 19.10.1994								
<u>1995</u>	1. Schnitt am 23.05.1995 2. Schnitt am 31.07.1995 3. Schnitt am 17.10.1995								
<u>1996</u>	1. Schnitt am 05.06.1996 2. Schnitt am 07.08.1996 3. Schnitt am 12.11.1996								
Methau – Versuchsjahr 1997									
Fruchtart:	Sommerweizen (Hanno)								
Saatstärke:	500 Körner/m ²								
Reihenabstand:	12,5 cm oder 25 cm								
Aussaattermin:	03.04.1997								
Vorfrucht:	Kleegras								
Nachfrucht:	Mais								
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 22.11.1996, Saatbett (Kreiselegge, Kompaktor) am 01. - 02.04.1997								
Pflege:	Nachauflauf-Striegeln 16.05.1997								
Ernte:	18.08.1997								
Düngung:	Stallmist am 21.11.1996, Kalkammonsalpeter am 28.04.1997, Gülle am 21.05.1997, Jauche am 22.05.1997, Grüngut am 26.05.1997								

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Methau – Versuchsjahr 1998	
Fruchtart:	Silo- und Körnermais (Santiago, FAO S 240)
Saatstärke:	14 Körner/m ²
Reihenabstand:	42 cm oder 75 cm
Ablageabstand:	10 cm
Aussaattermin:	24.04.1998
Vorfrucht:	Sommerweizen
Nachfrucht:	Sommerweizen
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 18.11.1997, Feingrubber am 24.03.1998, Saatbett mit Kompaktor am 23.04.1998
Pflege:	Nachauflauf-Striegeln am 06.05. und am 27.05.1998
Ernte:	29.09.1998
Düngung:	Stallmist am 12.11.1997, Gülle und Kalkammonsalpeter am 23.04.1998, Jauche und Grüngut am 29.05.1998
Methau – Versuchsjahr 1999	
Fruchtart:	Sommerweizen (Bolero)
Saatstärke:	500 Körner/m ²
Reihenabstand:	12,5 cm oder 25 cm
Aussaattermin:	18.03.1999
Vorfrucht:	Mais
Nachfrucht:	Klee gras
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 30.11.1998, Saatbett (Feingrubber) am 15. und 18.03.1999
Pflege:	Nachauflauf-Striegeln am 16.04.1999
Ernte:	23.08.1999
Düngung:	Stallmist am 12.11.1999, Kalkammonsalpeter, Gülle, Jauche und Grüngut am 10.05.1999
Ende der Fruchtfolgerotation 2000	
Methau – Versuchsjahr 2000/01	
Fruchtart:	Klee gras
Saatstärke:	35 kg/ha
Reihenabstand:	12 cm
Aussaattermin:	04.09.1999
Vorfrucht:	Sommerweizen
Nachfrucht:	Klee gras
Bodenbearbeitung:	Saatfurche am 04.09.1999 Saatfeld mit Kompaktor am 04.09.1999 Anwalzen der Saat am 06.09.1999
Nutzung:	<u>2000</u> 1. Schnitt am 16.06.2000 2. Schnitt am 22.08.2000 3. Schnitt am 19.10.2000 <u>2001</u> 1. Schnitt am 07.06.2001 2. Schnitt am 03.08.2001
Düngung:	keine in 2001

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Methau – Versuchsjahr 2002	
Fruchtart:	Winterweizen (Bussard)/ Zwischenfrucht Senf
Saatstärke:	450 Körner/m ² (200 kg/ha)
Reihenabstand:	12 – 16 cm
Aussaattermin:	12.10.2001
Vorfrucht:	Klee gras
Nachfrucht:	Mais
Bodenbearbeitung:	Grubbern am 27.09.2001 Saatfeld am 11.10.2001 Drillen mit Dutzi am 12.10.2001 Stoppelsturz mit Grubber am 11.09.2002 Drillen der Zwischenfrucht mit Dutzi (30 kg Senf/ha) am 12.09.2002 Pflugfurche am 18.11.2002
Pflege:	kein Striegeln (Grund war Nässe)
Ernte:	18.08.2002
Düngung:	Stallmist am 11.09.2002, 18.11.2002 Kalkammonsalpeter am 17.04.2002, 05.06.2002 Gülle am 30.05.2002, 11.09.2002 Jauche am 30.05.2002 Grüngut am 04.06.2002, 11.09.2002
Methau – Versuchsjahr 2003	
Fruchtart:	Silo- und Körnermais (Tassilo)
Saatstärke:	12 – 14 Körner/m ²
Reihenabstand:	75 cm
Aussaattermin:	25.04.2003
Vorfrucht:	Winterweizen / Zwischenfrucht Senf
Nachfrucht:	Kartoffeln
Bodenbearbeitung:	abgeschleppt am 23.03.2003 Saatbettfeld und Aussaat Mais Sorte Tassilo am 25.04.2003 Stoppel gemulcht am 22.09.2003 gegrubbert am 20.10.2003 gepflügt am 28.10.2003
Pflege:	gestriegelt am 06.05.2003 Hackstriegel am 02.06.2003 Hacken und Häufeln am 19.06.2003
Ernte:	25.08.2003 und 19.09.2003
Düngung:	Stallmist am 11.09.2002 Kalkammonsalpeter am 25.04.2002/05.06.2003 Gülle am 11.09.2002/06.06.2003 Jauche am 05.06.2003 Grüngut am 11.09.2002/10.06.2003

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Methau – Versuchsjahr 2004	
Fruchtart:	Kartoffel (Sorte Quarta)
Saatstärke:	40.000 Knollen/ha
Reihenabstand:	75 cm
Aussaattermin:	22.04.2004
Vorfrucht:	Mais
Nachfrucht:	Triticale
Bodenbearbeitung:	gepflügt am 28.10.2003 gegrubbert am 03.03.2004 Einarbeiten von org.- und min.- Dünger mittels Kreiselegge am 15.04.2004 Saatfeld am 21.04.2004 Kartoffeln legen und gehäufelt am 22.04.2004
Pflege:	gestriegelt am 05.05.2004 Hacken und Häufeln am 20.05.2004 Hackstriegel am 04.06.2004 Hacken und Häufeln am 10.06.2004 Spritzen von 5 l/ha Novodur + 0,4 kg/ha Humin vital am 29.06.2004 Rollhacke am 30.06.2004 Spritzen von 5 l/ha Novodur + 0,4 kg/ha Humin vital am 20.07.2004 Kraut geschlagen am 06.09.2004
Ernte:	07.09.2004
Düngung:	Stallmist am 14.04.2004 Kalkammonsalpeter am 15.04.2004 Gülle am 16.04.2004 Grüngut am 15.04.2004
Methau – Versuchsjahr 2005	
Fruchtart:	Triticale (Lamberto)
Saatstärke:	350 Körner/m ²
Aussaattermin:	04.10.2004
Vorfrucht:	Kartoffel
Nachfrucht:	Luzerne-/Kleegras
Bodenbearbeitung:	Grubbern am 09.09.2004 Pflügen am 29.09.2004 Saatfeld + Aussaat am 04.10.2004
Pflege:	Blindstriegeln am 11.10.2004 Striegeln am 12.04.2005
Ernte:	19.08.2005
Düngung:	Stallmist am 22.09.2004 Kalkammonsalpeter am 11.04.2004/20.05.2004 Gülle am 22.09.2004 Grüngut am 22.09.2004

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Methau – Versuchsjahr 2006/07		
Fruchtart:	Luzerne- Klee gras/Klee gras	
Saatstärke:	35 kg/ha	
Aussaattermin:	26.08.2005	
Vorfrucht:	Triticale	
Nachfrucht:	Versuchsende 31.12.2007	
Bodenbearbeitung:	Grubbern am 23.08.2005 Pflügen am 25.08.2005 Saatfeld + Aussaat am 26.08.2005	
Pflege:	Walzen am 24.04.2006 Schröpfschnitt am 02.05.2006	
Ernte:	<u>2006</u>	1. Schnitt am 26.06.2006 2. Schnitt am 02.08.2006 3. Schnitt am 25.09.2006
	<u>2007</u>	1. Schnitt am 23.05.2007 2. Schnitt am 12.07.2007 3. Schnitt am 30.08.2007
Düngung:	<u>2006</u>	kein Stallmist Kalkammonsalpeter am 24.04.2006/04.08.2006 (jeweils 80 kg/ha N) keine Gülle kein Grüngut
	<u>2007</u>	kein Stallmist Kalkammonsalpeter am 16.04.2007 (90 kg/ha N)/01.06.2007 (80 kg/ha N) keine Gülle kein Grüngut

Spröda – Versuchsjahr 1993/94		
Fruchtart:	Klee gras/Hafer mit Klee grasuntersaat	
Saatstärke:	-	
Aussaattermin:	24.03.1993 (nicht lt. Plan sondern Untersaat sofort nach Hafersaat)	
Vorfrucht:	Wintergerste	
Nachfrucht:	Klee gras	
Bodenbearbeitung:	Pflugfurche am 15.11.1992 Grubber-Krümelwalze-Egge	
Pflege:	-	
Ernte:	<u>1993:</u>	1. Schnitt am 02.08.1993 2. Schnitt am 14.09.1993
	<u>1994:</u>	1. Schnitt am 02.06.1994 2. Schnitt am 16.08.1994 3. Schnitt am 25.10.1994
Düngung:	Stallmist am 13.11.1992 Gülle am 22.03.1993	

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Spröda – Versuchsjahr 1995

Fruchtart:	Sommerweizen (Nandu)/Untersaat (8-10 kg/ha Weißklee, 3-5 kg/ha Hornschotenklee)/Zwischenfrucht nach Ernte (10 kg/ha Winterwicke, 5 kg/ha Örettich, 1 kg/ha Phacelia, 5 kg/ha Hornschotenklee)
Saatstärke:	450 Körner
Reihenabstand:	12,5 – 25 cm
Ablageabstand:	
Aussaattermin:	Sommerweizen am 03.04.1995/Untersaat am 03.04.1995/18.05.1995
Vorfrucht:	Kleegrass/ Hafer mit Kleegrassuntersaat
Nachfrucht:	Mais
Bodenbearbeitung:	Winterfurche 11/1994 Saatbettbereitung am 03.04.1995
Pflege:	VA-Striegeln am 06.06.1995 NA-Striegeln am 12.05.1995 Hacken am 18.05.1995
Ernte:	07.08.1995
Düngung:	Stallmist, Gülle, Grüngut und Kalkammonsalpeter am 27.03.1995

Spröda – Versuchsjahr 1996

Fruchtart:	Silo- und Körnermais (Magister, FAO 240)
Saatstärke:	14 Körner/m ²
Reihenabstand:	42 cm oder 75 cm
Ablageabstand:	17 cm oder 10 cm
Aussaattermin:	17.05.1996
Vorfrucht:	Sommerweizen
Nachfrucht:	Luzernegrasgemenge
Bodenbearbeitung:	Frühjahrsfurche am 08.05.1996, Saatbettbereitung (Grubber, Egge) und Drillen am 17.05.1996
Pflege:	Vorauflauf-Striegeln am 20.05.1996, Maschinenhacke am 03.06.1996
Ernte:	22.11.1996
Düngung:	Stallmist, Gülle und Kalkammonsalpeter am 08.05.1996, Grüngut am 07.06.1996

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Spröda – Versuchsjahr 1997

Fruchtart:	Luzernegrasgemenge (20 kg/ha Luzerne, 4 kg/ha Wiesenschwingel, 4 kg/ha Lieschgras)
Saatstärke:	Luzerne: 20 kg/ha Wiesenschwingel: 4 kg/ha Lieschgras: 4 kg/ha
Reihenabstand:	14,0 cm
Aussaattermin:	12.03.1997
Vorfrucht:	Mais
Nachfrucht:	Sommerweizen
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 19.12.1996, Saatbett (Grubber, Egge) am 10.03.1997
Pflege:	Striegeln; Schröpfschnitte am 11.06.1997 und 04.09.1997
Ernte:	Schnitt am 25.08.1997
Düngung:	legume Stickstofffixierung, keine Düngergaben

Spröda – Versuchsjahr 1998

Fruchtart:	Sommerweizen (Nandu)
Saatstärke:	400 Körner/m ²
Reihenabstand:	12,5 cm oder 25 cm
Aussaattermin:	01.04.1998
Vorfrucht:	Luzernegras
Nachfrucht:	Mais
Bodenbearbeitung:	Frühjahrsfurche am 10.03.1998, Grubber, Egge am 01.04.1998
Pflege:	Vorauf-Striegeln am 01.04.1998; Nachauf-Striegeln am 05.05. und am 08.05.1998
Ernte:	03.08.1998
Düngung:	Grüngut am 05.06.1998, Gülle am 08.06.1998, Jauche am 09.06.1998
Zwischenfrucht:	am 03.09.1998 Versuchsfläche geschält, Zwischenfruchtgemenge Winterwicke und Roggen gesät: Winterwicke 36 kg/ha + Roggen 60 kg/ha

Tabelle A1: Fortsetzung)

Spröda – Versuchsjahr 1999	
Fruchtart:	Silo- und Körnermais (Monitor, FAO S 220)
Saatstärke:	14 Körner/m ²
Reihenabstand:	37,5 cm bzw. 75 cm
Aussaattermin:	10.05.1999
Vorfrucht:	Sommerweizen/Zwischenfruchtgemenge Wickroggen
Nachfrucht:	Klee gras
Bodenbearbeitung:	Schälflug und Zwischenfrucht am 03.09.1998, Frühjahrsfurche am 12.04.1999, Grubber, Eggen, Drillen am 10.05.1999
Pflege:	Striegeln vor der Saat am 03.05.1999, Vorauflauf-Striegeln am 17.05.1999, Nachauflauf-Striegeln am 25.05.1999, 1. Maschinenhacke am 02.06.1999, 2. Hacke am 09.06.1999
Ernte:	Silomais am 06.09.1999, Körnermais am 28.09.1999
Düngung:	Gülle am 14.06.1999, Jauche am 14.06.1999, Grü ngut am 15.06.1999, Kalkammonsalpeter am 16.06.1999
Ende der Fruchtfolgerotation 2000	
Spröda - Versuchsjahr 2000/01	
Fruchtart:	Klee gras
Saatstärke:	-
Aussaattermin:	24.03.2000
Vorfrucht:	Mais
Nachfrucht:	Winterweizen
Bodenbearbeitung:	-
Pflege:	-
Ernte:	<u>2000</u> Schnitt am 25.10.2000 <u>2001</u> 1. Schnitt am 22.05.2001 2. Schnitt am 11.07.2001
Düngung:	-

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Spröda - Versuchsjahr 2002	
Fruchtart:	Winterweizen (Bussard)
Saatstärke:	450 Körner/m ²
Reihenabstand:	12 – 16 cm
Aussaattermin:	19.10.2001
Vorfrucht:	Kleegras
Nachfrucht:	Mais
Bodenbearbeitung:	Hackstriegel am 18.03.2002 Kackstriegel am 03.04.2002
Pflege:	-
Ernte:	01.08.2002
Düngung:	Stallmist am 05.10.2001 Jauche am 28.05.2002 Gülle am 28.05.2002 Grüngut am 28.05.2002 Kalkammonsalpeter am 27.05.1999
Spröda - Versuchsjahr 2003	
Fruchtart:	Silo- und Körnermais
Saatstärke:	
Reihenabstand:	
Aussaattermin:	24.04.2003
Vorfrucht:	Winterweizen
Nachfrucht:	Kartoffel
Bodenbearbeitung:	
Pflege:	
Ernte:	
Düngung:	
Spröda - Versuchsjahr 2004	
Fruchtart:	Kartoffel (geplant war Agria → Sortenvermischung fand statt)
Saatstärke:	-
Reihenabstand:	-
Aussaattermin:	05.05.2004
Vorfrucht:	Mais
Nachfrucht:	Luzerne-/Kleegras
Bodenbearbeitung:	Häufeln am 05.05.2004 Striegeln am 05.05.2004/26.05.2004 Häufeln am 11.06.2004
Pflege:	Applikation von je 3,0 l/ha Novodur FC am 15.07.2004/09.08.2004
Ernte:	07.09.2004
Düngung:	Stallmist am 15.03.2004

Tabelle A1: (Fortsetzung)

Spröda - Versuchsjahr 2005	
Fruchtart:	Triticale (Lamberto)/Kleegras
Saatstärke:	350 Körner/m ² /Kleegras (33 kg/ha)
Aussaattermin:	Triticale (09.2004)/Kleegras (08.04.2005)
Vorfrucht:	Kartoffel
Nachfrucht:	31.12.2005 Versuchsende
Bodenbearbeitung:	<u>Triticale</u> Pflügen nach org. Düngung <u>Kleegras</u> Grubbern am 06.04.2005
Pflege:	spontaner Umbruch der Triticale Mitte 12/2004 (aus verwaltungstechnischen Gründen: Vandalismus)
Ernte:	<u>Kleegras</u> 1. Schnitt am 22.08.2005 2. Schnitt am 17.10.2005
Düngung:	Stallmist, Gülle, Grüngut im Herbst 2004 vor Triticaleaussaat

Tabelle A 2: Ergänzende Merkmale der Bodenuntersuchung der Ackerkrume zum Versuchsende im Jahr 2007 am Standort Methau

Dung- art	Düng- ungs- höhe	C _{hwl}	P _t	K _t	Mg _t	S _t	B _{hwl}	Cl (pflan- zenver- fügb.)	Cu (pflan- zenver- fügb.)	Mn (pflan- zenver- fügb.)	Na CaCl ₂	Zn (pflan- zenver- fügb.)
	[DE/ha]	[mg/ 100g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[mg/kg]	[mg/ 100g]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/ 100g]	[mg/kg]
Futterbau												
ohne	0,0	41,30	0,050	0,250	0,250	0,020	0,400	4,00	4,61	318,0	1,50	5,54
C	0,5	36,70	0,050	0,250	0,253	0,020	0,520	5,00	4,66	274,0	2,20	5,79
SM	1,0	39,80	0,053	0,243	0,235	0,020	0,410	5,00	5,05	300,0	1,90	6,89
SM	2,0	44,40	0,065	0,250	0,240	0,020	0,470	6,00	4,93	284,0	1,90	6,82
G	0,5	45,90	0,050	0,255	0,248	0,010	0,410	5,00	4,79	255,0	2,00	5,64
G	1,0	41,30	0,050	0,245	0,240	0,020	0,400	5,00	5,28	263,0	1,90	6,01
G	2,0	45,90	0,050	0,250	0,248	0,020	0,400	5,00	5,25	262,0	1,90	6,03
MIN	2,5	41,30	0,048	0,253	0,250	0,020	0,400	7,00	4,35	258,0	2,20	5,11
MW		42,08	0,052	0,249	0,245	0,019	0,426	5,25	4,87	276,8	1,94	5,98
Marktfrucht												
ohne	0,0	41,30	0,053	0,298	0,283	0,020	0,380	6,00	3,62	215,0	2,30	4,69
SM	0,5	38,30	0,050	0,293	0,275	0,020	0,380	7,00	3,56	210,0	2,20	5,09
SM	1,0	39,80	0,048	0,275	0,255	0,020	0,430	5,00	3,67	208,0	1,90	5,24
SM	2,0	42,90	0,050	0,293	0,265	0,020	0,430	4,00	3,73	194,0	2,20	6,11
M	0,5	41,30	0,050	0,313	0,300	0,020	0,480	6,00	3,93	211,0	1,60	4,83
M	1,0	39,80	0,053	0,315	0,295	0,020	0,440	6,00	4,00	217,0	2,50	5,21
M	2,0	42,90	0,053	0,300	0,285	0,020	0,470	7,00	3,79	200,0	1,80	4,99
MIN	2,5	41,30	0,050	0,280	0,278	0,020	0,450	4,00	3,75	225,0	1,80	4,71
MW		40,95	0,051	0,296	0,279	0,020	0,433	5,63	3,76	210,0	2,04	5,11
Futterbau												
ohne	0,0	41,30	0,050	0,250	0,250	0,020	0,400	4,00	4,61	318,0	1,50	5,54
	0,5	41,30	0,050	0,253	0,250	0,015	0,465	5,00	4,73	264,5	2,10	5,72
	1,0	40,55	0,051	0,244	0,238	0,020	0,405	5,00	5,17	281,5	1,90	6,45
	2,0	45,15	0,058	0,250	0,244	0,020	0,435	5,50	5,09	273,0	1,90	6,43
MIN		41,30	0,048	0,253	0,250	0,020	0,400	7,00	4,35	258,0	2,20	5,11
MW		41,92	0,051	0,250	0,246	0,019	0,421	5,30	4,79	279,0	1,92	5,85

Tabelle A2: (Fortsetzung)

Marktfrucht												
ohne	0,0	41,30	0,053	0,298	0,283	0,020	0,380	6,00	3,62	215,0	2,30	4,69
	0,5	39,80	0,050	0,303	0,288	0,020	0,430	6,50	3,75	210,5	1,90	4,96
	1,0	39,80	0,050	0,295	0,275	0,020	0,435	5,50	3,84	212,5	2,20	5,23
	2,0	42,90	0,051	0,296	0,275	0,020	0,450	5,50	3,76	197,0	2,00	5,55
MIN		41,30	0,050	0,280	0,278	0,020	0,450	4,00	3,75	225,0	1,80	4,71
MW		41,02	0,051	0,294	0,280	0,020	0,429	5,50	3,74	212,0	2,04	5,03
Futterbau												
ohne		41,30	0,050	0,250	0,250	0,020	0,400	4,00	4,61	318,0	1,50	5,54
SM		40,30	0,056	0,248	0,243	0,020	0,467	5,33	4,88	286,0	2,00	6,50
G		44,37	0,050	0,250	0,245	0,017	0,403	5,00	5,11	260,0	1,93	5,89
MIN		41,30	0,048	0,253	0,250	0,020	0,400	7,00	4,35	258,0	2,20	5,11
MW		41,82	0,051	0,250	0,247	0,019	0,418	5,33	4,74	280,5	1,91	5,76
Marktfrucht												
ohne		41,30	0,053	0,298	0,283	0,020	0,380	6,00	3,62	215,0	2,30	4,69
M		40,33	0,049	0,287	0,265	0,020	0,413	5,33	3,65	204,0	2,10	5,48
G		41,33	0,052	0,309	0,293	0,020	0,463	6,33	3,91	209,3	1,97	5,01
MIN		41,30	0,050	0,280	0,278	0,020	0,450	4,00	3,75	225,0	1,80	4,71
MW		41,07	0,051	0,293	0,280	0,020	0,427	5,42	3,73	213,3	2,04	4,97

Tabelle A 3: Ergänzende Merkmale der Bodenuntersuchung der Ackerkrume zum Versuchsende im Jahr 2005 am Standort Spröda

Dungart	Düngungs- höhe	C _{hwl}	N _{hwl}	P _t	K _t	Mg _t	S _t	B _{hwl}	Cu (pflan- zenver- fügb.)	Mn (pflan- zenver- fügb.)	Zn (pflan- zenver- fügb.)
	[DE/ha]	[mg/ 100g]	[mg/ 100g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[mg/ kg]	[mg/ kg]	[mg/ kg]	[mg/ kg]
Futterbau											
ohne	0,0	38,30	3,80	0,040	0,070	0,068	0,013	0,233	2,67	64,05	4,35
SM	0,5	38,30	3,80	0,038	0,073	0,070	0,018	0,233	2,46	72,50	4,64
SM	1,0	41,30	4,10	0,040	0,080	0,068	0,020	0,245	2,76	80,28	5,00
SM	2,0	45,90	4,60	0,040	0,080	0,068	0,020	0,250	2,85	75,20	5,54
G	0,5	35,20	3,50	0,035	0,078	0,070	0,015	0,190	2,71	72,38	4,40
G	1,0	36,70	3,70	0,038	0,078	0,073	0,015	0,245	2,91	76,13	4,72
G	2,0	36,70	3,70	0,040	0,080	0,073	0,018	0,243	3,20	77,43	5,17
MIN	2,5	36,70	3,70	0,035	0,070	0,065	0,018	0,310	2,39	85,78	4,21
MW		38,64	3,86	0,038	0,076	0,069	0,017	0,243	2,74	75,47	4,75
Marktfrucht											
ohne	0,0	32,10	3,20	0,035	0,070	0,068	0,010	0,238	1,98	66,75	3,93
M	0,5	36,70	3,70	0,053	0,073	0,068	0,020	0,223	2,05	61,25	3,72
M	1,0	35,20	3,50	0,058	0,078	0,075	0,013	0,245	2,03	57,05	3,62
M	2,0	35,20	3,50	0,045	0,078	0,073	0,013	0,260	1,88	53,58	3,53
G	0,5	35,20	3,50	0,063	0,075	0,070	0,015	0,248	2,54	65,00	4,03
G	1,0	35,20	3,50	0,050	0,075	0,073	0,013	0,233	2,57	64,45	3,87
G	2,0	35,20	3,50	0,063	0,075	0,068	0,013	0,258	2,63	65,60	3,89
MIN	2,5	33,70	3,40	0,043	0,073	0,073	0,013	0,213	1,55	64,68	3,30
MW		34,81	3,48	0,051	0,074	0,071	0,013	0,239	2,15	62,29	3,73
Futterbau											
ohne	0,0	38,30	3,80	0,040	0,070	0,068	0,013	0,233	2,67	64,05	4,35
	0,5	36,75	3,65	0,036	0,075	0,070	0,016	0,211	2,58	72,44	4,52
	1,0	39,00	3,90	0,039	0,079	0,070	0,018	0,245	2,84	78,20	4,86
	2,0	41,30	4,15	0,040	0,080	0,070	0,019	0,246	3,02	76,31	5,36
MIN		36,70	3,70	0,035	0,070	0,065	0,018	0,310	2,39	85,78	4,21
MW		38,41	3,84	0,038	0,075	0,069	0,017	0,249	2,70	75,36	4,66

Tabelle A3: (Fortsetzung)

Marktfrucht											
ohne	0,0	32,10	3,20	0,035	0,070	0,068	0,010	0,238	1,98	66,75	3,93
	0,5	35,95	3,60	0,058	0,074	0,069	0,018	0,235	2,29	63,13	3,87
	1,0	35,20	3,50	0,054	0,076	0,074	0,013	0,239	2,30	60,75	3,74
	2,0	35,20	3,50	0,054	0,076	0,070	0,013	0,259	2,25	59,59	3,71
MIN		33,70	3,40	0,043	0,073	0,073	0,013	0,213	1,55	64,68	3,30
MW		34,43	3,44	0,049	0,074	0,071	0,013	0,237	2,07	62,98	3,71
Futterbau											
ohne		38,30	3,80	0,040	0,070	0,068	0,013	0,233	2,67	64,05	4,35
SM		41,83	4,17	0,039	0,078	0,068	0,019	0,243	2,69	75,99	5,06
G		36,20	3,63	0,038	0,078	0,072	0,016	0,226	2,94	75,31	4,76
MIN		36,70	3,70	0,035	0,070	0,065	0,018	0,310	2,39	85,78	4,21
MW		38,26	3,83	0,038	0,074	0,068	0,016	0,253	2,67	75,28	4,60
Marktfrucht											
ohne		32,10	3,20	0,035	0,070	0,068	0,010	0,238	1,98	66,75	3,93
M		35,70	3,57	0,052	0,076	0,072	0,015	0,243	1,99	57,29	3,62
G		35,20	3,50	0,058	0,075	0,070	0,013	0,246	2,58	65,02	3,93
MIN		33,70	3,40	0,043	0,073	0,073	0,013	0,213	1,55	64,68	3,30
MW		34,18	3,42	0,047	0,073	0,070	0,013	0,235	2,02	63,43	3,69

Tabelle A 4: Veränderung regressionsstatistischer Merkmale zwischen den Nährstoffsalden und den Veränderungen dieser Nährstoffe im Boden zwischen den Anbauvarianten Futterbau und Marktfrucht nach Abzug unterschiedlicher Anteile der Nährstoffaufnahme in gemulchten Kleeerasaufwüchsen (oben: Berechnungen ohne Bodenänderung u. nach Abzug der NH₃-N-Verluste, unten: inkl. Bodenänderung u. Abzug NH₃-N)

Standort	Abzug [%]	Stickstoff		Phosphor		Kalium	
		Steigg. B	R ²	Steigg. B	R ²	Steigg. B	R ²
Methau	100	8E-06	0,199n.s.	0,0056	0,710*	0,0041	0,380n.s.
	80	2E-05	0,625*	-	-	-	-
	70	2E-05	0,788**	0,0060	0,883***	-	-
	60	2E-05	0,865***	0,0059	0,913***	-	-
	50	1E-05	0,877***	0,0058	0,930***	0,0041	0,907***
	40	1E-05	0,857***	0,0056	0,937***	0,0038	0,932***
	30	1E-05	0,824***	0,0053	0,934***	0,0035	0,945***
	20	-	-	-	-	0,0032	0,951***
	0	7E-06	0,724**	0,0045	0,890***	0,0027	0,950***
Spröda	100	8E-06	0,708**	0,0133	0,831***	0,0081	0,802**
	80	8E-06	0,856***	0,0134	0,876***	0,0077	0,875***
	70	8E-06	0,902***	0,0132	0,886***	0,0073	0,883***
	60	8E-06	0,929***	0,0130	0,888***	0,0069	0,878***
	50	8E-06	0,939***	0,0126	0,882***	0,0064	0,863***
	40	7E-06	0,936***	0,0122	0,871***	0,0059	0,843***
	30	7E-06	0,924***	0,0117	0,855***	0,0055	0,820**
	0	6E-06	0,857***	0,0102	0,788**	0,0044	0,747**
Standort	Abzug [%]	Stickstoff Steigg. B	R ²	Phosphor Steigg. B	R ²	Kalium Steigg. B	R ²
Methau	100	8E-06	0,590**	0,0055	0,931***	0,0035	0,959***
	80	1E-05	0,610**	0,0062	0,966***	0,0044	0,965***
	70	1E-05	0,616**	0,0065	0,970***	0,0049	0,956***
	60	2E-05	0,612**	0,0068	0,962***	0,0055	0,932***
	50	2E-05	0,576**	0,0070	0,938***	0,0061	0,877***
	0	-7E-06	0,088n.s.	0,0057	0,562**	0,0011	0,016n.s.
Spröda	100	7E-06	0,714**	0,0130	0,760***	0,0056	0,650**
	90	8E-06	0,741***	-	-	-	-
	80	8E-06	0,766***	0,0145	0,808***	0,0069	0,708***
	70	9E-06	0,785***	0,0152	0,824***	0,0078	0,738***
	60	1E-05	0,791***	0,0158	0,831***	0,0087	0,766***
	50	1E-05	0,778***	0,0162	0,828***	0,0097	0,786***
	0	7E-06	0,310(*)	0,0145	0,635**	0,0094	0,426*

Signifikanz: zweiseitiger Test; gelb unterlegt bzw. rot = optimale Werte

IMPRESSUM

Herausgeber:

Dr. Hartmut Kolbe, Altes Dorf 19, D-04435 Schkeuditz

E-Mail: hartmutkolbe@yahoo.de

Autoren:

Dr. Hartmut Kolbe, Schkeuditz

Unter Mitwirkung von:

Dr. Annett Model, Leipzig

Andre Schenke, Nossen

Dr. Fouad Rikabi, Leipzig

Janine Slesaczeck, G.U.B. Ingenieur AG, Niederlassung
Freiberg

Bildnachweis:

Titelseite: LVG Köllitsch, LfULG

Redaktionsschluss:

März, 2022

Hinweis:

Der Forschungsbericht steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden.