

Berichte aus dem Ökolandbau 2021

Das Ökofeld Roda



Das Ökofeld Roda

Ergebnisse zur langjährigen Bewirtschaftung von Feldversuchsflächen der Versuchsstation Roda in Sachsen

Dietmar Meyer, Hartmut Kolbe & Martina Schuster

Inhalt

1	Einleitung	9
2	Natürliche Standortbedingungen	10
3	Anlagekonzept und Fruchtfolgen des Ökofeldes	14
4	Bewirtschaftungsmaßnahmen	17
4.1	Bodenbearbeitung	17
4.2	Düngung	17
4.2.1	Organische Düngung.....	17
4.2.2	Mineralische Düngung.....	19
4.3	Pflegemaßnahmen	21
4.3.1	Unkrautregulierung	21
4.3.2	Krankheiten und Schädlinge.....	21
4.4	Zwischenfruchtanbau und Untersaaten	22
5	Boden- und Pflanzenuntersuchungen	24
6	Entwicklung der Humus- und Nährstoffversorgung des Bodens	26
6.1	Humus	26
6.2	Stickstoff und Schwefel.....	32
6.3	Phosphor	40
6.4	Kalium.....	43
6.5	Magnesium	45
6.6	Entwicklung der pH-Werte.....	47
6.7	Kalkbedarf	49
7	Ertragsentwicklung und Qualität der Ernteprodukte.....	50
7.1	Winterweizen	52
7.2	Winterroggen.....	53
7.3	Triticale	55
7.4	Hafer.....	55
7.5	Kartoffel	56
7.6	Kleegras	57
7.7	Ackerbohne	59
7.8	Sonstige.....	60
7.8.1	Sommerweizen.....	60
7.8.2	Dinkel.....	60
7.8.3	Wintergerste	60
7.8.4	Sommergerste.....	60
7.8.5	Sonnenblume	60
7.8.6	Silomais.....	60
7.8.7	Wickroggen.....	60
7.8.8	Rotklee	60
7.9	Erträge an Getreideeinheiten und Ertragsvariation.....	61
7.9.1	GE-Erträge	61
7.9.2	Ertragsschwankung	62
8	Humus- und Nährstoffbilanzen	64
8.1	Humus	64
8.1.1	Bezug zur Fruchtfolge	64
8.1.2	Bezug auf die Ackerschläge	65
8.2	Stickstoff.....	69
8.2.1	Stickstoffsalden in Bezug zur Fruchtfolge.....	70
8.2.2	Stickstoffsalden in Bezug zu den Ackerflächen	74
8.3	Phosphat	81

8.3.1	P-Bilanz.....	81
8.3.2	P-Düngungsempfehlung.....	85
8.4	Kalium.....	85
8.4.1	K-Bilanz.....	85
8.4.2	K-Düngungsempfehlung.....	88
8.5	Magnesium und Schwefel.....	88
8.5.1	Mg-Bilanz.....	88
8.5.2	Mg-Düngungsempfehlung.....	91
8.5.3	S-Bilanz.....	91
9	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	92
10	Zusammenfassung.....	99
10.1	Erträge und Qualität der Fruchtarten.....	99
10.2	Entwicklung von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit.....	100
10.3	Humus- und Nährstoffbilanzierung sowie Rückschlüsse zur Anbauoptimierung.....	100
11	Danksagung.....	102
12	Literaturverzeichnis.....	103
13	Anlagen.....	106

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verbreitete Bodentypen aus zwei Profilaufnahmen (HEISIG, 1998; siehe Tab. 2 u. Tab. 3).....	12
Abbildung 2: Klimadiagramm über Niederschläge und Temperaturen (1982 – 2012).....	13
Abbildung 3: Lageplan des Ökofeldes Roda	14
Abbildung 4: Lagepunkte (+) der Tiefenuntersuchungen in der viehlosen und viehreichen Fruchtfolge.....	24
Abbildung 5: Entwicklung der Kohlenstoffgehalte des Bodens in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge	27
Abbildung 6: Entwicklung der N_t -Gehalte des Bodens in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge	28
Abbildung 7: Entwicklung der C/N-Verhältnisse des Bodens auf den viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolgen	29
Abbildung 8: Durchschnittliche jährliche Veränderung der C_{org} - und N_t -Mengen der viehreichen und der viehlosen Fruchtfolge im Untersuchungszeitraum von 17 Jahren	30
Abbildung 9: Über Regressionsanalytische Auswertungen ermittelte durchschnittliche C/N-Verhältnisse zu Beginn im Jahr 1995 und am Ende im Jahr 2011 nach 17 Jahren ökologischer Bewirtschaftung mit einer viehreichen und einer viehlosen Fruchtfolge.....	31
Abbildung 10: Unterschiede im C_{org} - und N_t -Gehalt des Bodens im Tiefenprofil zwischen den viehlosen und viehreichen Fruchtfolgen im Jahr 2007	32
Abbildung 11: Entwicklung der N_{min} -Gehalte im Frühjahr in der viehhaltenden und der viehlosen Fruchtfolge.....	33
Abbildung 12: Entwicklung der N_{min} -Gehalte im Herbst in der viehhaltenden und der viehlosen Fruchtfolge.....	34
Abbildung 13: Entwicklung der Frühjahrs- N_{min} -Gehalte im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung	36
Abbildung 14: Entwicklung der Herbst- N_{min} -Gehalte im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung	37
Abbildung 15: Zeitlicher N_{min} -Verlauf auf der viehreichen und der viehlosen Fruchtfolge.....	38
Abbildung 16: Verlauf der N_{min} -Mengen im Tiefenprofil von den viehlosen und viehreichen Flächen im Jahr 2000 und 2007	39
Abbildung 17: Einfluss der viehlosen und viehreichen Fruchtfolgen auf den Verlauf der S_{min} -Gehalte im Tiefenprofil	40
Abbildung 18: Entwicklung der löslichen Phosphatgehalte des Bodens in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge....	41
Abbildung 19: DL- und CAL-lösliches Phosphat im Tiefenprofil zwischen viehreicher und viehloser Fruchtfolge im Jahr 2007	42
Abbildung 20: Entwicklung der löslichen Kaliumgehalte des Bodens in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge	43
Abbildung 21: Entwicklung des DL-löslichen Kaliums im Tiefenprofil auf den viehlosen und viehreichen Flächen des Ökofeldes im Jahr 2000 und 2007.....	44
Abbildung 22: Entwicklung des CAL-löslichen Kaliums im Tiefenprofil auf den viehlosen und viehreichen Flächen des Ökofeldes im Jahr 2000 und 2007.....	45
Abbildung 23: Entwicklung der löslichen Magnesiumgehalte des Bodens in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge.....	46
Abbildung 24: Verlauf der Mg-Gehalte im Tiefenprofil auf den viehlosen und viehreichen Flächen im Jahr 2000 und 2007	47
Abbildung 25: Entwicklung der pH-Werte in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge	48
Abbildung 26: Einfluss der viehlosen und viehreichen Bewirtschaftung auf die pH-Werte im Tiefenprofil der Ökoflächen im Jahr 2000 und 2007	49
Abbildung 27: Ertragsentwicklung bei Winterweizen in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge	52
Abbildung 28: Entwicklung der Gehalte an Rohprotein im Weizenkorn auf den viehreichen und viehlosen Fruchtfolgen	53
Abbildung 29: Ertragsentwicklung von Winterroggen in der viehreichen und viehlosen Fruchtfolge	54
Abbildung 30: Ertragsentwicklung von Triticale auf dem Ökofeld	55
Abbildung 31: Ertragsentwicklung von Hafer auf dem Ökofeld.....	56
Abbildung 32: Ertragsentwicklung von Kartoffeln auf den Ackerflächen des Ökofeldes.....	57
Abbildung 33: Ertragsentwicklung von Klee gras und Rotkleeaufwüchsen in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge	58
Abbildung 34: Ertragsentwicklung von Ackerbohne auf den viehlosen Flächen des Ökofeldes	59
Abbildung 35: Verlauf der GE-Erträge von 1995 – 2011 nach viehreicher und viehloser langjähriger Bewirtschaftung	61

Abbildung 36: Mittlere GE-Erträge der Fruchtarten in den einzelnen Schlägen der viehreichen und viehlosen Fruchtfolge des Ökofeldes	62
Abbildung 37: Berechnete durchschnittliche Humussalden im Verlauf der viehreichen und viehlosen Fruchtfolge	65
Abbildung 38: Absolute und relative Werte der humusmehrenden und -zehrenden Komponenten der Humusbilanz auf den viehreichen und viehlosen Ackerflächen	66
Abbildung 39: Verlauf der jährlich ermittelten Humussalden auf den viehreichen und viehlosen Ackerflächen	67
Abbildung 40: Durchschnittliche Humussalden der viehreichen und viehlosen Fruchtfolgen der untersuchten Ackerschläge	68
Abbildung 41: Beziehung zwischen der Bodenänderung an C_{org} und den berechneten Humussalden	68
Abbildung 42: Beziehungen zwischen den Bodenänderungen an C_{org} im Verlauf der Bewirtschaftung und den aus den Humusbilanzen berechneten Bodenänderung an C_{org}	69
Abbildung 43: Beziehungen zwischen den Änderungen an C_{org} im Boden und den N-Schlagsalden.....	69
Abbildung 44: Entwicklung der N-Schlagsalden im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung.....	72
Abbildung 45: Entwicklung der Nettomineralisation im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung	73
Abbildung 46: Entwicklung der Nettomineralisation nach dem ersten Leguminosenanbau in der Fruchtfolge bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung.....	74
Abbildung 47: Jährliche N-Schlagsalden für die viehhaltende und die viehlose Fruchtfolge	75
Abbildung 48: Vergleich der gemessenen mit der durch das Programm BEFU errechneten N-Schlagsalden.....	76
Abbildung 49: Mittelwerte der legumen N-Bindung der Ackerschläge der viehreichen und viehlosen Bewirtschaftung	77
Abbildung 50: Gesamt-N-Zufuhren der viehreichen sowie der viehlosen Flächen	78
Abbildung 51: Berechnete durchschnittliche N-Abfuhr mit den Ernten auf den viehreichen und viehlosen Flächen	78
Abbildung 52: Absolute und relative Bedeutung der Komponenten der N-Bruttobilanzierung auf den viehreichen und viehlosen Flächen des Ökofeldes	79
Abbildung 53: N-Bruttosalden und die berechneten N-Effizienzen der Schlagbilanzen auf den viehreichen und viehlosen Flächen des Ökofeldes	80
Abbildung 54: Zusammenhang zwischen den N-Schlagsalden und den N-Effizienzen der Bewirtschaftungsflächen.....	81
Abbildung 55: Jährliche P-Schlagsalden für die viehhaltende und die viehlose Fruchtfolge	83
Abbildung 56: Vergleich zwischen den gemessenen und mit dem Programm BEFU berechneten P-Salden der Untersuchungsflächen	84
Abbildung 57: Beziehung zwischen der Bodenänderung an P (DL) und den P-Schlagsalden auf den viehreichen und viehlosen Ackerflächen	84
Abbildung 58: Vergleich zwischen der tatsächlich verabreichten P-Düngung und der BEFU-Empfehlung im jährlichen Durchschnitt aller Ackerschläge.....	85
Abbildung 59: Jährliche K-Schlagsalden für die viehhaltende und die viehlose Fruchtfolge	86
Abbildung 60: Vergleich zwischen gemessenen und mit dem Programm BEFU berechneten K-Salden der Untersuchungsflächen	87
Abbildung 61: Beziehungen zwischen der Bodenänderung an K (DL) und der K-Schlagsalden der Bewirtschaftungsflächen	87
Abbildung 62: Vergleich der tatsächlich verabreichten K-Düngung und der BEFU-Empfehlung im jährlichen Durchschnitt aller Ackerschläge.....	88
Abbildung 63: Jährliche Mg-Schlagsalden für die viehhaltende und viehlose Fruchtfolge.....	89
Abbildung 64: Vergleich zwischen den gemessenen und den mit dem Programm BEFU berechneten Mg-Salden der Untersuchungen	90
Abbildung 65: Beziehungen zwischen der jährlichen Bodenänderung an löslichem Mg und den Mg-Schlagsalden der Untersuchungsflächen.....	90
Abbildung 66: Vergleich zwischen der tatsächlich verabreichten Mg-Düngung und den BEFU-Empfehlungen im jährlichen Durchschnitt aller Ackerschläge.....	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lage und Standortfaktoren der Versuchsstation Roda	10
Tabelle 2: Physikalische Eigenschaften des Bodens am Profil I (Fahlerde-Pseudogley) und am Profil II (Kolluvisol-Pseudogley).....	11
Tabelle 3: Chemische Eigenschaften des Bodens an zwei repräsentativen Profilen	11
Tabelle 4: Jahresniederschläge und Temperaturen an der Wetterstation Roda.....	13
Tabelle 5: Abfolge der Feldfrüchte in den Fruchtfolgen I und II	16
Tabelle 6: Organische Düngung (in t/ha bzw. m ³ /ha Frischmasse).....	18
Tabelle 7: Nährstoffgehalte der eingesetzten mineralischen Düngemittel	19
Tabelle 8: Mineralische Düngung (ausgebrachte Mengen in dt/ha)	20
Tabelle 9: Einsatz von Pflanzenschutz- und Pflanzenstärkungsmitteln.....	22
Tabelle 10: Zwischenfruchtanbau und Untersaaten	23
Tabelle 11: Erfasste Erträge an Hauptprodukten der angebauten Fruchtarten über den gesamten Bewirtschaftungszeitraum auf den Flächen der viehreichen und viehlosen Fruchtfolge.....	51
Tabelle 12: Mittlere Korn- und Stroherträge sowie Qualitätskomponenten von Winterweizen	52
Tabelle 13: Mittlere Korn- und Stroherträge sowie Qualitätskomponenten von Winterroggen	54
Tabelle 14: Mittlere Korn- und Stroherträge sowie Qualitätskomponenten von Triticale	55
Tabelle 15: Mittlere Korn- und Stroherträge von Hafer	56
Tabelle 16: Mittlere Knollenerträge sowie Qualitätskomponenten von Kartoffeln.....	57
Tabelle 17: Mittlerer Ertrag und Futterwert von Klee gras und Rotkleeaufwüchsen	58
Tabelle 18: Mittlerer Körnertrag und Qualitätskomponenten von Ackerbohne	59
Tabelle 19: Mittlere jährliche Komponenten und Salden der Stickstoff-Schlagbilanz bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung, bezogen auf eine Fruchtfolgerotation von 6 Jahren	71
Tabelle 20: Berechnungsbeispiel zum Vergleich der symbiotischen N-Bindung von Leguminosengras-Beständen zwischen Schnitt- und Mulchnutzung	94

1 Einleitung

Anbauverfahren des ökologischen Landbaus bieten neben guten wirtschaftlichen Einkommens- und Entwicklungsmöglichkeiten besonders deutliche Vorteile beim Schutz der Umwelt, des Klimas und der Lebensmittelqualität. Infolge des gestiegenen Umweltbewusstseins hat sich der Anteil ökologisch wirtschaftender Betriebe in den vergangenen drei Jahrzehnten kontinuierlich erhöht, im Freistaat Sachsen von ca. 50 Betrieben im Jahr 1992 auf 500 Betriebe in 2012 und 850 Betriebe im Jahr 2020 (SÄCHSISCHER AGRARBERICHT, 2021). Öko-Betriebe bewirtschaften über 72.500 ha und damit rund 8,1 % der Landwirtschaftsfläche des Freistaates. Mit der Ausweitung des ökologischen Landbaus stiegen auch der Informations- und Beratungsbedarf zu den Verfahren und Techniken ökologischer Bewirtschaftungssysteme kontinuierlich an. Als Träger der landwirtschaftlichen Versuchstätigkeit in Sachsen hat daraufhin die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (heute: Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie, LfULG) ein Konzept zur Einrichtung einer Experimentierbasis für den ökologischen Landbau entwickelt und ab dem Jahr 1995 in der Versuchsstation Roda angelegt.

Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Versuchstätigkeit war die Einrichtung eines zusammenhängenden Flächenareals, das nach den Grundsätzen des ökologischen Landbaus bewirtschaftet wird. Entsprechend den landwirtschaftlichen Gegebenheiten der praktischen Ökobetriebe als Vorbild, wurden auf der Versuchsstation auf einer Gesamtfläche von ca. 13 ha zwei Fruchtfolgen entsprechend einem viehhaltenden und einem viehlosen Betrieb in Form von Großparzellen mit ca. 1 ha Durchschnittsgröße eingerichtet. Mit dieser Feldgestaltung wurden folgende Ziele verfolgt:

- Schaffung eines natürlichen Umfeldes, das dem Bewirtschaftungssystem des praktischen Ökobetriebes entspricht
- Durch die jährliche Planung und Umsetzung der Bewirtschaftung wurden wichtige Erfahrungen und Kenntnisse für den praktischen Anbau gewonnen
- In die Großparzellen konnten Felddemonstrationen und Exaktversuche verschiedener Themen hineingelegt und sinnvoll in die Fruchtfolgen integriert werden.

Bis zur Schließung der Station im Jahr 2011 wurden knapp 50 Versuche zu unterschiedlichen Fragestellungen des Öko-Landbaus durchgeführt. Eine Übersicht der durchgeführten Exaktversuche ist in diesem Bericht enthalten. Die Ergebnisse der Versuche sind in zahlreichen Publikationen veröffentlicht und haben vielfältigen Eingang in die landwirtschaftliche Praxis und Beratung gefunden. An jährlich durchgeführten Feldtagen und Feldführungen konnten sich interessierte Landwirte sowie Fachschüler und Studenten des In- und Auslands zudem vor Ort über die jeweils neuesten Erkenntnisse zur Düngung, Bodenbearbeitung, Sorten- und Kulturartenwahl oder zur Unkrautregulierung informieren. Die genannten Tätigkeiten können heute auf einem neuen Ökofeld ähnlicher Größe am Standort Nossen weitergeführt werden.

Neben den Exaktversuchen wurden seit dem Jahr 1995 begleitende Untersuchungen auf den 10 Großparzellen des Ökofeldes durchgeführt. Am Beispiel der Fruchtfolgen eines viehhaltenden Mischbetriebes mit Feldfutterbau und eines reinen Markfruchtbetriebes konnte die Entwicklung der Nährstoff- und Humusgehalte des Bodens sowie des Ertrags- und Qualitätsniveaus der Feldfrüchte über einen Zeitraum von 17 Jahren dokumentiert werden.

Durch die angelegten Fruchtfolgen und das Bewirtschaftungsniveau können die mitteldeutschen Betriebe der Region gut repräsentiert werden, so dass die Untersuchungen eine hohe Aktualität aufweisen. Die erhobenen Daten können darüber hinaus für die Kontrolle und Verbesserung von Beratungsunterlagen zum Pflanzenbau und zum Nährstoffmanagement Verwendung finden. Ziel der Veröffentlichung ist es, wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse über das Ökofeld Roda, auch im Vergleich zu anderen ähnlichen Einrichtungen, zusammenfassend vorzustellen. Die Arbeit richtet sich vor allem an interessierte Landwirte, Verbände und die Beratung.

2 Natürliche Standortbedingungen

Die Versuchsstation Roda liegt im nordwestlichen Sachsen zwischen Geithain und Frohburg, unweit der Grenzen zu Thüringen und Sachsen-Anhalt. Naturräumlich gehört das Gebiet noch der Leipziger Tieflandbucht an, die in ihrem südlichen Teil in das Borna-Altenburger Lößgebiet übergeht. Das Borna-Altenburger Lößgebiet gehört regionalgeologisch noch zur Einheit „Nordwest-Sachsen“, während die Leipziger Tieflandbucht schon den südlichen Ausläufer des Norddeutschen Tieflandes bildet. Es handelt sich um eine weite Ebene, die zu großen Teilen mit Sandlöss bedeckt ist.

Im Gebiet um Roda steht oberflächlich typischer, kalkreicher und locker poröser Löß der Jungweichselzeit an, der allmählich in die Sedimentdecken des Lössgebietes der Mulde übergeht. Daraus sind tiefgründige Parabraunerden, Fahlerden und Staugleye hervorgegangen, die sich aufgrund ihres günstigen Wasser- und Nährstoffhaushaltes ausgezeichnet für den Ackerbau eignen. Die wesentlichen Standortfaktoren sind in Tabelle 1 zusammengefasst worden.

Tabelle 1: Lage und Standortfaktoren der Versuchsstation Roda

Lage		
Ort	Stadt Frohburg, Ortsteil Roda	
Landkreis	Leipzig	
Landschaft	Nordwest-Sachsen (Leipziger Tieflandsbucht)	
Höhenlage	224 m NN	
Geographische Lage	51° 03' N; 12° 37' O	
Boden		
Bodenart	Lehm	
Bodentyp	Lö 4b Fahlerde-Pseudogley	
Durchschnittliche Bodenzahl	68	
Ton	12,3 – 15,2 %	
Feinanteil	23,8 %	
Trockenrohddichte	1,31 g/cm ³	
Klima		
	1961 – 1990	1994 – 2007
Jahresniederschlag	711 mm	644 mm
davon im Zeitraum Mai – September	352 mm	343 mm
Mittlere Jahrestemperatur	8,6 °C	9,5 °C
im Zeitraum Mai – September	15,9 °C	16,5 °C

Mit Einrichtung des Ökofeldes wurde eine gründliche Untersuchung des Bodens auf allen Schlägen durchgeführt. Dabei wurden die wesentlichen bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften an zwei repräsentativen Profilen untersucht (Tab. 2 u. Tab. 3, Abb. 1). Die Ergebnisse sind in einem Fachgutachten dokumentiert (HEISIG, 1998).

Tabelle 2: Physikalische Eigenschaften des Bodens am Profil I (Fahlerde-Pseudogley) und am Profil II (Kolluvisol-Pseudogley)

	Horizont	Tiefe [cm]	Steine [Vol.-%]	S [%]	U [%]	T [%]	Dichte [g/cm³]	nFK [%]
Profil I	Ap (Al)	0 – 18	0	7,1	80,8	12,1	1,08	26,7
	Ael	18 – 35	0	9,5	80,5	10,0	1,31	21,1
	Bt	35 – 55	0	4,9	80,6	14,5	1,46	25,2
	Bt/Sew	55 – 95	<3	4,2	76,3	18,5	1,52	21,6
	Sw	95 – 115	<3	4,2	77,3	18,5	1,58	20,2
	II Sd	115 – 150	0	37,3	37,8	26,9	1,50	20,8
	III fBsd	150 – 170	<5	6,3	62,3	31,4	1,42	20,1
	Sd / ICv	ab 170	<5	5,4	67,7	26,9	1,55	18,3
Profil II	Ap	0 – 25	0	7,4	72,4	15,2	0,80	24,2
	AhM	25 – 35	0	6,0	74,9	19,1	1,14	27,9
	M	35 – 52	0	7,8	69,0	23,2	1,31	42,1
	MSw	52 – 68	0	10,6	58,0	32,4	1,14	44,8
	II (Sw)Sd	68 – 135	<3	12,8	61,2	26,0	1,42	39,1

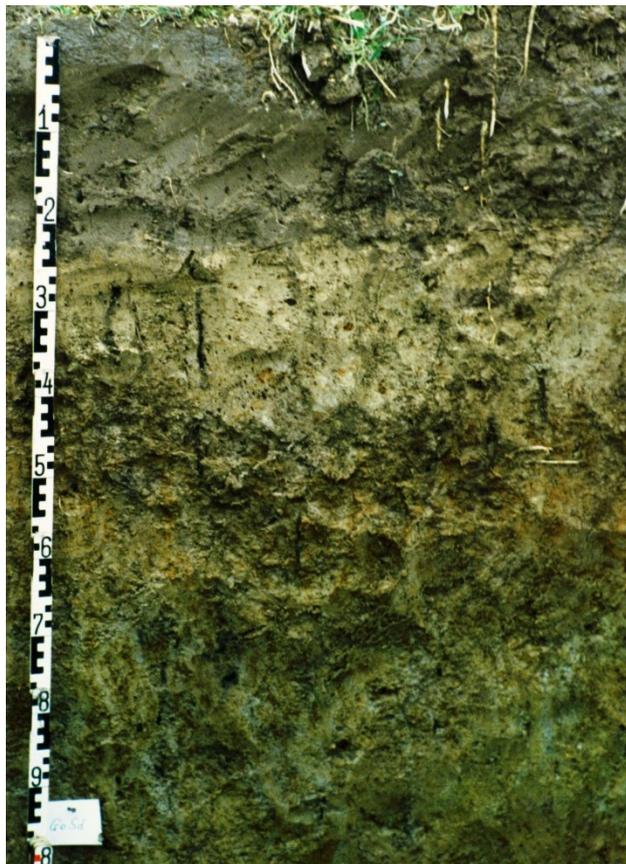
S = Sand; U = Schluff; T = Ton; nFK = nutzbare Feldkapazität

Tabelle 3: Chemische Eigenschaften des Bodens an zwei repräsentativen Profilen

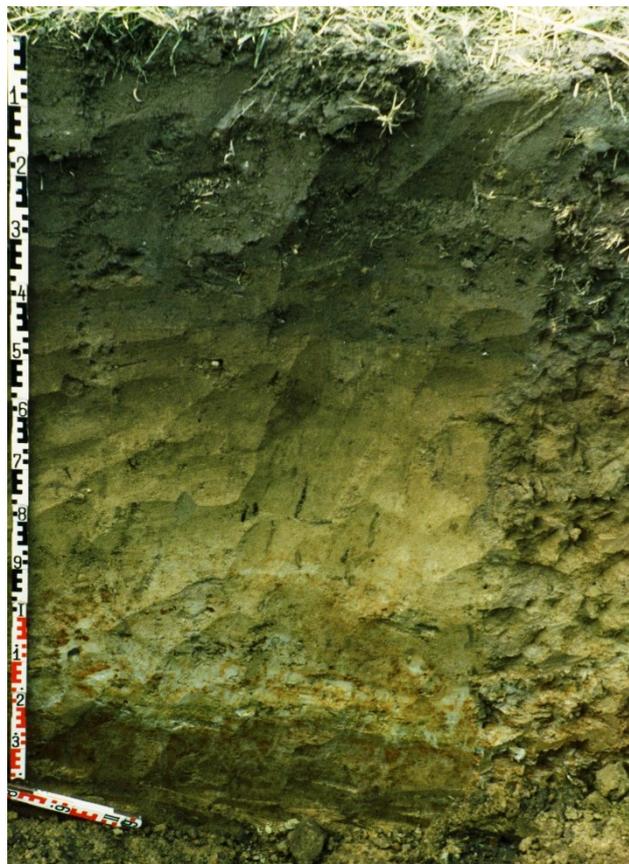
	Horizont	Tiefe [cm]	pH [CaCl ₂]	C _{org} [%]	KAK _{off} [mmol/kg]	austauschb. Kationen [mmol/kg]		
						H + AL	Ca	Na
Profil I	Ap (Al)	0 – 18	5,8	1,41	164	42	128	0,9
	Ael	18 – 35	6,0	1,41	104	28	92	0,8
	Bt	35 – 55	5,9	0,53	167	32	53	0,7
	Bt/Sew	55 – 95	5,9	0,43	187	13	135	0,8
	Sw	95 – 115	5,9	0,04	231	6	187	0,6
	II Sd	115 – 150	5,4	0,08	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
	III fBsd	150 – 170	5,9	0,13	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
	Sd / ICv	ab 170	5,3	0,04	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Profil II	Ap	0 – 25	5,8	1,48	122	74	17	2,3
	AhM	25 – 35	6,0	1,51	128	79	8	1,0
	M	35 – 52	6,1	0,97	132	13	7	4,5
	MSw	52 – 68	5,3	0,61	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
	II (Sw)Sd	68 – 135	5,8	0,04	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

KAK = Kationenaustauschkapazität; n. b. = nicht bestimmt

Nach diesen Ergebnissen sind die Bodenverhältnisse auf der Versuchsfläche relativ homogen. Es dominieren stauernässte Böden vom Typ des Fahlerde-Pseudogleys, selten sind typische Pseudogleye bzw. Parabraunerde-Pseudogleye und Braunerde-Pseudogleye entwickelt.



Fahlerde-Pseudogley (L 4 LÖ 68/68)



Kolluvisol-Pseudogley (L 5 LÖ 63/63)

Abbildung 1: Verbreitete Bodentypen aus zwei Profilaufnahmen (HEISIG, 1998; siehe Tab. 2 u. Tab. 3)

Der Humusgehalt der Böden ist relativ einheitlich. Er schwankt geringfügig um den Wert von 2,5 %, ehemalige Düngungs- und Behandlungsmaßnahmen sind mit diesem Parameter nicht mehr nachweisbar. Ab 40 cm unter Flur fällt der Humusgehalt deutlich ab. Die Speicherkapazität und die Versorgung mit Nährstoffen sind gut. Auch die Durchwurzelbarkeit des Bodens ist bis in eine Tiefe von 80 – 125 cm als gut zu beschreiben. Probleme für das Pflanzenwachstum gibt es im ausgetrockneten Zustand (in sehr trockenen Sommern) bzw. bei Wasserüberschuss (regelmäßig im Frühjahr). Weitere Ergebnisse zu den chemischen Bodenmerkmalen befinden sich in Anlage 3 im Anhang.

Klimatisch gehört Roda zum ostdeutschen Binnenlandklima – Leipziger Bucht – mit Einflüssen des mittelsächsischen Hügellandes (Abb. 2). Der mittlere Jahresniederschlag lag im Zeitraum 1961 – 1990 bei 711 mm, heute eher bei 643 mm, die mittlere Jahrestemperatur bei 8,6 °C, heute bei 9,5 °C. Die Versuchsstation Roda betrieb eine eigene Wetterstation. Von den erfassten Wetterdaten werden die Niederschläge, Temperaturen, Luftfeuchte und die Einstrahlung von 1995 – 2011 dokumentiert (Tab. 4).

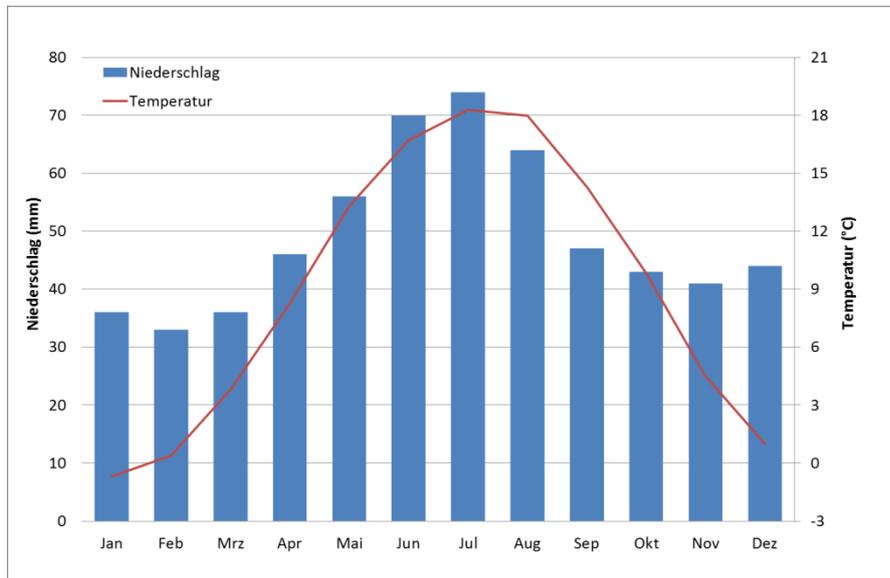


Abbildung 2: Klimadiagramm über Niederschläge und Temperaturen (1982 – 2012)

Tabelle 4: Jahresniederschläge, Luftfeuchtigkeit, Temperaturen und Einstrahlung an der Wetterstation Roda

Jahr	Niederschlag (mm)	Luftfeuchtigkeit (%)	Bodentemperatur 0,2 m Tiefe (°C)	Lufttemperatur 2,0 m Höhe (°C)	Einstrahlung (W/m ²)
1995	840	81,7	10,4	9,2	109,5
1996	566	89,2	8,8	7,2	102,3
1997	572	85,7	10,1	9,3	112,8
1998	687	84,8	10,5	9,7	105,8
1999	652	81,0	10,8	10,1	111,3
2000	626	79,1	11,3	10,7	112,4
2001	708	80,7	10,3	9,6	107,2
2002	729	75,0	10,2	9,9	105,7
2003	368	75,2	10,8	10,0	124,9
2004	723	77,9	10,3	9,4	122,9
2005	536	80,6	10,9	9,5	128,0
2006	520	81,8	10,9	10,0	130,6
2007	754	80,8	11,3	10,4	126,9
2008	609	79,2	11,2	10,1	124,4
2009	669	80,8	10,9	9,8	124,2
2010	810	82,2	10,0	8,1	120,5
2011	521	79,6	11,3	10,5	130,8
Durchschnitt (n = 17)	641	80,9	10,6	9,6	117,7

3 Anlagekonzept und Fruchtfolgen des Ökofeldes

Die Versuchsstation Roda umfasste insgesamt 52 ha Ackerland. Im Jahr 1995 wurde mit der Umstellung von 14 ha auf ökologische Landbewirtschaftung der Grundstein für die Einrichtung eines Ökofeldes gelegt. Die Öko-Versuchsfläche war in 10 Schläge unterteilt, auf denen zwei verschiedene Fruchtfolgen angelegt wurden (Abb. 3, Tab. 5), um eine vergleichende Betrachtung zwischen einer viehlosen und einer viehreichen Bewirtschaftung zu ermöglichen. Die Flächengröße der Einzelschläge betrug:

- Schlag 1 1,2 ha
- Schlag 2 1,3 ha
- Schlag 3 1,3 ha
- Schlag 4 2,2 ha
- Schlag 5 1,1 ha
- Schlag 6 1,4 ha
- Schlag 7 1,1 ha
- Schlag 8 1,1 ha
- Schlag 9 1,1 ha
- Schlag 10 1,1 ha.

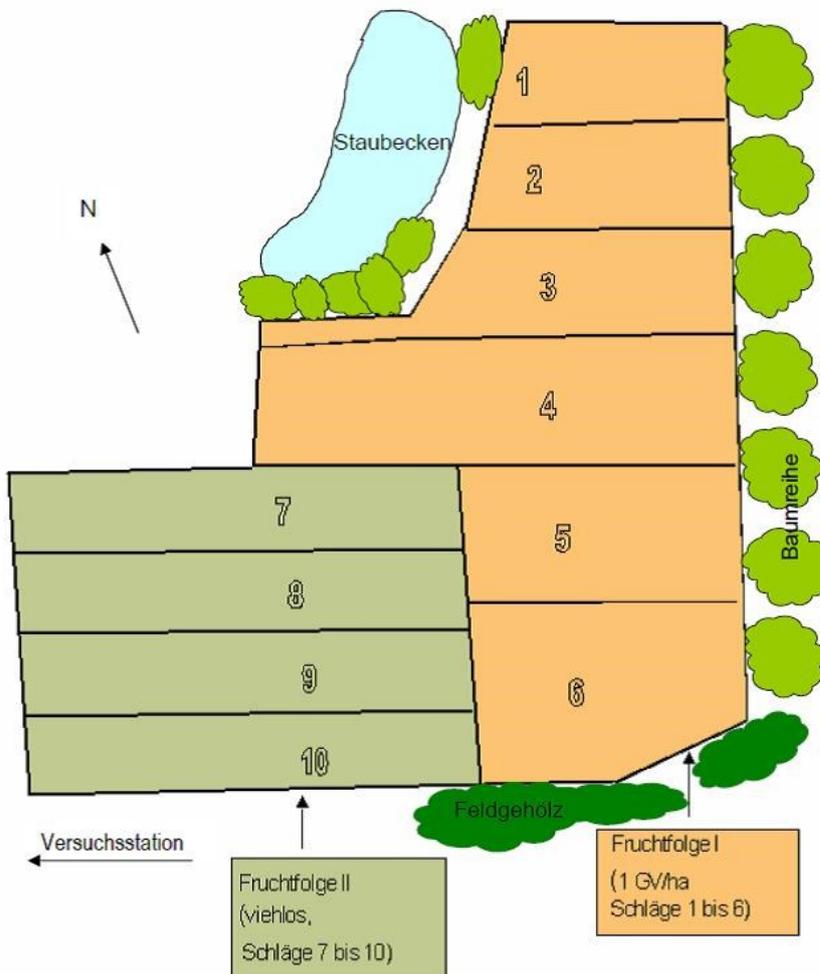


Abbildung 3: Lageplan des Ökofeldes Roda

Auf jedem der 10 Ackerschläge konnten Exakt- und Dauerversuche zu Fragen des ökologischen Landbaus durchgeführt werden. Entsprechend der Fragestellung erfolgte eine gezielte Eingliederung der Versuche in die Schläge der beiden Fruchtfolgen. Außerdem wurden Demonstrationsflächen angelegt, die an Feld- und Pra-

xistagen Fachberatern und Praktikern spezielle Fragestellungen und Probleme des ökologischen Landbaus veranschaulichen sollten. Eine Übersicht der auf dem Ökofeld Roda durchgeführten Exakt- und Demonstrationsversuche mit Angabe der jeweiligen Fragestellung und Versuchsfrucht ist als Anlagen 1 und 2 beigefügt. Die Ergebnisse sind in zahlreichen Publikationen veröffentlicht.

Die Fruchtfolge I umfasste die Schläge 1 – 6 und simulierte einen Gemischtbetrieb mit einem Viehbesatz von 1 GV/ha (Tab. 5). Der Leguminosenanteil der Fruchtfolge lag bei 33 %. Angebaut wurden 2-jährige Klee-gras-mischungen mit einem Leguminosen/Gras-Verhältnis von 50:50. Sämtliche Leguminosenaufwüchse und Koppelprodukte wurden geerntet und abgefahren, die Düngung erfolgte mit organischem Dung aus der Rinderhaltung.

Die Fruchtfolge II lag auf den Flächen 7 – 10 und stellte einen reinen Marktfurchtbetrieb dar (Tab. 5). Der Leguminosenanteil betrug 46 %. Angebaut wurden Ackerbohne, Klee-gras-Mischungen sowie Rotklee-Rein-saaten. Mit Ausnahme der Haupternteprodukte Ackerbohnenkörner und Rotkleesamen blieben alle Leguminosenaufwüchse und sonstigen Koppelprodukte auf dem Feld.

Die Fruchtfolgen wurden nicht starr umgesetzt und mit den Jahren erfolgten Änderungen einzelner Fruchtfolgeglieder. Als Reaktion auf ein verstärktes Unkrautauftreten kam es z. B. im Jahr 1998 zu einem Anbau von Wickroggen in der Fruchtfolge II. Um den Rahmen für bestimmte Exkatversuche zu verbessern, wurden auch einzelne Fruchtarten aufgenommen, wie z. B. Silomais, die ansonsten nicht in der Fruchtfolge enthalten waren. So wurden zeitweise auch Teilflächen mit Winterraps bestellt, um z. B. phytosanitäre Randeffekte für spezielle Rapsversuche auszugleichen.

Grundsätzlich wurde die Fruchtfolge I im Jahr 2007 umgestellt, in dem Winterweizen nicht mehr in 1. Stellung nach 2-jährigem Klee-gras angebaut wurde sondern erst in 2. Stellung nach Klee-gras, während Kartoffeln an erster Stelle eingegliedert wurden. Ziel dieser Maßnahme war es, eine höhere Ertragsleistung der Kartoffeln anzustreben.

Die Fruchtfolge II sollte ab dem Jahr 2006 so umgestellt werden, dass Rotklee nicht mehr 2-jährig zum Anbau kam. Der Grund hierfür war der sehr hohe Leguminosenanteil in der Fruchtfolge und Schwierigkeiten bei der Saatguterzeugung von Rotkleesamen. Dafür sollte der Rotklee nur noch überjährig als Stilllegung genutzt werden. Aufgrund von sehr starkem Auftreten von Ackersenf und Hederich auf den Flächen 8, 9 und 10 war dieses Vorhaben jedoch auf Dauer nicht umsetzbar und ab 2009 wurde der Rotklee wieder 2-jährig angebaut. Das Unkrautauftreten konnte so am besten unterdrückt werden, was in den Vorjahren durch Hafer- und Ackerbohnenanbau nur unzureichend geschah.

Tabelle 5: Abfolge der Feldfrüchte in den Fruchtfolgen I und II

Fruchtfolge I: Simulation eines Viehbesatzes mit ca. 1 GV/ha Leguminosenaufwüchse und Koppelprodukte werden abgeerntet, organische Düngemittel aus der Rinderhaltung							Fruchtfolge II: Simulation einer viehlosen Bewirtschaftung Leguminosenaufwüchse und Koppelprodukte verbleiben auf den Schlägen			
Schlag							Schlag			
Jahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	W.-Weizen	W.-Weizen	W.-Roggen	W.-Roggen	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	Ackerbohne	S.-Weizen	Kartoffel
1996	Kartoffel	Hafer	Silomais	W.-Roggen	Kleegras	W.-Weizen	Ackerbohne	Dinkel	Sonnenblume	S.-Gerste
1997	S.-Weizen	W.-Weizen	Hafer	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Grünha./Kleegr	W.-Roggen	S.-Gerste	Ackerbohne
1998	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	W.-Roggen	W.-Weizen	S.-Gerste	Ackerbohne	Triticale
1999	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste	Kleegras	Wickroggen	W.-Roggen	Kleegras
2000	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	S.-Gerste	Kleegras	Kleegras	Rotklee	Silomais	W.-Weizen
2001	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Rotklee	Rotklee	S.-Gerste
2002	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	S.-Gerste	W.-Weizen	Rotklee	Ackerbohne
2003	Triticale	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Ackerbohne	S.-Gerste	W.-Weizen	W.-Roggen
2004	Hafer	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Roggen	Ackerbohne	Hafer	Rotklee
2005	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Roggen	Triticale	Hafer	Rotklee	W.-Weizen	Ackerbohne	Rotklee
2006	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras	W.-Weizen	Rotklee	W.-Roggen	W.-Weizen
2007	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Ackerbohne	W.-Roggen	Rotklee	S.-Weizen
2008	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Roggen	Hafer	W.-Weizen	Ackerbohne
2009	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Rotklee	W.-Roggen	Ackerbohne	Rotklee
2010	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	W.-Weizen	Rotklee	W.-Roggen	Rotklee
2011	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	W.-Roggen	Hafer	Ackerbohne	Rotklee	Hafer	W.-Weizen

Legende:

Leguminosen

Wintergetreide

Sommergetreide

Kartoffel

Sonstige

4 Bewirtschaftungsmaßnahmen

Die Maßnahmen und Daten zur Bewirtschaftung auf den Schlägen wurden auf der Versuchsstation regelmäßig in Schlagkarteien aufgezeichnet. In Anlage 7.1 – Anlage 7.10 des Anhangs sind die Bewirtschaftungsmaßnahmen der Ackerschläge für die Erntejahre 1996 bis 2011 in ihrer zeitlichen Abfolge zusammengefasst dargestellt worden. Nachfolgend werden einige Einzelmaßnahmen näher erläutert.

4.1 Bodenbearbeitung

Zur Grundbodenbearbeitung kam auf allen Schlägen in nahezu allen Jahren der Pflug zum Einsatz. Die tiefe Pflugfurche bietet im Sinne des „reinen Tisches“ die beste Gewähr, dass Auflaufgetreide und Ernterückstände vorangegangener Kleegrasesaaten nachhaltig eingearbeitet werden. Dem Pflug ging meistens eine flachgründige Stoppelbearbeitung mit dem Grubber voraus. Eine nachfolgende Walze oder ein Packer sollten zur Rückverdichtung des Bodens dienen, insbesondere wenn Einsaaten der Pflugfurche unmittelbar folgten. Die anschließende Saatbettvorbereitung wurde je nach den zu schaffenden Aussaatbedingungen mit Gerätekombinationen aus flach arbeitenden Grubbern und nachlaufenden Leistenwalzen in mehrfacher Überfahrt ausgeführt.

4.2 Düngung

4.2.1 Organische Düngung

Eine Düngung mit Wirtschaftsdüngern ist entsprechend den allgemeinen Zielvorgaben nur in der Fruchtfolge I erfolgt. Gedüngt wurde mit Stallmist, Gülle und im 2. Versuchsjahr auch mit Jauche aus der Rinderhaltung. Die Nährstoffgehalte der organischen Düngemittel wurden durch Laboruntersuchungen erfasst.

Tabelle 6 enthält eine Übersicht der Düngungstermine und eingesetzten Aufwandmengen. Rinder-Stallmist wurde in Gaben von 25 – 30 t/ha ausgebracht. Gedüngt wurde bevorzugt zu Kartoffeln, in der Regel im vorangegangenen Herbst. Der Stallmist wurde mit einer anschließenden Pflugfurche in den Boden eingearbeitet. Rinder-Gülle und Rinder-Jauche wurden stets im Frühjahr zur Bestockung des Winterweizens gegeben. Die Gaben schwankten zwischen 18 m³ und 30 m³/ha.

Tabelle 6: Organische Düngung (in t/ha bzw. m³/ha Frischmasse)

Jahr	Fruchtfolge I: Viehbesatz mit 1GV/ha						Fruchtfolge II: Viehlose Bewirtschaftung			
	Schlag						Schlag			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	Gülle, 20 m³	Gülle, 20 m³								
1996	Stallmist, 30 t	Jauche, 20 m³	Stallmist, 35 t			Jauche, 15 m³				
1997						Stallmist, 30 t				
1998					Stallmist, 25 t					
1999			Gülle, 20 m³							
2000		Gülle, 18 m³	Stallmist, 25 t		Stallmist, 25 t				Gülle, 20 m³	
2001	Gülle, 20 m³	Stallmist, 25 t		Stallmist, 25 t						
2002			Stallmist, 25 t							
2003		Stallmist, 25 t								
2004				Gülle, 20 m³	Stallmist, 25 t					
2005		Stallmist, 25 t								
2006		Stallmist, 25 t	Gülle, 20 m³							
2007	Stallmist, 25 t	Gülle, 18 m³								
2008	Gülle, 18 m³	Stallmist, 25 t				Stallmist, 25 t				
2009		Stallmist, 25 t			Stallmist, 25 t	Gülle, 20 m³				
2010	Stallmist, 25 t				Gülle, 30 m³					
2011			Stallmist, 25 t	Gülle, 30 m³						

Legende:

Leguminosen

Wintergetreide

Sommergetreide

Kartoffel

Sonstige

4.2.2 Mineralische Düngung

Zur Sicherung des Versorgungszustandes des Bodens mit den Hauptnährstoffen Phosphor und Kalium wurden auf den Schlägen 2 – 6 sowie 7 und 10 mineralische Düngemittel ausgebracht. Hierfür kamen folgende, für den ökologischen Landbau zugelassene Düngemittel zum Einsatz (Tab. 7). Die Düngungsbemessung erfolgte mit dem Programm BEFU entsprechend den Bedingungen für den ökologischen Landbau (KOLBE & KÖHLER, 2008).

Tabelle 7: Nährstoffgehalte der eingesetzten mineralischen Düngemittel

	Phosphat [%]		Kalium [%]		Magnesium [%]		Calcium [%]
	P ₂ O ₅	P	K ₂ O	K	MgO	Mg	CaO
Dolophos 15	15,0	6,5	-	-	7,2	4,3	46,0
Thomasphosphat 15	15,0	6,5	-	-	-	-	45,0
Patentkali	-	-	30,0	24,9	10,0	6,0	-

Die einzelnen Düngetermine sind der Anlage 3 zu entnehmen. Gedüngt wurde meistens im Spätsommer und Herbst auf die Stoppeln oder kurz nach Stoppelumbruch. Die dabei jeweils ausgebrachten Düngermengen gehen aus Tabelle 8 hervor. Umgerechnet in Reinnährstoffe entsprachen die Einzelgaben zwischen 40 – 50 kg P/ha sowie 40 – 60 kg K/ha.

Schlag 1 und in eingeschränktem Umfang auch Schlag 2 erhielten über die gesamte Laufzeit keine mineralische Düngung. Bei Beginn der Untersuchungen waren die Nährstoffgehalte des Bodens auf diesen Flächen sehr niedrig, ideale Bedingungen zur Anlage spezieller Experimente zur Nährstoffversorgung und Düngung. Daher wurden diese Flächen zur Anlage für Versuche mit diesem Themenspektrum vorbehalten (siehe Anlage 1, Ro11, Ro24).

Tabelle 8: Mineralische Düngung (ausgebrachte Mengen in dt/ha)

Jahr	Fruchtfolge I: Viehbesatz mit 1GV/ha						Fruchtfolge II: Viehlose Bewirtschaftung			
	Schlag						Schlag			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995										
1996										
1997										
1998										
1999				Thomasp. 3,1dt	Patentkali 1,1dt					
2000			Dolophos 7,1dt	Dolophos 6,2dt	Patentkali 2,4dt					
2001			Dolophos 7,1dt	Dolophos 6,3dt	Patentkali 2,4dt					
2002			Dolophos 6,2dt	Dolophos 6,2dt						
2003		Dolophos 7,1dt	Dolophos 6,3dt	Patentkali 1,6dt						
2004						Dolophos 6,2dt Patentkali 7,4dt	Dolophos 9,2dt			Patentkali 2,0dt
2005			Dolophos 6,2dt Patentkali 7,4dt							
2006										
2007		Dolophos 6,2dt								
2008										
2009										
2010										
2011										

Legende:

Leguminosen

Wintergetreide

Sommergetreide

Kartoffel

Sonstige

4.3 Pflegemaßnahmen

4.3.1 Unkrautregulierung

Zur Unkrautbekämpfung wurde auf allen Schlägen und zu nahezu allen Fruchtarten der Striegel eingesetzt, oftmals in zweifacher Wiederholung im Abstand von ca. zwei Wochen. Der Erfolg des Striegeln wurde maßgeblich von den Witterungsbedingungen und der Bodenfeuchte zum Einsatztermin bestimmt. Gute Erfolge wurden immer dann erzielt, wenn der Striegel in Phasen längerer Trockenheit bei ausreichend abgetrocknetem Boden eingesetzt werden konnte.

Neben dem Striegel kam in Silomais und Sonnenblume im Jahr 1996 einmalig auch ein Hackgerät zum Einsatz. Im Jahr 2008 wurde in Ackerbohne auch der Rotary-Hoe, ein Gerät mit rotierenden Sternrädern (Rotor-Striegel) zur Ergänzung des herkömmlichen Striegels erfolgreich eingesetzt. Bei Kartoffeln folgte auf den Striegel in der Regel auch der Einsatz des Hackgerätes und ein ein- bis zweimaliges Anhäufeln der Dämme. Die jungen Klee-grasansaat en wurden meistens vor dem Winter gemulcht, um den Unkraut aufwuchs zu unterdrücken. Ergänzend wurde in manchen Jahren noch ein Schröpfungsschnitt im darauf folgenden Frühjahr durchgeführt, um dem Klee-gras den erforderlichen Entwicklungsvorsprung vor konkurrierenden Unkräutern zu sichern. Widerstandsfähige Wurzelunkräuter, wie Ampfer und besonders Disteln, mussten in den ersten Jahren nach der Umstellung auch von Hand geschnitten oder gestochen werden, um den Unkrautdruck zu mindern. Nach dieser Zeit traten Probleme mit Wurzelunkräutern nur noch vereinzelt auf. Ab dem Jahr 2006 bereiteten vor allem Unkräuter wie Hederich und Ackersenf auf den Schlägen 8, 9 und 10 Probleme in der viehlosen Fruchtfolge. Dies führte dazu, dass der Winterweizen im Jahr 2007 vorzeitig umgebrochen werden musste.

4.3.2 Krankheiten und Schädlinge

Berichte über Krankheiten stammen von Kartoffeln (Krautfäule – Phytophthora), Winterroggen, Triticale und Sommergerste (jeweils Geteiderost) (Tab. 9). Zur Schädlingsbekämpfung wurde in Kartoffel in einzelnen Jahren das biologische Insektizid Novodor® FC auf Basis von *Bacillus thuringensis* subsp. *tenebrionis* mit der Spritze eingesetzt. Novodor® FC enthält Bt-Proteine als Fraßgift, die selektiv über die Verdauungsorgane von Kartoffelkäferlarven wirken. Die Käfer selbst werden nicht erfasst. In Kombination mit der Novodor-Spritzung wurde oftmals das Pflanzenstärkungsmittel Humin-Vital appliziert.

In Ackerbohne wurden in den Jahren 1996 und 1998 Pflanzenschutzmittel zur Blattlausbekämpfung eingesetzt. Zur Anwendung kam das biologische Pflanzenstärkungsmittel Enviripel aus fast 100 % Knoblauch, das die Widerstandskraft der Pflanzen gegen Schädlinge erhöht. Um das Aufkommen von Feldmäusen zu verringern, kam es im Jahr 1998 zur Aufstellung von Greifvogelsitzkrücken auf den Randflächen des Versuchsfeldes.

Tabelle 9: Einsatz von Pflanzenschutz- und Pflanzenstärkungsmitteln

Erntejahr	Schlag	Fruchtart	Schädling	Pflanzenschutzmittel
1996	1	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (3 l/ha)
1996	7	Ackerbohne	Blattläuse	Enviripel (1,0 l/ha)
1998	9	Ackerbohne	Blattläuse	Neem (nur Versuchspartzen, nicht der gesamte Schlag)
2000	3	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (2 l/ha), Humin-Vital (0,5 l/ha), 2-malig
2001	2	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (5 l/ha), Humin-Vital (400 g/ha)
2002	1	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (5 l/ha), Humin-Vital (400 g/ha)
2003	6	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (5 l/ha), Humin-Vital (0,5 l/ha), 2-malig
2004	5	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (5 l/ha), Humin-Vital (0,5 l/ha)
2006	2	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (5 l/ha)
2007	1	Kartoffel	Kartoffelkäfer	Novodor® FC (4 l/ha), 2-malig

4.4 Zwischenfruchtanbau und Untersaaten

Nach den Wintergetreidearten und nach Sommergerste wurden in beiden Fruchtfolgen regelmäßig Zwischenfrüchte angebaut. Eine Übersicht, jeweils bezogen auf das folgende Erntejahr, enthält Tabelle 10. Meistens wurde Phacelia ausgesät, entweder in Reinsaat oder in Gemengen mit Senf, Erbsen, Ackerbohne bzw. Wicke oder Buchweizen. Selten wurde auch reiner Senf ausgesät und im Herbst gemulcht.

Untersaaten wurden in Sommer- und Wintergetreide, in Ackerbohnen und Silomais eingebracht. Dabei handelte es sich meistens um Mischungen aus Deutschem oder Welschem Weidelgras und Weißklee. Bisweilen wurde auch die Ansaat des 2-jährigen Klee-grases als Untersaat in der vorangegangenen Winterung (Winterroggen, Triticale) vorgenommen.

Tabelle 10: Zwischenfruchtanbau und Untersaaten

Jahr	Fruchtfolge I: Viehbesatz mit 1GV/ha						Fruchtfolge II: Viehlose Bewirtschaftung			
	Schlag						Schlag			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995								Untersaat	Untersaat	
1996	Gemenge	Gemenge	Gemenge	Klee-Untersaat				Untersaat		
1997	Untersaat	Klee-Untersaat					Klee-Untersaat			Untersaat
1998								Zwischenfrucht	Zwischenfrucht	
1999										
2000			Senf		Senf				Senf	
2001		Phacelia, Wicke								Phacelia, Wicke
2002	Phacelia, Buchweizen									
2003						Phacelia, Buchweizen	Phacelia, Buchweizen	Phacelia, Buchweizen.		
2004				Zwischenfrucht			Klee-Untersaat	Klee-Untersaat		
2005								Untersaat Klee	Grasuntersaat	
2006					Phacelia		Phacelia, Buchweizen	Senf		
2007										
2008			Phacelia	Phacelia					Phacelia, Buchweizen	
2009		Phacelia								
2010	Phacelia									
2011										

Legende:

Leguminosen

Wintergetreide

Sommergetreide

Kartoffel

Sonstige

5 Boden- und Pflanzenuntersuchungen

Von den angebauten Pflanzenarten wurden die Frisch- und Trockenmasseerträge der Haupt- und Nebenprodukte quantitativ ermittelt. Es wurde ein jährlich fortgeschriebenes Programm zur Untersuchung von Boden- und Pflanzenproben aufgestellt und abgearbeitet. Die Laboranalysen der anfallenden Proben über die Nährstoff- und Humusgehalte und pH-Werte des Bodens sowie der Pflanzenproben wurden durch die Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) durchgeführt.

Mit einem Rammkern-Sondiergerät (6 cm Durchmesser) wurden in den Jahren 2000 und 2007 Bodenproben bis auf 4,5 m Tiefe genommen (0 – 30, 30 – 60, 60 – 90 cm, ab 100 cm Tiefe in Schichten von 50 cm). Es wurden im Bereich der viehlosen und der viehreichen Fruchtfolgen jeweils 8 Beprobungen ca. 40 m vom Rand entsprechend der Abbildung 4 durchgeführt.

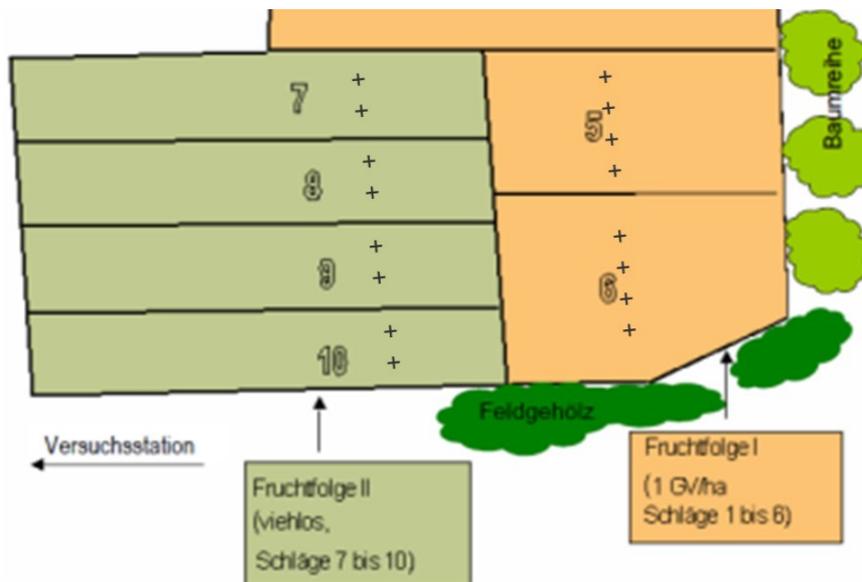


Abbildung 4: Lagepunkte (+) der Tiefenuntersuchungen in der viehlosen und viehreichen Fruchtfolge

Zur Analyse der Nährstoffgehalte der in den Versuchen anfallenden Pflanzenproben sowie der Bodenproben (Bodenkrume 0 – 20 cm sowie im Tiefenprofil in 30-cm-Schritten bis 0,9 m bzw. darunter in 50 cm Schritten bis 4,5 m Bodentiefe) wurden nachfolgende Verfahren des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten angewendet:

■ Boden:

N _{min}	A 6.1.3.2 VDLUFA Methodenbuch I
S _{min}	A 6.3.1 VDLUFA Methodenbuch I
P, K (DL, CAL)	A 6.2.1.1 VDLUFA Methodenbuch I
Mg (CaCl ₂)	A 6.2.4.1 VDLUFA Methodenbuch I
pH-Wert	A 5.1.1 VDLUFA Methodenbuch I
C _{org}	Elementaranalyse
N _t	A 2.2.1 VDLUFA-Methodenbuch I
Humus	C _{org} x 1,72
Kationenaustauschkapazität (KAK)	A 9.1 VDLUFA Methodenbuch I

■ Pflanze:

C	DIN ISO 10694 (1995)
N	DIN ISO 10694 b (1995 – 2003)
P, K, Mg	DIN 51418 (1996 – 2009)
	ISO 11885 (2005 – 2011)
Rohfett	Methode 5.1.1, Verfahren B VDLUFA Methodenbuch III, 3. Auflage
Tausendkornmasse (TKM)	Wiegung von 400 Körnern
Sedimentationswert	ICC-Standard Nr. 118
Fallzahl	ICC-Standard Nr. 107
Rohfaser	VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, Abschnitt 6.1.1
Rohprotein	N x 5,7 (W.-Korn), andere: N x 6,25
Stärke	
Aminosäuren (Lysin, Methionin, Cystein, Threonin)	

■ Berechnungsmethoden:

Getreideeinheiten (GE)	nach BECKER (1988)
Nährstoffbilanzierung	nach experimenteller Ermittlung sowie mit Programm BEFU, Teil ökologischer Landbau in Form der Bruttobilanzierung (KOLBE & KÖHLER, 2008) sowie incl. Bodenänderung an N_t
Legume N-Bindung	nach KOLBE & KÖHLER (2008), KOLBE (2009)
Düngebedarfsermittlung	nach KOLBE & KÖHLER (2008) mit Programm BEFU
Bodennährstoff-Klassen	nach ALBERT et al. (2007): P, K, Mg, pH-Wert
Humusbilanzierung	nach KOLBE (2010b) mit Hilfe des Programms BEFU (KOLBE & KÖHLER, 2008), standortangepasste Methode (STAND) mit STG 5, entspricht in etwa den unteren Werten der VDLUFA-Methode zur Humusbilanzierung (EBERTSEDER et al., 2014), Bewertung nach VDLUFA-Methode, ökologischer Landbau (EBERTSEDER et al., 2014); Humusbilanz (kg HÄQ/ha) = Humifizierungsleistung humusmehrender Fruchtarten – Humifizierungsleistung humuszehrender Fruchtarten + Humifizierungsleistung organischer Dünger
Nettomineralisierung	Nettomineralisation = N-Abfuhr – N-Zufuhr (Brutto) – (N_{\min} Frühjahr – N_{\min} Herbst) (BECKMANN et al., 2002)
Bezugsebenen	bei den Berechnungsmethoden zur Bilanzierung kamen folgende Bezugsebenen je Hektar und Jahr zur Anwendung: Fruchtart, Fruchtfolge, gesamte Anbauzeit.

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit dem Statistik-Software-Paket SPSS. Es wurden Varianz- und Regressionsanalysen gerechnet und Standardabweichungen (s u. s%) und Bestimmtheitsmaße ausgewiesen: p = 5 %*, 1 %**, 0,1 %***.

6 Entwicklung der Humus- und Nährstoffversorgung des Bodens

6.1 Humus

Die Humusversorgung des Bodens wurde in den ersten Jahren durch Messung des Gehaltes an organischer Substanz, später durch Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehaltes (C_t) verfolgt. Zwischen den Jahren 1997 und 2006 wurden keine Messungen durchgeführt. In Abbildung 5 wurden die anfangs ermittelten Werte für die organische Substanz in den Gehalt an Kohlenstoff umgerechnet und als C_{org} (in % TM) ausgewiesen, um dessen Entwicklung über den Versuchszeitraum darstellen zu können. Weitere Ergebnisse der Bodenuntersuchung befinden sich in Anlage 4 im Anhang.

Im Durchschnitt lag der Gehalt an Kohlenstoff zu Beginn des Untersuchungszeitraums in beiden Fruchtfolgevarianten bei 1,1 – 1,2 % C_{org} . Dies entspricht einem Humusgehalt von rund 2 %. Beim Vergleich der Fruchtfolgen war für die viehlose Variante bis zum Ende des Versuches ein leichter Anstieg der C_{org} -Gehalte als Folge des sehr hohen Leguminosenanteils in der Fruchtfolge und des Verbleibs aller Ernterückstände auf der Fläche festzustellen. Bei der viehhaltenden Bewirtschaftung trat dies nicht ein. Hier blieben die C_{org} -Gehalte trotz regelmäßiger Stallmist- und Gülledüngung nahezu konstant auf einem Niveau.

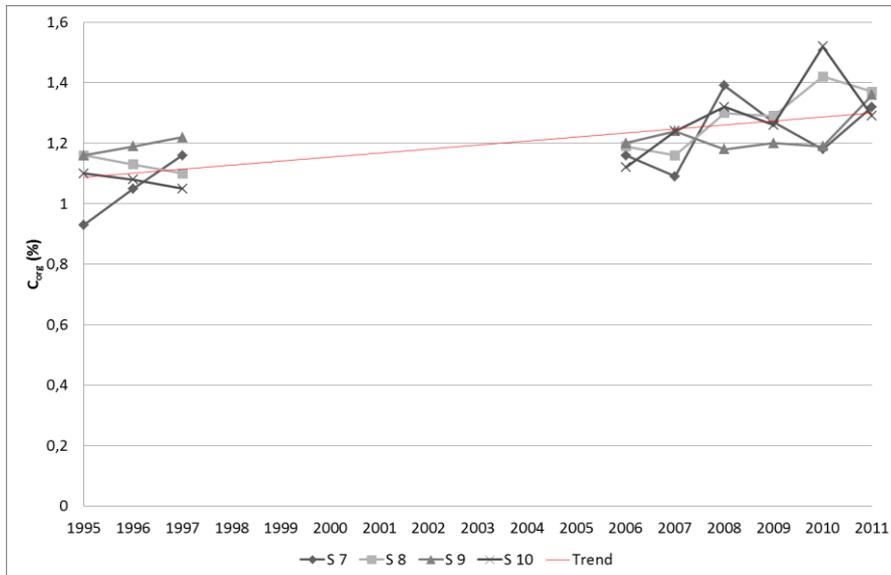
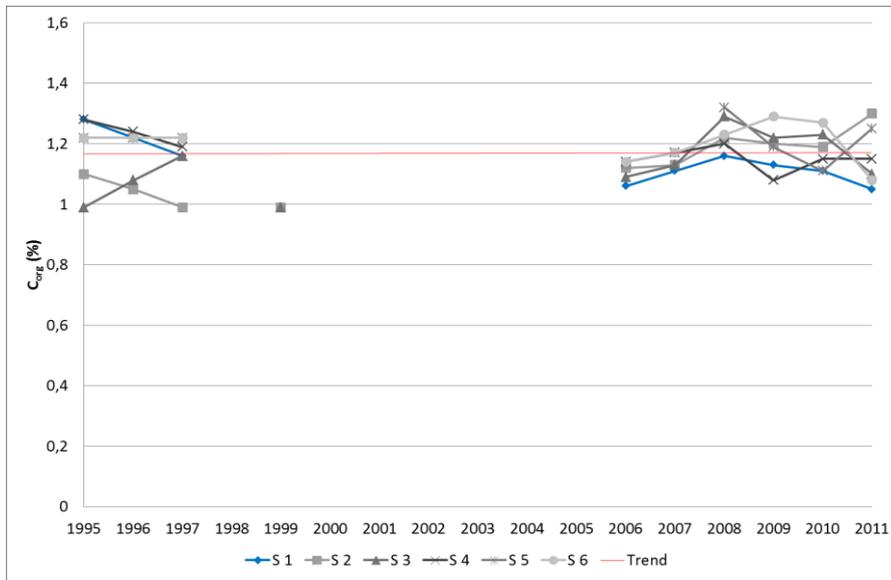


Abbildung 5: Entwicklung der Kohlenstoffgehalte des Bodens in der viehhaltenden (S1 – S6) und viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10)

Die N_t -Gehalte sowie der Verlauf der C/N-Verhältnisse des Bodens sind in Abbildung 6 und 7 ausgewiesen worden. Die N_t -Gehalte des Bodens sind in beiden Fruchtfolgen mit der Zeit etwas abgefallen. Bei gleichbleibenden bzw. angestiegenen C_{org} -Werten bedeutet das, dass die C/N-Verhältnisse auf den viehhaltenden Flächen um über eine Einheit und in den viehlosen Ackerflächen um über zwei Einheiten angestiegen sind (Abb. 7).

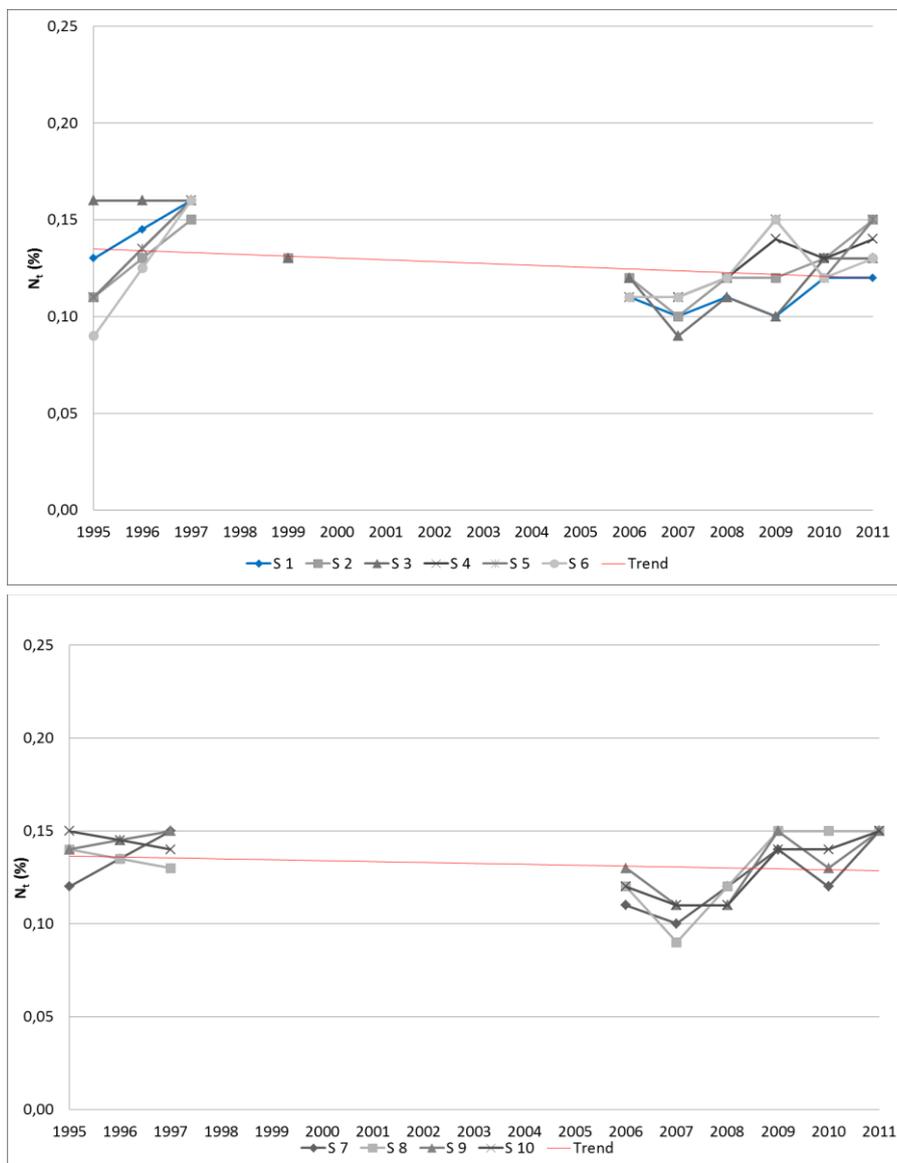


Abbildung 6: Entwicklung der N_t -Gehalte des Bodens in der viehhaltenden (S1 – S6) und viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10)

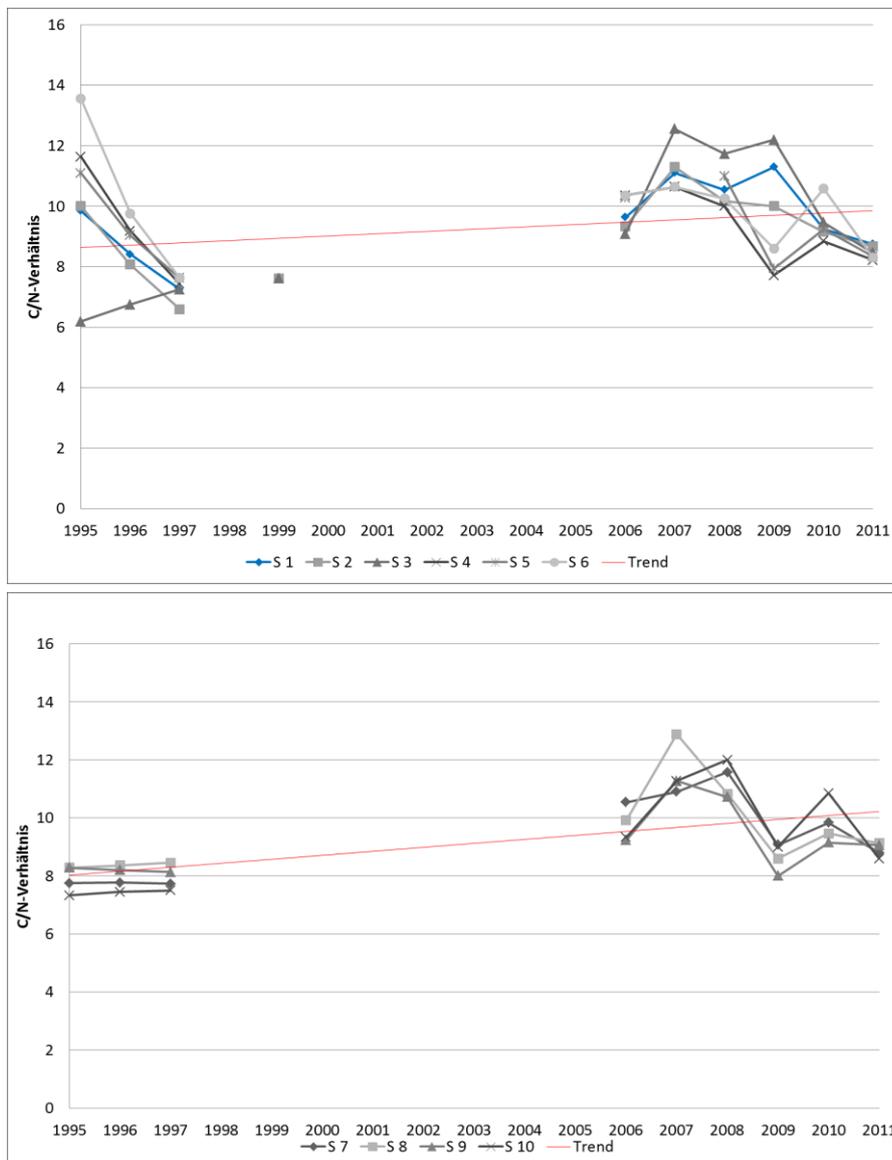


Abbildung 7: Entwicklung der C/N-Verhältnisse des Bodens auf den viehhaltenden (S1 – S6) und viehlosen Fruchtfolgen (S7 – S10)

Das Ausmaß der Veränderung der ermittelten C_{org} - und N_t -Mengen im Verlauf der 17 Jahre ökologischer Bewirtschaftung zeigt die Abbildung 8. Die viehreichen Flächen sind sowohl durch Verluste als auch durch eine Anreicherung an C_{org} und N_t gekennzeichnet. Im Durchschnitt der 6 Flächen ist keine Veränderung der C_{org} -Mengen und eine jährliche Abnahme der N_t -Werte um fast 40 kg N/ha eingetreten. Dagegen war auf den viehlosen Flächen eine Zunahme der C_{org} -Mengen von durchschnittlich 5,4 dt/ha und eine Abnahme der N_t -Mengen um 18 kg/ha und Jahr eingetreten.

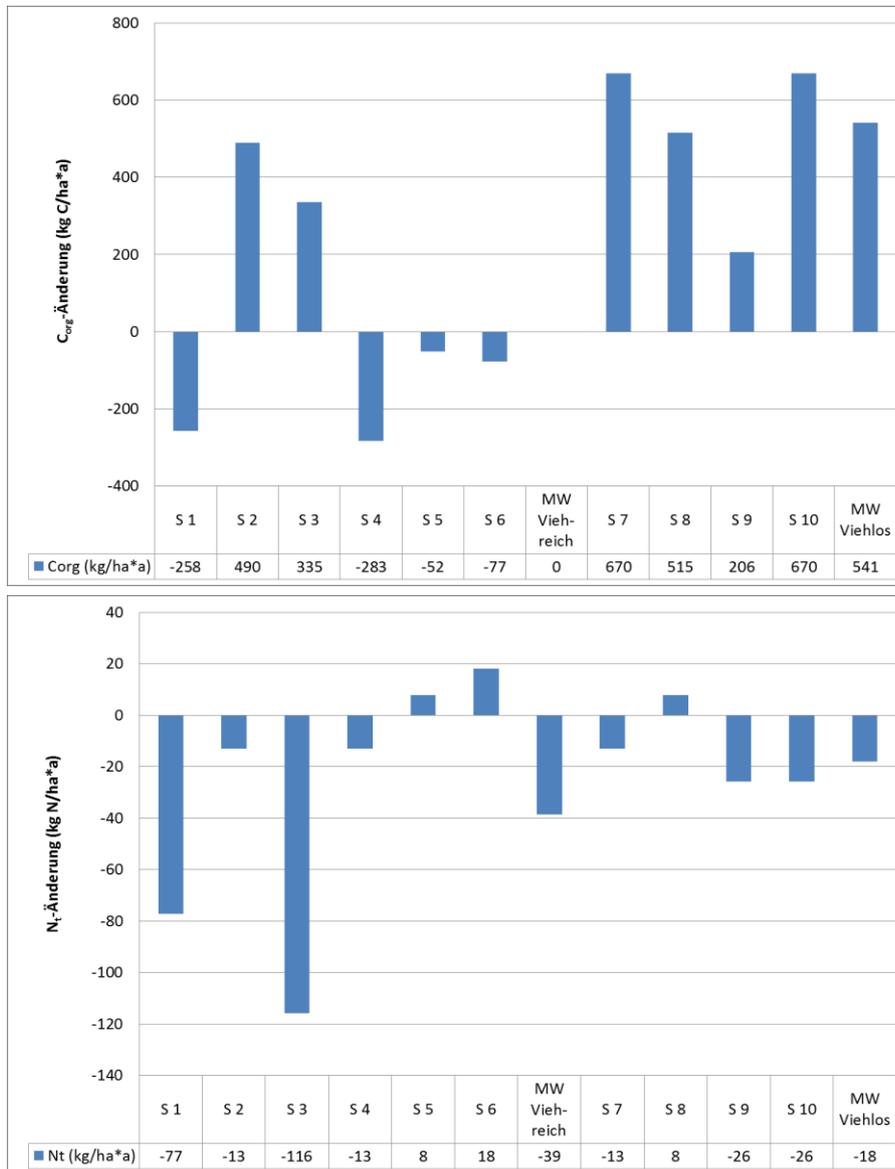


Abbildung 8: Durchschnittliche jährliche Veränderung der C_{org}- und N_t-Mengen der viehreichen (S1 – S6) und der viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10) im Untersuchungszeitraum von 17 Jahren

Dieses spezifische Verhalten zwischen der Veränderung der organischen Substanz und der N_t-Gehalte des Bodens hat zu einer differenzierten Veränderung der C/N-Verhältnisse der einzelnen Flächen beigetragen, die in Abbildung 9 nochmals graphisch dargestellt worden ist. Eine typische Dreiteilung der Reaktion ist erkennbar: Während auf den viehreichen Flächen 1 – 3 und den viehlosen Ackerschlägen 7 – 10 eine z. T. deutliche Erweiterung der C/N-Verhältnisse um über zwei Einheiten mit der Zeit zu beobachten ist, sind die C/N-Verhältnisse auf den ertragreichen viehhaltenden Flächen 4 – 6 von ausgangs relativ weiten Verhältnissen über die Zeit sogar noch etwas enger geworden. Am Ende der Untersuchungszeit des Jahres 2011 lagen die C/N-Verhältnisse in beiden Fruchtfolgen im Durchschnitt mit 10,0 auf gleich hohem Niveau.

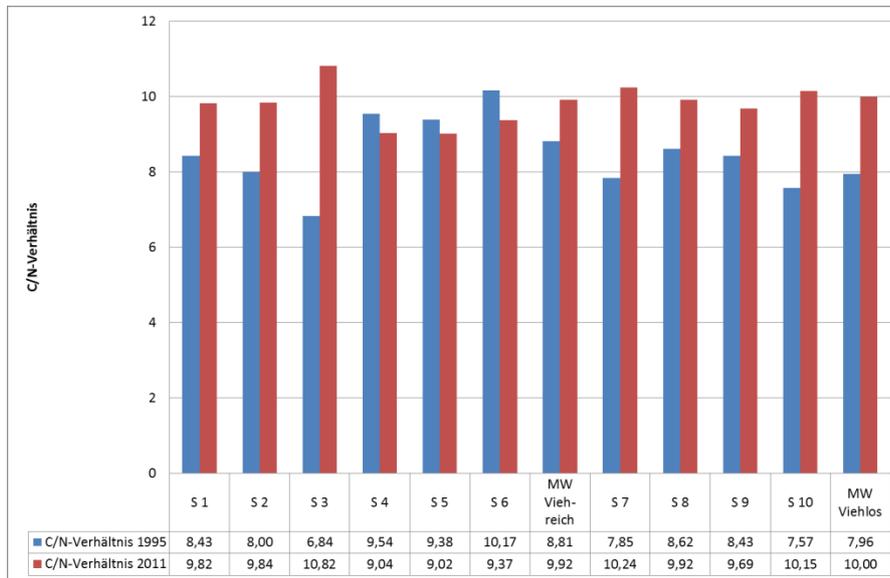


Abbildung 9: Über regressionsanalytische Auswertungen ermittelte durchschnittliche C/N-Verhältnisse zu Beginn im Jahr 1995 und am Ende im Jahr 2011 nach 17 Jahren ökologischer Bewirtschaftung mit einer viehrefolgen (S1 – S6) und einer viehlosen (S7 – S10) Fruchtfolge

Für die C_{org} - und N_t -Werte des Tiefenprofils liegen nur die Ergebnisse aus dem Jahr 2007 vor (Abb. 10). Bis in eine Tiefe von 0,9 – 1,5 m weisen die viehrefolgen Varianten etwas höhere Werte auf. Darunter liegen die Gehalte für C_{org} weitgehend auf einem Niveau von 0,3 % und die Werte für N_t fallen von ca. 0,01 % in 1,5 m Tiefe auf nahezu 0 % in Tiefen unter 3 m ab.

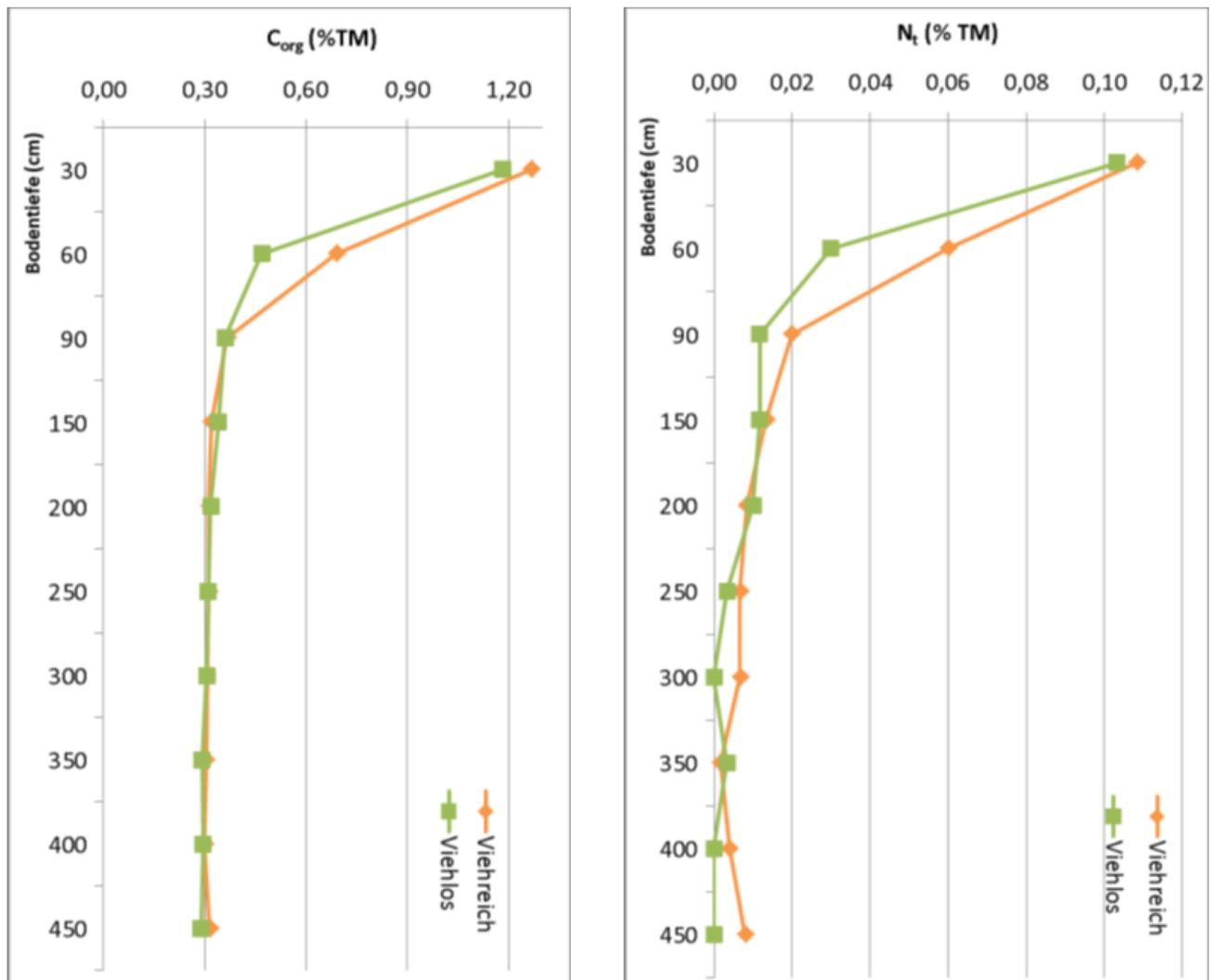


Abbildung 10: Unterschiede im C_{org}- und N_t-Gehalt des Bodens im Tiefenprofil zwischen den viehlosen und viehreichen Fruchtfolgen im Jahr 2007

6.2 Stickstoff und Schwefel

Die Stickstoffversorgung des Bodens wurde durch jährliche Messung des Gesamtstickstoffgehaltes (N_t) und halbjährliche Feststellung des N_{min}-Gehaltes kontrolliert. Unter N_{min} wird der Gehalt an mineralisiertem Stickstoff, d. h. an Nitrat (NO₃-N) und an Ammonium (NH₄-N) verstanden. Die N_{min}-Beprobung erfolgte jeweils im Herbst nach der Ernte (Ende Oktober – Anfang November) und zu Vegetationsbeginn im zeitigen Frühjahr (Ende März – Anfang April). Beprobte wurden in den ersten Jahren nur die Tiefenstufen 0 – 30 cm und 30 – 60 cm, später kam die Stufe 60 – 90 cm Bodentiefe hinzu.

Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen sind in den Anlagen 5 und 6 zusammengestellt worden. Die folgenden Abbildungen 11 und 12 zeigen die Entwicklung der Frühjahrs- und Herbst-N_{min}-Gehalte von 0 – 60 cm Tiefe sowie im Tiefenprofil bis 4,5 m Bodentiefe im gesamten Untersuchungszeitraum für die viehaltende und die viehlose Fruchtfolge.

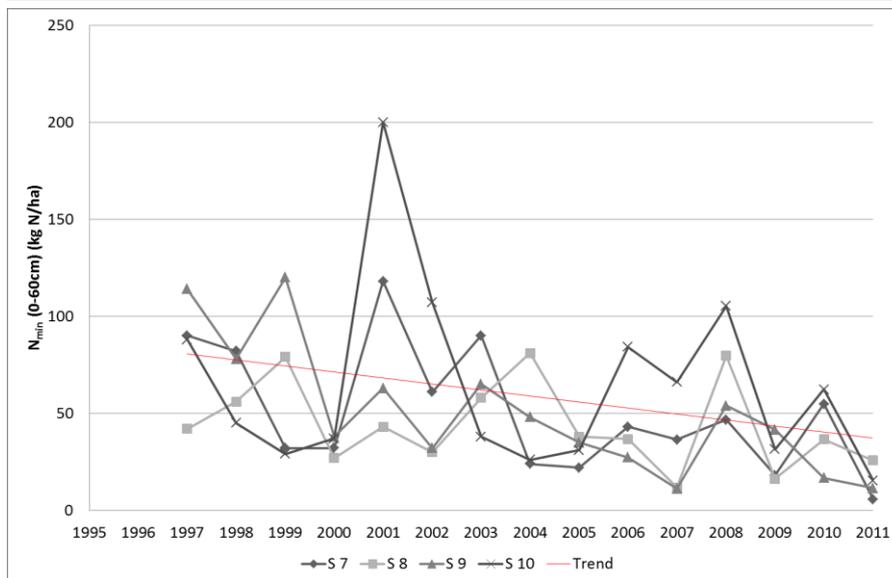
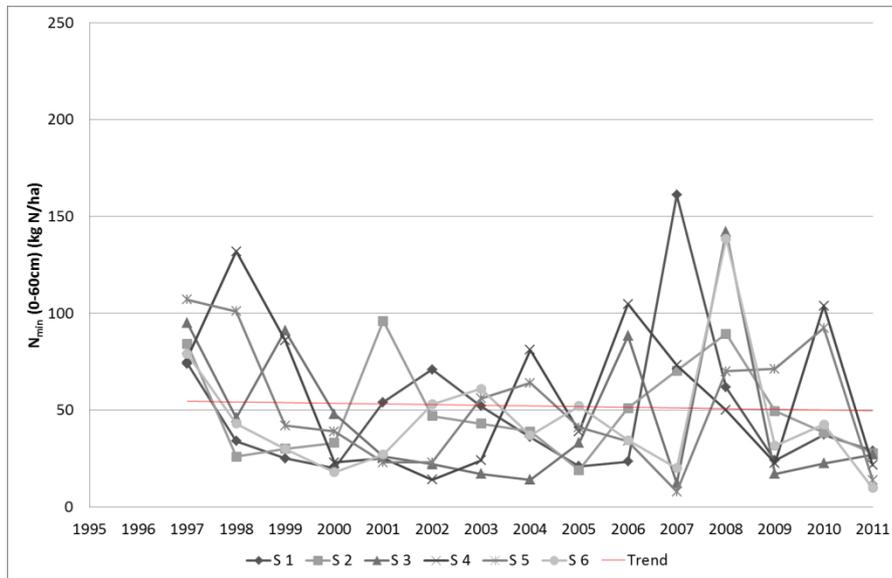


Abbildung 11: Entwicklung der N_{min}-Gehalte im Frühjahr in der viehhaltenden (S1 – S6) und der viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10)

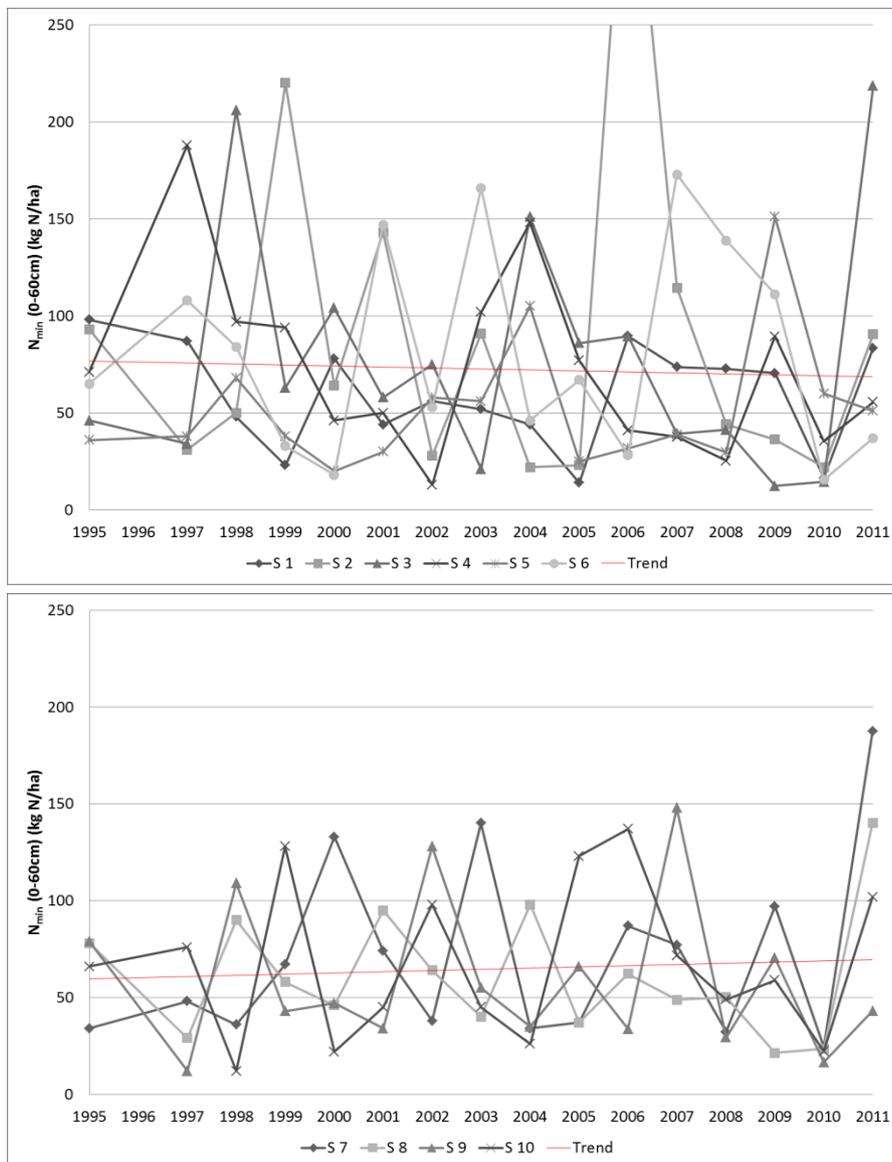


Abbildung 12: Entwicklung der N_{min}-Gehalte im Herbst in der viehhaltenden (S1 – S6) und der viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10)

Die Gehalte an Frühjahrs-N_{min} weisen in beiden Fruchtfolgen und auf allen Schlägen eine verhältnismäßig geringe Schwankungsbreite zwischen ca. 20 kg N/ha und 100 kg N/ha auf (Abb. 11). Nur ausnahmsweise wurden auch Gehalte bis 150 kg N/ha erreicht, einmalig auch bis 200 kg N/ha nach Winterweizen als Vorfrucht und Klee als Vorvorfrucht. Im Trend blieben die N_{min}-Frühjahrsgehalte in der viehhaltenden Fruchtfolge bei etwa 50 kg N/ha über den gesamten Versuchszeitraum nahezu konstant, während in den viehlosen Varianten mit der Zeit eine leichte aber stetige Abnahme der Gehalte von anfangs 80 kg bis auf 40 kg N/ha zu verzeichnen war.

Im Gegensatz zu den Frühjahrswerten zeigen die Herbstmessungen erhebliche Schwankungen der N_{min}-Werte, sowohl innerhalb eines Jahres zwischen den Schlägen als auch zwischen den Jahren auf dem gleichen Schlag (Abb. 12). Beim Vergleich der beiden Fruchtfolgen fällt die wesentlich größere Schwankungsbreite der Messwerte in der viehhaltenden Fruchtfolge auf. Im Extremfall wurden hier sehr hohe Herbst-N_{min}-Gehalte im Bereich von 200 – 300 kg N/ha nach Klee grasumbruch gemessen. Im Durchschnitt über alle Ackerschläge blieben die Herbst-N_{min}-Werte aber in beiden Fruchtfolgevarianten zwischen 60 kg N und 80 kg N/ha weitestgehend konstant.

Vergleicht man die absoluten Werte der Herbst- und der Frühjahrmessungen im zeitlichen Verlauf, dann wird deutlich, dass offenbar auf allen Parzellen über die Wintermonate immer wieder gewisse Mengen an Stickstoff in tiefere Bodenschichten verlagert wurden. Die Höhe der Abnahme wird wesentlich von der Höhe der Herbst- N_{\min} -Gehalte bestimmt ($r = 0,80^{***}$), d. h. je höher die Herbst-Werte liegen, desto höher sind auch die Stickstoffverluste über den Winter. Keine Verluste treten im Mittel über alle Parzellen und Jahre erst bei Herbst- N_{\min} -Gehalten <50 kg N/ha auf. Zwischen den absoluten Werten der Herbst- und Frühjahrmessungen besteht daher nur ein äußerst geringer Zusammenhang ($r = 0,28^{n.s.}$).

Umgekehrt können Vergleiche der N_{\min} -Gehalte im Frühjahr und Herbst des gleichen Jahres Hinweise auf den Beitrag der N_{\min} -Vorräte zur Stickstoffernährung der Kulturen geben, wobei aufgrund der N-Aufnahme der Pflanzen eine Abnahme der Gehalte über die Sommermonate zu erwarten wäre. Bei intensivem Leguminosenanbau ist dies jedoch nicht der Fall, da sich bestimmte Teile des symbiotisch gebundenen Stickstoffs meistens bereits nach dem Umbruch bis zum Herbst in der mineralischen N-Fraktion des Bodens wiederfinden und diesen Vorrat erhöhen.

In Abbildung 13 bis Abbildung 15 sind die N_{\min} -Gehalte des Bodens im durchschnittlichen Verlauf eines Fruchtfolgedurchgangs dargestellt worden. Aus der viehhaltenden Fruchtfolgevariante konnten hierfür neun komplette Fruchtfolgen ausgewertet werden, aus der viehlosen Fruchtfolge nur drei. Der zweijährige Leguminosenanbau (Klee gras) in der Aufbauphase bewirkte in beiden Fruchtfolgen zunächst eine Stickstoffanreicherung auf gut 110 kg N/ha. Dieser Stickstoff kam im Wesentlichen dem unmittelbar folgenden Winterweizen zu Gute.

Unterstützt durch regelmäßige Güllegaben zu Winterweizen und Stallmistdüngung zu Kartoffeln konnte das N_{\min} -Niveau in der viehhaltenden Fruchtfolge bis zum 4. Fruchtfolglied, der Kartoffel, annähernd konstant gehalten werden. Erst nach dem 5. und 6. Fruchtfolglied war ein Absinken der N_{\min} -Werte auf das Ausgangsniveau feststellbar. Ohne den Einsatz organischer Wirtschaftsdünger fiel das N_{\min} -Niveau hingegen schon nach dem 3. und 4. Fruchtfolglied langsam ab. Die dann folgende Ackerbohne verursachte ein zweites Maximum in den N_{\min} -Gehalten, das dem zuletzt folgenden Winterweizen bzw. dem Winterroggen zu Gute kam (Abb. 13 bis Abb. 15).

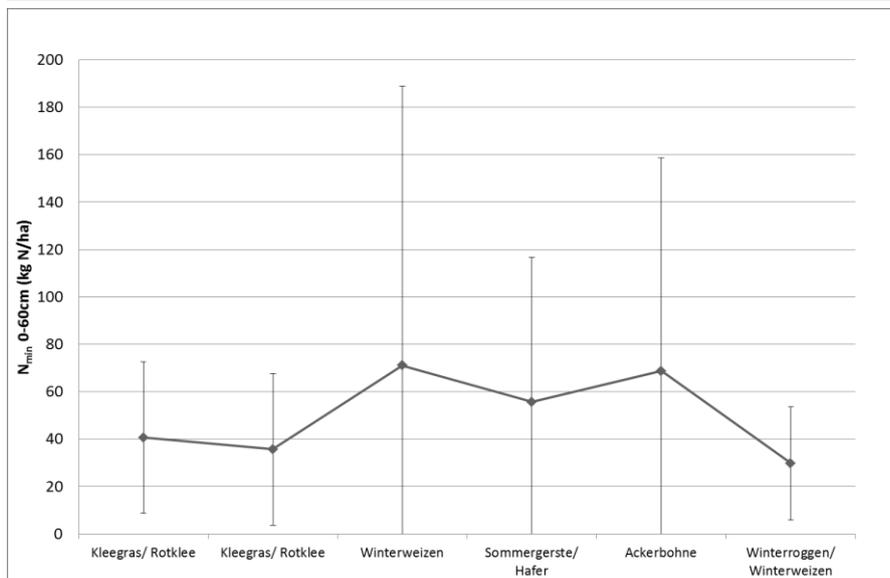
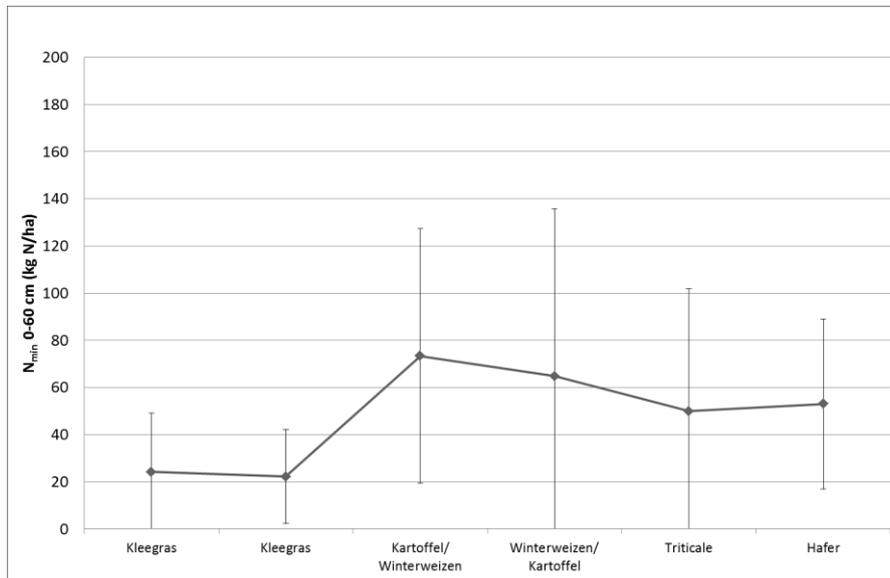


Abbildung 13: Entwicklung der Frühjahrs- N_{\min} -Gehalte im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei viehhaltender (oben) und viehloser (unten) Bewirtschaftung (Fehlerbalken = Standardabweichung von $n = 7$ viehhaltenden bzw. $n = 3$ viehlosen Fruchtfolgedurchgänge)

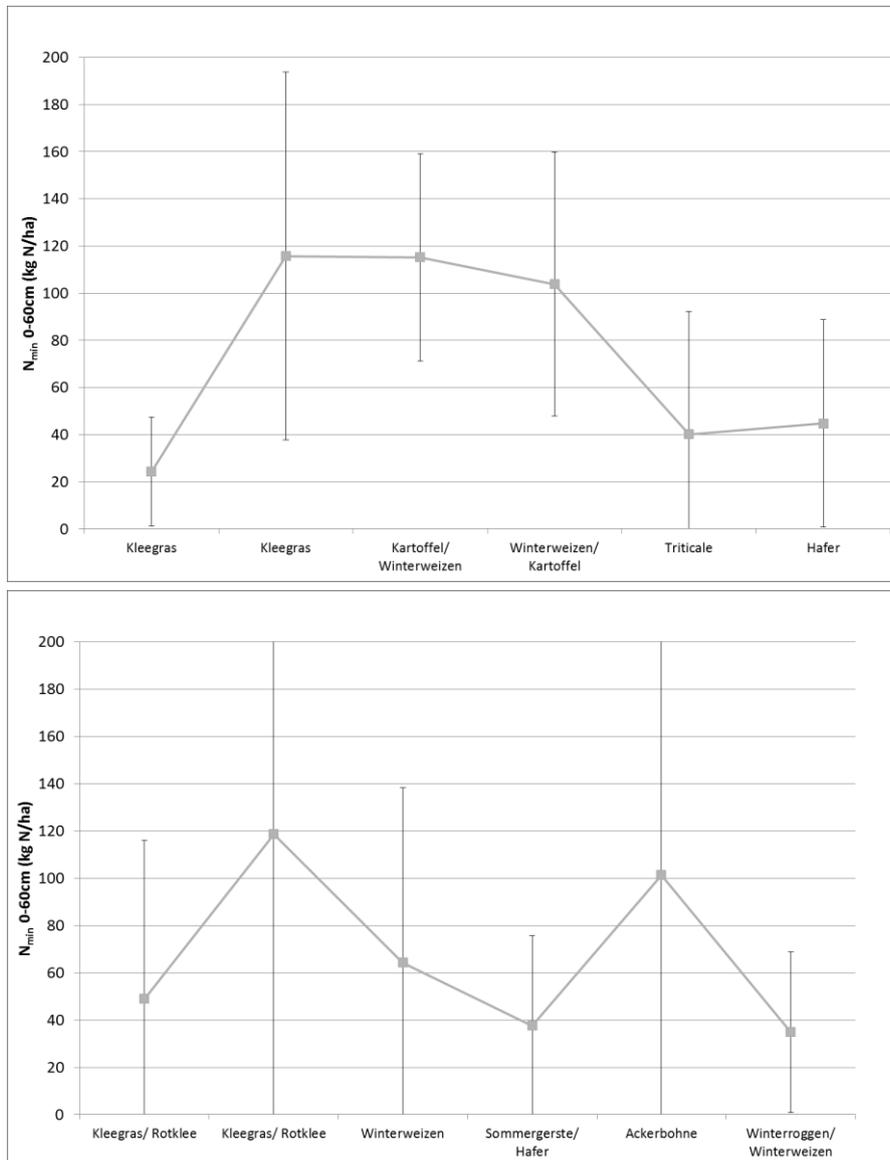


Abbildung 14: Entwicklung der Herbst- N_{min} -Gehalte im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei vielderender (oben) und vieldloser (unten) Bewirtschaftung (Fehlerbalken = Standardabweichung von $n = 7$ vielderenden bzw. $n = 3$ vieldlosen Fruchtfolgen)

Aus den zeitlichen Verläufen der Nährstoffverfügbarkeit am Beispiel der N_{min} -Gehalte lassen sich wertvolle Hinweise zur Gestaltung der Fruchtfolgen ableiten. So wurden aus den Ergebnissen einiger ökologischer Dauerversuche und Dauertestflächen, zu denen auch das Rodaer Ökofeld gehört, drei Phasen herauskristallisiert, die für ökologische Fruchtfolgen typisch sind (KOLBE, 2006). Erkenntnisse aus diesen Auswertungen haben dazu beigetragen, wertvolle Beratungsunterlagen zur Einschätzung der Vorfrucht-Nachfruchtwirkungen und zur optimalen Gestaltung der Fruchtfolgen unter ökologischen Anbaubedingungen aufzustellen (KOLBE, 2008) (Abb. 15).

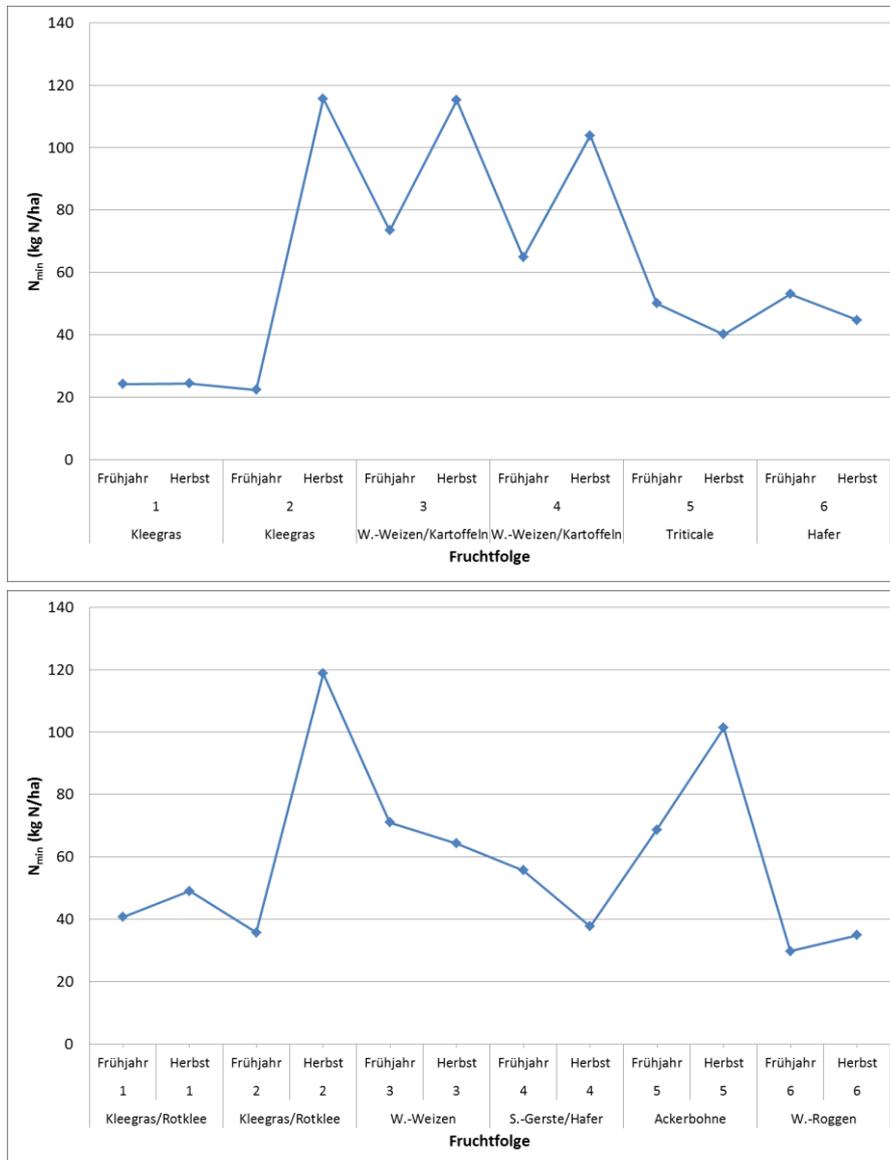


Abbildung 15: Zeitlicher N_{min} -Verlauf auf der viehreichen (oben) und der viehlosen Fruchtfolge (unten)

Die N_{min} - und S_{min} -Mengen im Tiefenprofil unter den viehlosen und viehreichen Fruchtfolgen im Jahr 2000 und 2007 zeigen die nachfolgenden Abbildungen 16 und 17. Die N_{min} -Gehalte bis 90 cm Tiefe haben sich nach diesen Untersuchungen mit der Zeit etwas erhöht (Abb. 16). Diese Unterschiede sollen nicht überbewertet werden, da die N_{min} -Mengen in diesen geringen Tiefen deutlichen situationsbedingten Schwankungen unterworfen sind.

Unterhalb von 90 cm Bodentiefe liegen die Gehalte in beiden Fruchtfolgen und Untersuchungsterminen weitgehend auf einem Niveau, so dass hieraus keine deutliche zeitliche Veränderung der Werte abgelesen werden kann. Insgesamt gesehen weisen die viehlosen Parzellen bis unter 2,5 m Bodentiefe etwas höhere N_{min} -Werte auf als die Flächen mit Viehhaltung (Abb. 16). Diese Verläufe erfolgen weitgehend parallel zu den ermittelten N-Salden im Durchschnitt der viehreichen Flächen 4 – 6 und der viehlosen Ackerschläge 7 – 10 (siehe Kap. 8).

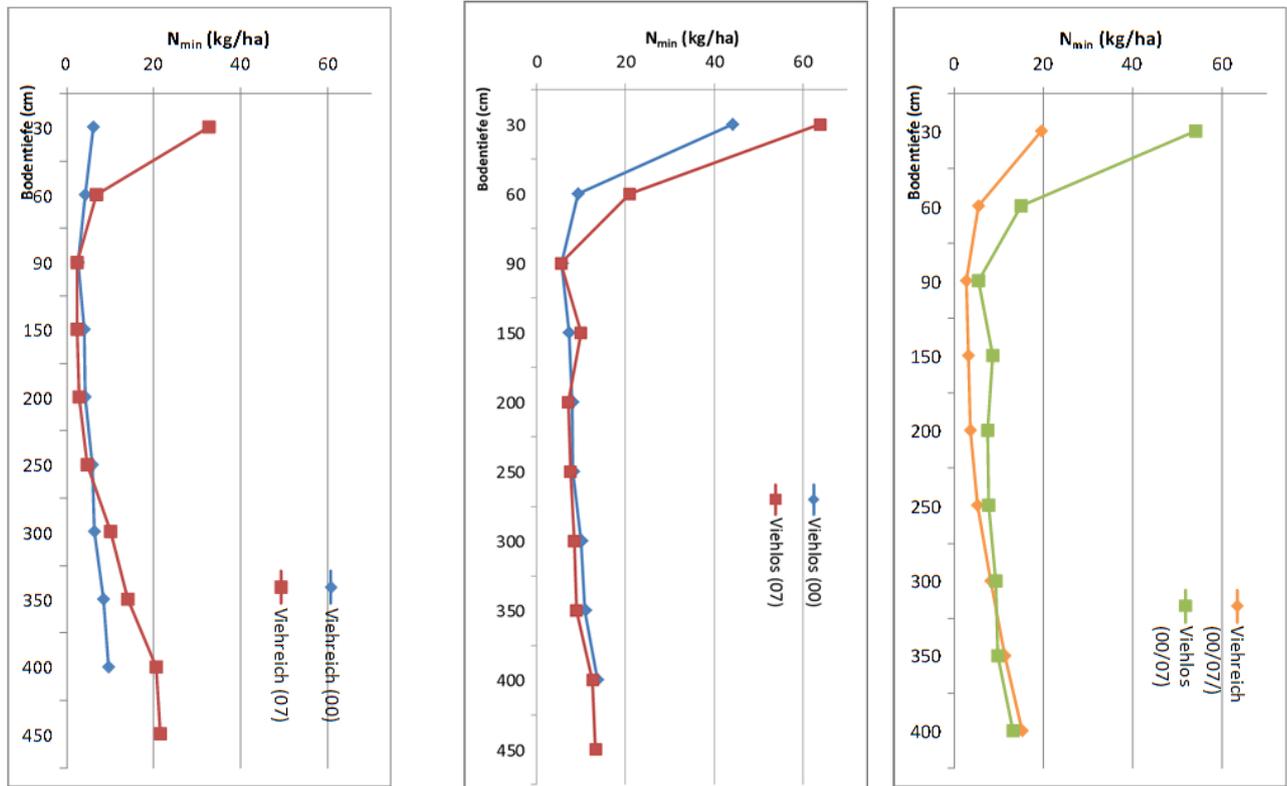


Abbildung 16: Verlauf der N_{min} -Mengen im Tiefenprofil von den viehlosen und viehreichen Flächen im Jahr 2000 und 2007

Die S_{min} -Gehalte im Tiefenprofil zeigt Abbildung 17. Es sind keine deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Fruchtfolgen zu erkennen. In der Tendenz nehmen die Mengen im Untergrund mit der Zeit etwas ab. Es ist aber auch deutlich zu erkennen, dass unterhalb einer Tiefe von 1,5 m immer noch bedeutende Mengen an Schwefel deponiert sind, die wahrscheinlich noch aus der hohen atmosphärischen Belastung vorausgehender Jahrzehnte stammen. Unter diesen Bedingungen ist mit Mangelzuständen in den Böden in nächster Zeit noch nicht zu rechnen, da ein erheblicher Umfang an Nachlieferung von den Pflanzen abgeschöpft werden kann.

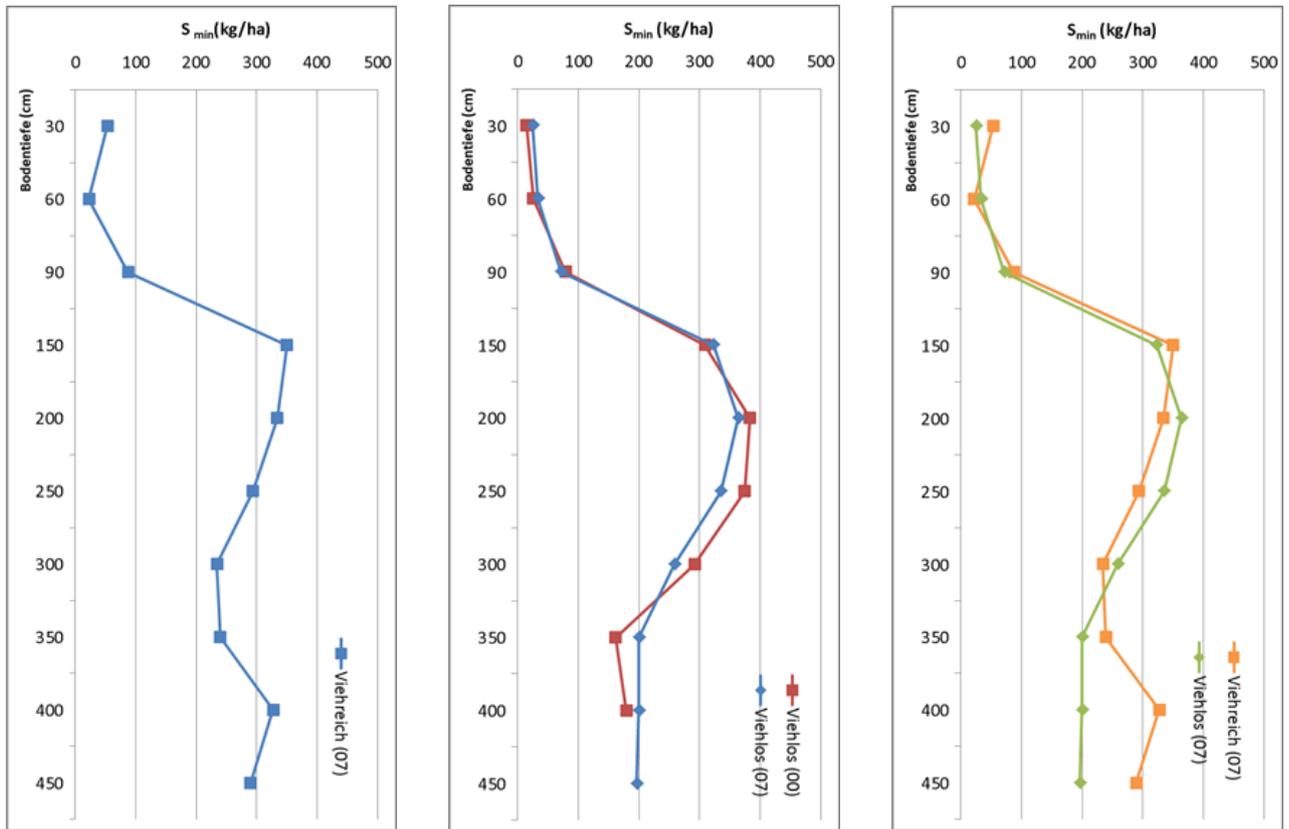


Abbildung 17: Einfluss der viehlosen und viehreichen Fruchtfolgen auf den Verlauf der S_{min} -Gehalte im Tiefenprofil

6.3 Phosphor

Die Versorgung der Ackerschläge mit den löslichen Grundnährstoffen Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) wurde jährlich durch Probenahme im Herbst und Laborbestimmung verfolgt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der Bodengehalte dieser Nährstoffe im Verlauf der Zeit im Oberboden und im Tiefenprofil, jeweils für die viehhaltende und die viehlose Fruchtfolge. Die Einzelwerte befinden sich in Anlage 4 im Anhang.

Die Phosphatgehalte des Oberbodens variierten zu Beginn der Untersuchung erheblich (Abb. 18). Die geringsten DL-löslichen Gehalte wurden in den Jahren 1995 bis 1997 auf den Schlägen 1 und 2 mit rund 1 mg/100 g Boden festgestellt, was der Gehaltsklasse A nach VDLUFA-Empfehlung entsprach. Demgegenüber wurde auf Schlag 10 im gleichen Jahr ein Gehalt von 7,2 mg/100 g gemessen (Gehaltsklasse C).

Infolge der differenzierten P-Düngung (vergl. Tab. 6 – 8) hatten sich die P-Gehalte der Einzelschläge über die Zeit angeglichen und bewegten sich schließlich ab dem Jahr 2006 im mittleren Bereich der Gehaltsklasse B, entsprechend der allgemeinen Düngungsempfehlung für die ökologische Landwirtschaft. Die Gehaltsklasse B ist aufgrund des geringeren Ertragsniveaus in der ökologischen Landwirtschaft für eine nachhaltige P-Versorgung der Kulturen ausreichend (KOLBE, 2010a). In der Tendenz war für die Schläge der viehhaltenden Fruchtfolge ein leichter Anstieg der Gehalte um ca. 1 mg P/100 g Boden bis zum Erreichen des Zielgehaltes und für die Schläge der viehlosen Variante eine deutliche Abnahme der P-Gehalte um ca. 3,6 mg/100 g zu erkennen (Abb. 18).

Die Schläge 1 – 3 wiesen am Anfang der Untersuchungen mit unter 2 mg P/100 g Boden sehr niedrige P-Gehalte der Klasse A auf. Auf Schlag 1, der trotz des äußerst geringen Versorgungszustandes über die gesamte Versuchszeit keine mineralische P-Düngung erhielt (vergl. Kap. 4.2), verharrte der P-Gehalt des Bodens über die gesamte Versuchszeit im unteren Bereich der Versorgungsstufe A zwischen 1 mg P/100 g und 2 mg P/100 g Boden. Schlag 3 erhielt im Laufe der Zeit entsprechend den Düngeempfehlungen auch eine deutliche mineralische P-Düngung, so dass sich die Gehalte bis zum Ende der Untersuchungen erkennbar in Richtung der Klasse B bewegt haben.

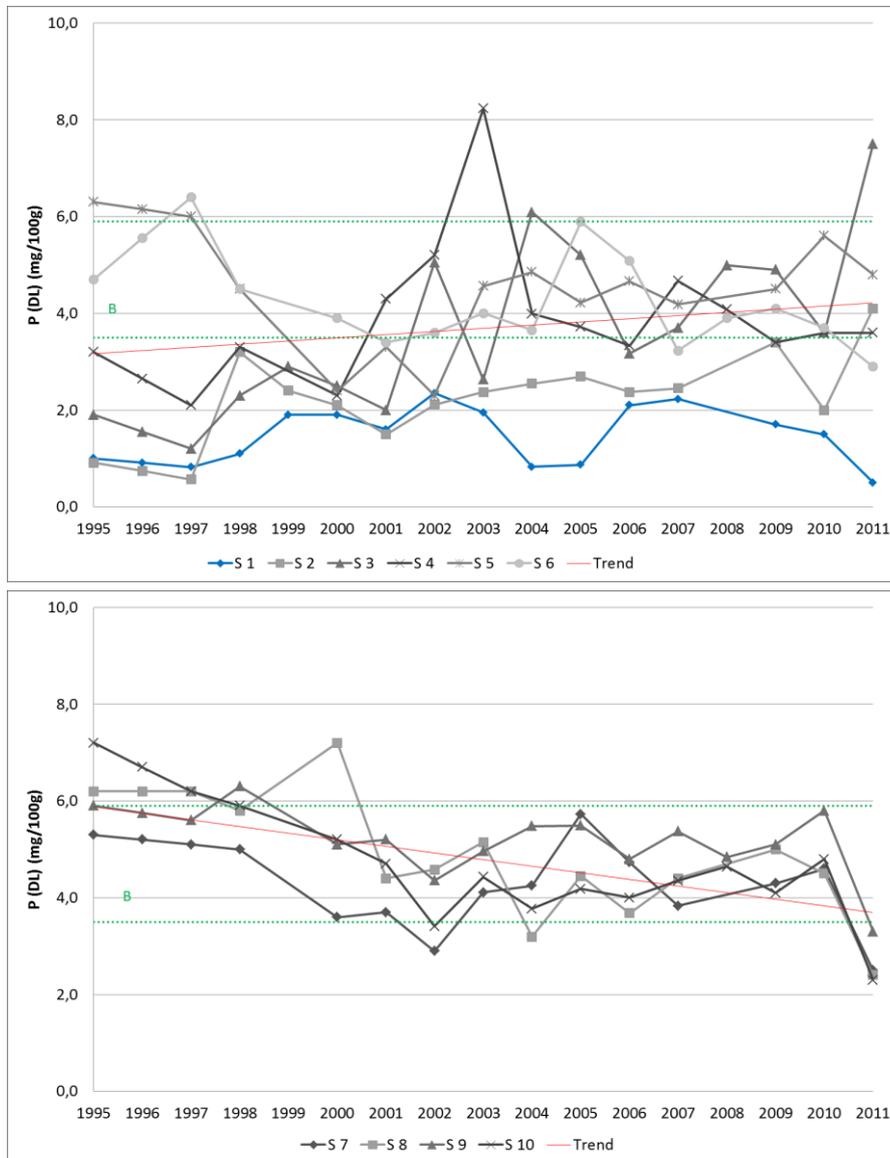


Abbildung 18: Entwicklung der löslichen Phosphatgehalte des Bodens in der viehhaltenden (S1 – S6) und viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10)

Aus den Tiefenprofilen sind die DL- und die CAL-löslichen P-Gehalte bis auf 4,5 m Bodentiefe ermittelt worden (Abb. 19). Das DL-lösliche Phosphat nimmt von ausgangs zwischen 3 mg und 4 mg P/100g Boden mit der Bodentiefe bis auf unter 1 mg P/100 g Boden in 4,5 m Tiefe ab. Eine deutliche Verringerung ist bis auf ca. 0,9 m Bodentiefe zu verzeichnen.

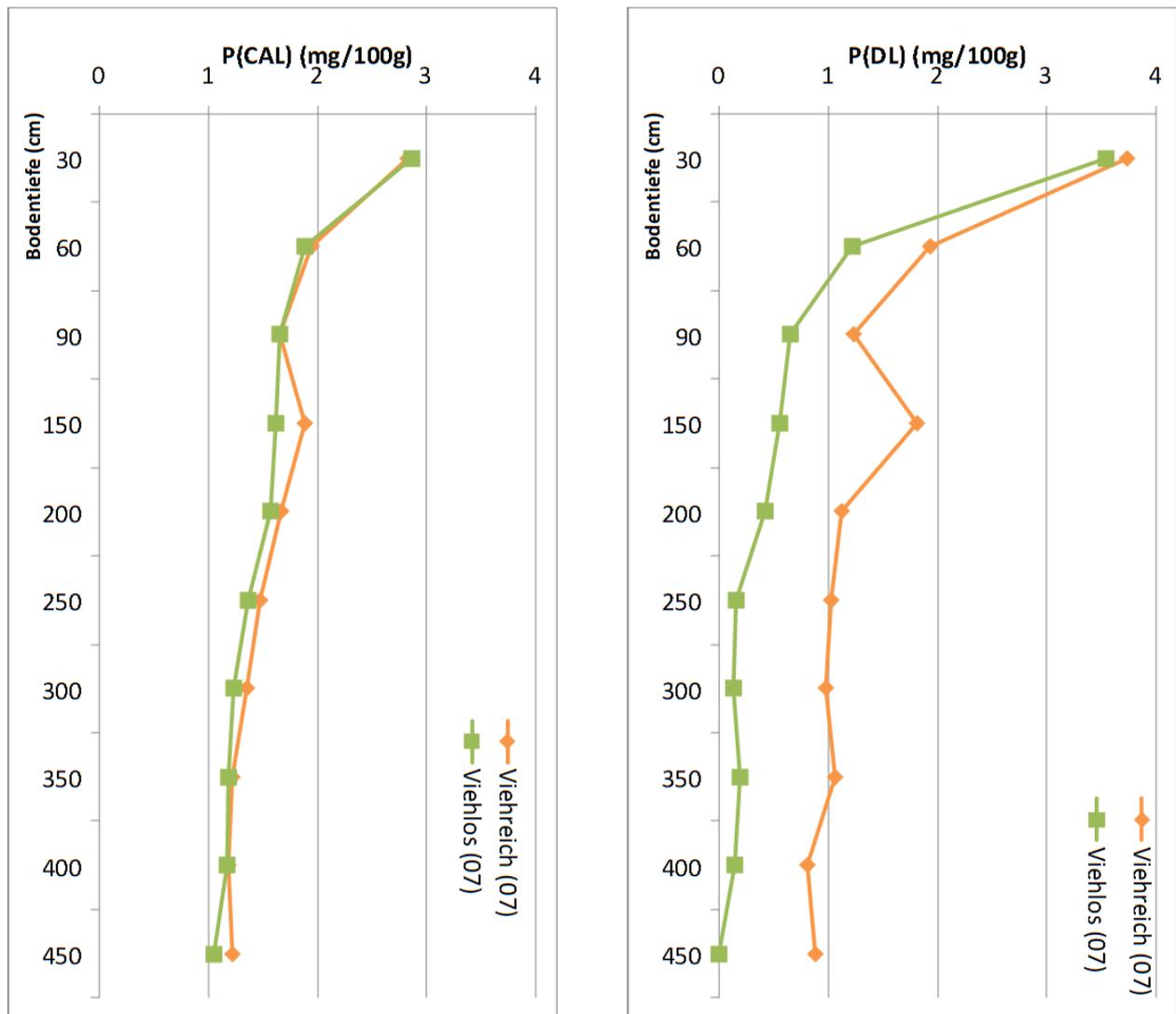


Abbildung 19: DL- (links) und CAL-lösliches (rechts) Phosphat im Tiefenprofil zwischen viehreicher und viehloser Fruchtfolge im Jahr 2007

Offensichtlich weisen die viehreichen Flächen etwas höhere Werte auf als die Flächen unter viehloser Bewirtschaftung. Während die P-Werte auf den viehreichen Flächen im Untergrund bis auf ca. 1 mg P/100 g Boden abfallen, beträgt die Abnahme auf den viehlosen Flächen bis auf nahezu 0 mg P/100 g Boden.

Auch die CAL-löslichen P-Gehalte nehmen auf den Flächen im Tiefenverlauf ab (Abb. 19). Von Werten im Oberboden von nicht ganz 3 mg P/100 g Boden sinken die Gehalte auf etwas über 1 mg/100 g unterhalb von 3,5 m Tiefe ab. Es bestehen im CAL-löslichen Boden-P keine Unterschiede zwischen den beiden Fruchtfolgen im gesamten Bodenprofil. Eine Entwicklung der Gehalte im Zeitverlauf kann nicht abgeleitet werden, da die Tiefenbohrungen nur aus dem Jahr 2007 auf die P-Gehalte untersucht worden sind.

6.4 Kalium

Die pflanzenverfügbaren Kalium-Gehalte des Oberbodens zeigten über die gesamte Versuchszeit erhebliche Schwankungen, sowohl zwischen den einzelnen Schlägen als auch über die Zeit auf dem gleichen Schlag (Abb. 20). Im Durchschnitt lag der K-Gehalt zu Beginn der Versuchszeit in beiden Fruchtfolgevarianten bei 8 – 9 mg K/100 g Boden, gemessen mit der DL-Methode. Dies entsprach dem mittleren Bereich der Gehaltsklasse B und damit den Empfehlungen der Düngegeratung im ökologischen Landbau. Bis zum Ende des Versuches gingen die K-Gehalte des Bodens in beiden Varianten, trotz K-Düngung leicht auf gut 6 – 7 mg K/100 g Boden zurück.

Nur die K-Gehalte der Schläge 1 – 3 der viehrefruchtigen Fruchtfolge wiesen hierbei über den Untersuchungszeitraum im Vergleich zu den anderen Ackerschlägen etwas geringere Gehalte auf. Zeitweise war eine deutliche Tendenz vorhanden, dass die K-Gehalte dieser Flächen die untere Grenze der Klasse B unterschreiten (vgl. Kap. 4.2).

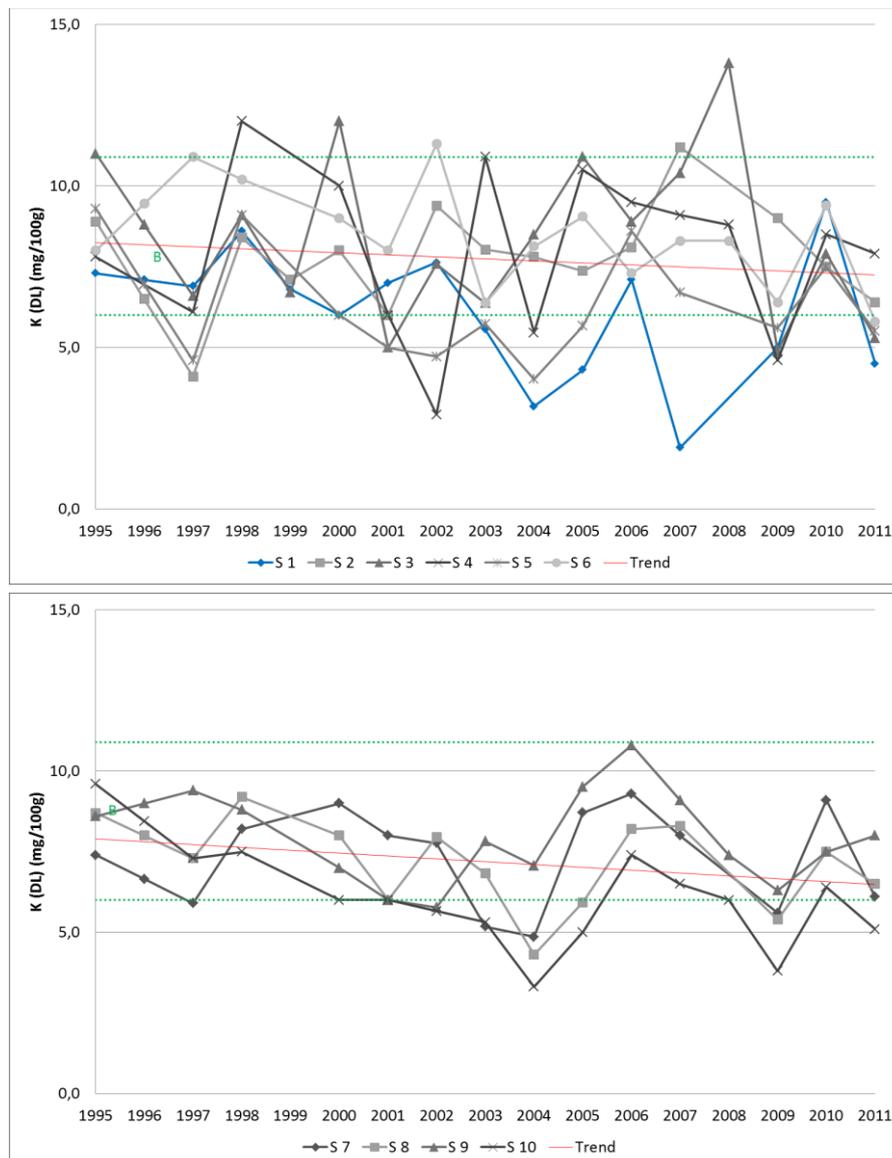


Abbildung 20: Entwicklung der löslichen Kaliumgehalte des Bodens in der viehrefruchtigen (S1 – S6) und viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10)

Im Tiefenprofil zeigten sich folgende Verläufe für das DL- und CAL-lösliche Kalium im Zeitabschnitt 2000 und 2007 (Abb. 21 u. Abb. 22). Die mit der DL-Methode extrahierten Gehalte haben im Verlauf der Bewirtschaftung in der Tendenz etwas abgenommen (Abb. 21). Die viehreiche Fruchtfolge weist besonders in tieferen Bodenschichten etwas höhere K-Werte auf als die vieharme Fruchtfolge. Die CAL-löslichen K-Gehalte zeichnen einen genau umgekehrten Trend auf (Abb. 22): Anstieg um 1 – 2 mg K/100 g Boden zwischen den Untersuchungsterminen im Jahr 2000 und 2007. Beide Fruchtfolgen weisen mit ca. 4 mg K/100 g Boden weitgehend gleich hohe K-Werte fast über das gesamte Tiefenprofil auf. Die Ergebnisse deuten auf eine reiche K-Versorgung und ein hohes Nachlieferungspotenzial aus dem Untergrund hin.

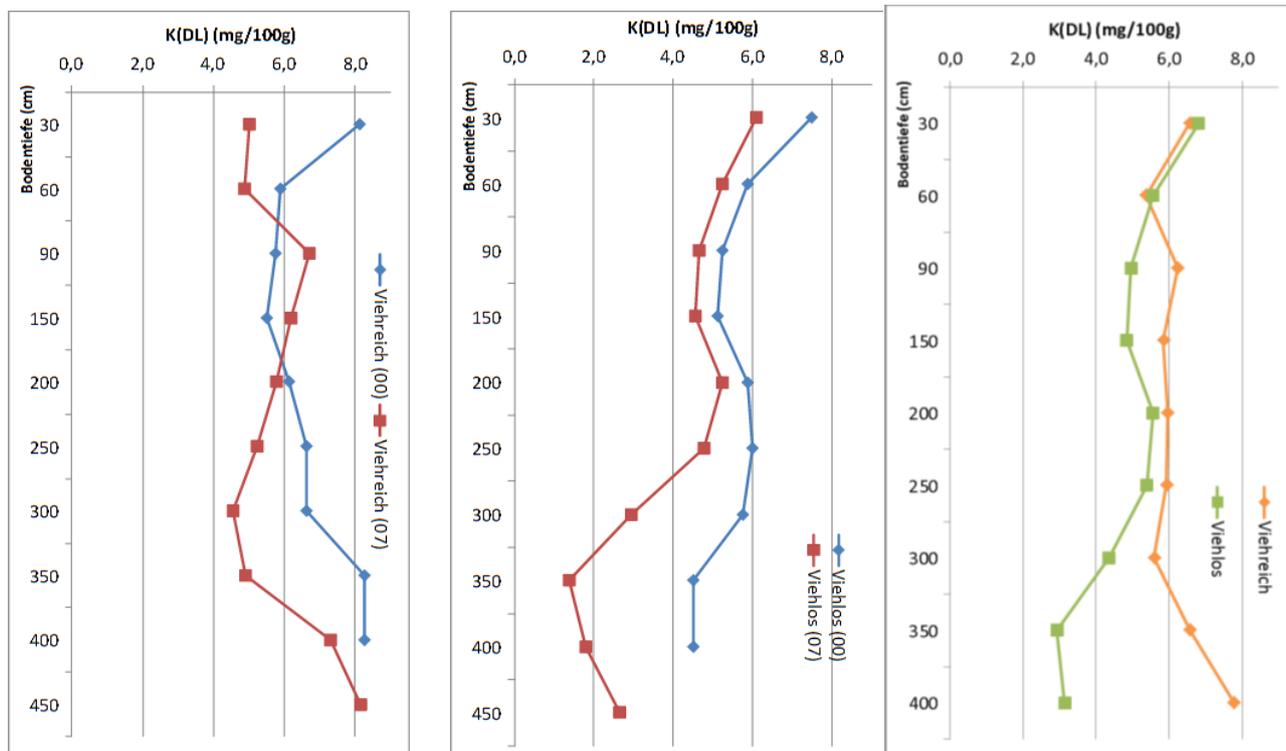


Abbildung 21: Entwicklung des DL-löslichen Kaliums im Tiefenprofil auf den viehlosen und viehreichen Flächen des Ökofeldes im Jahr 2000 und 2007

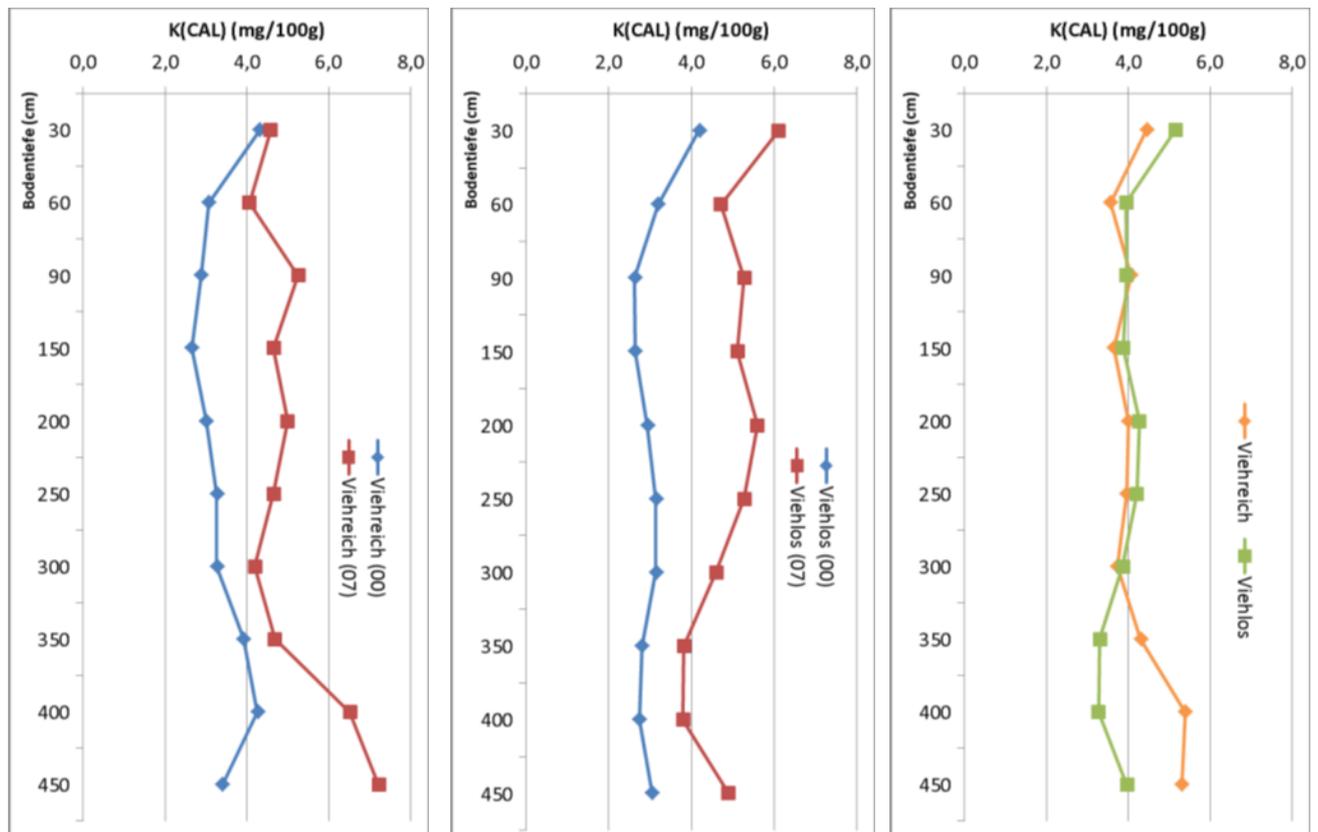


Abbildung 22: Entwicklung des CAL-löslichen Kaliums im Tiefenprofil auf den viehlosen und viehreichten Flächen des Ökofeldes im Jahr 2000 und 2007

6.5 Magnesium

Die pflanzenverfügbaren Magnesium-Gehalte des Oberbodens aller Schläge lagen zu Beginn der Untersuchungen mit rund 10 mg Mg/100 g im Übergangsbereich der VDLUFA-Versorgungsklassen B – C. Über die Zeit war auf allen Schlägen und unabhängig von der Fruchtfolge ein kontinuierlicher Anstieg der Gehalte bis auf ca. 12 mg Mg/100 g Boden zu beobachten (Abb. 23).

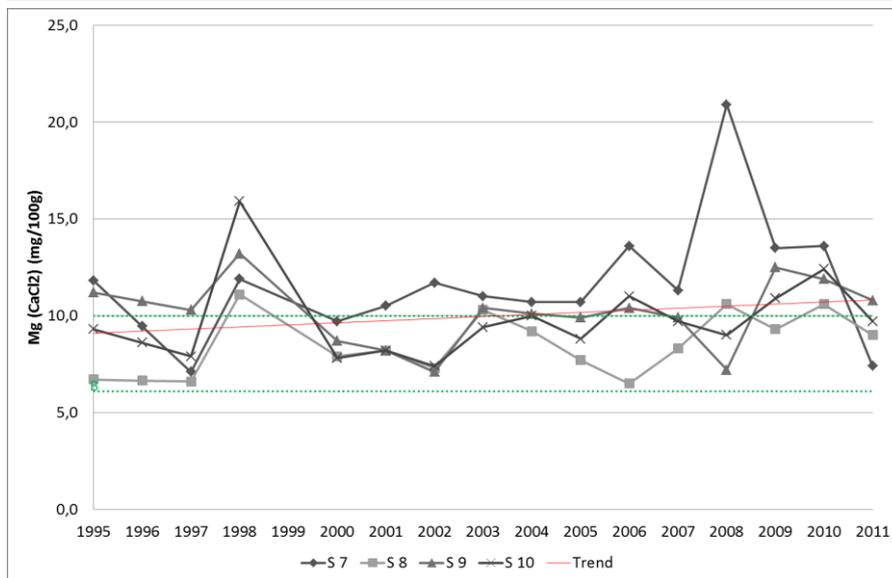
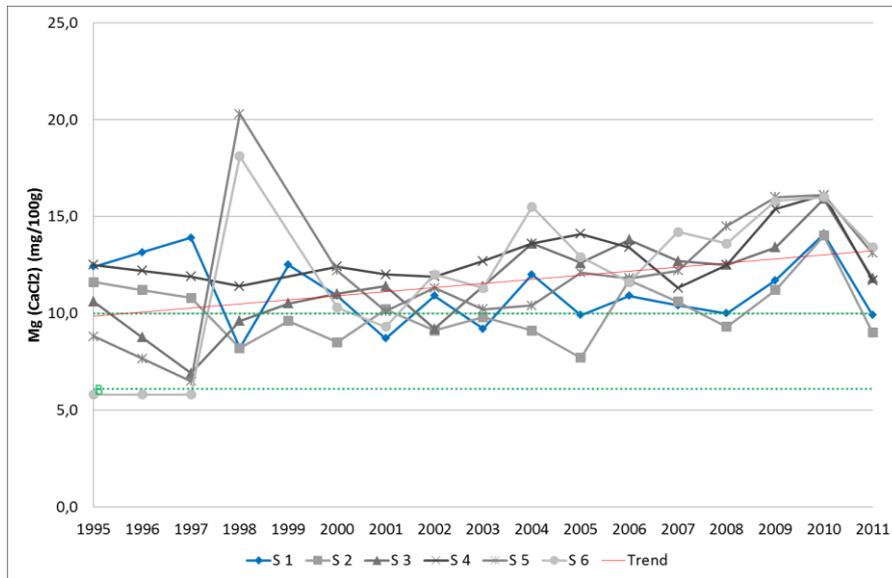


Abbildung 23: Entwicklung der löslichen Magnesiumgehalte des Bodens in der viehhaltenden (S1 – S6) und viehlosen Fruchtfolge (S7 – S10)

Die CaCl_2 -löslichen Mg-Gehalte weisen im Tiefenprofil eine deutliche Anreicherung von 10 – 14 mg im Oberboden bis auf ca. 30 mg Mg/100 g Boden in einer Tiefe von 2 m auf (Abb. 24). Der Boden ist daher als außerordentlich Mg-reich mit einem sehr hohen Nachlieferungspotenzial aus dem Unterboden zu bezeichnen. Auf den viehreichen Flächen werden tendenziell etwas höhere Mg-Werte ermittelt als auf den viehlosen Flächen. Während die viehreichen Ackerschläge mit der Zeit geringfügige Abnahmen an Mg-Gehalten aufzuweisen haben, sind die Werte nach viehloser Bewirtschaftung zwischen 0,9 m und 2,5 m Tiefe in der Tendenz etwas angestiegen.

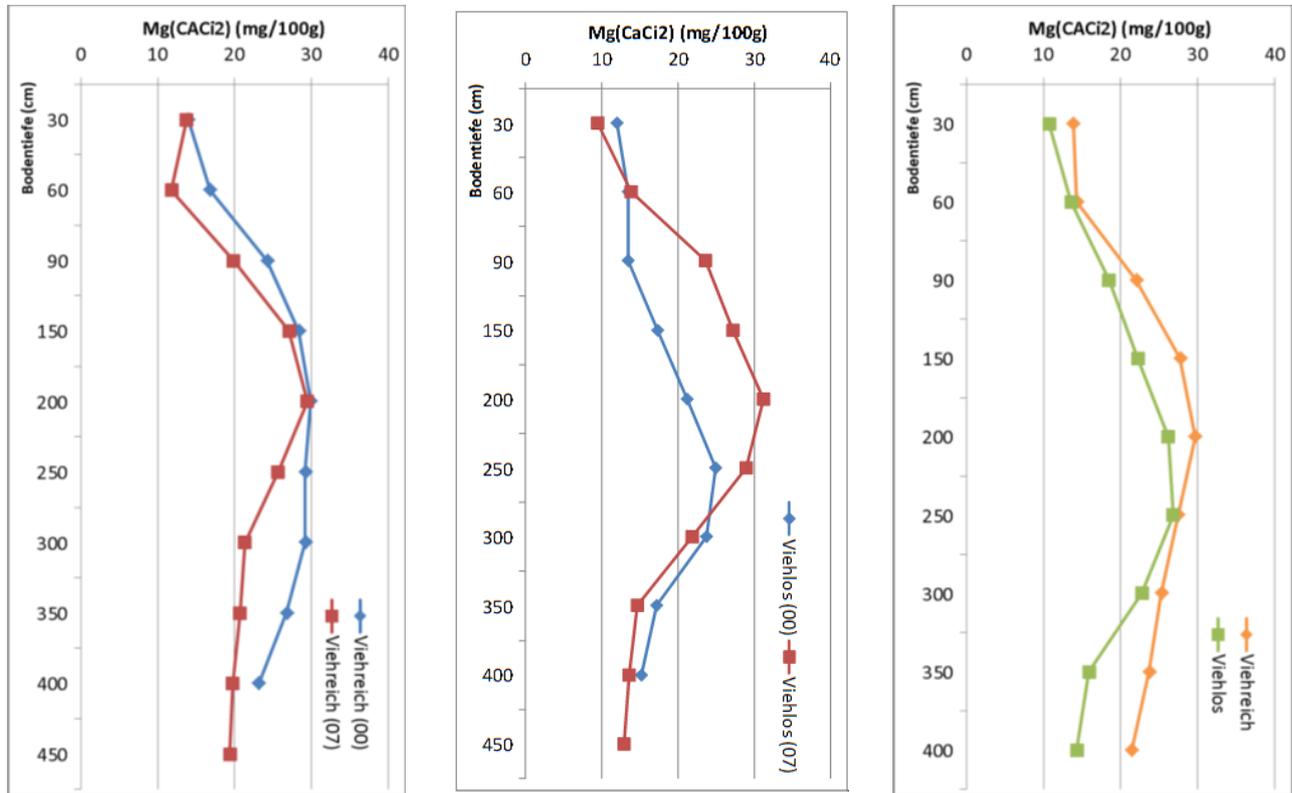


Abbildung 24: Verlauf der Mg-Gehalte im Tiefenprofil auf den viehlosen und viehreichen Flächen im Jahr 2000 und 2007

6.6 Entwicklung der pH-Werte

Der pH-Wert des Oberbodens lag auf den Schlägen der viehhaltenden Fruchtfolge zu Beginn des Versuches im Mittel bei 5,8 und auf denen der viehlosen Fruchtfolge bei 6,3. Über die Zeit veränderten sich die pH-Werte kaum. Dies ist gut zu erkennen am weitestgehend parallelen Verlauf der Linien für die einzelnen Schläge in Abb. 25. Aufgrund der ermittelten pH-Werte erfolgte keine Kalkung auf den Schlägen.

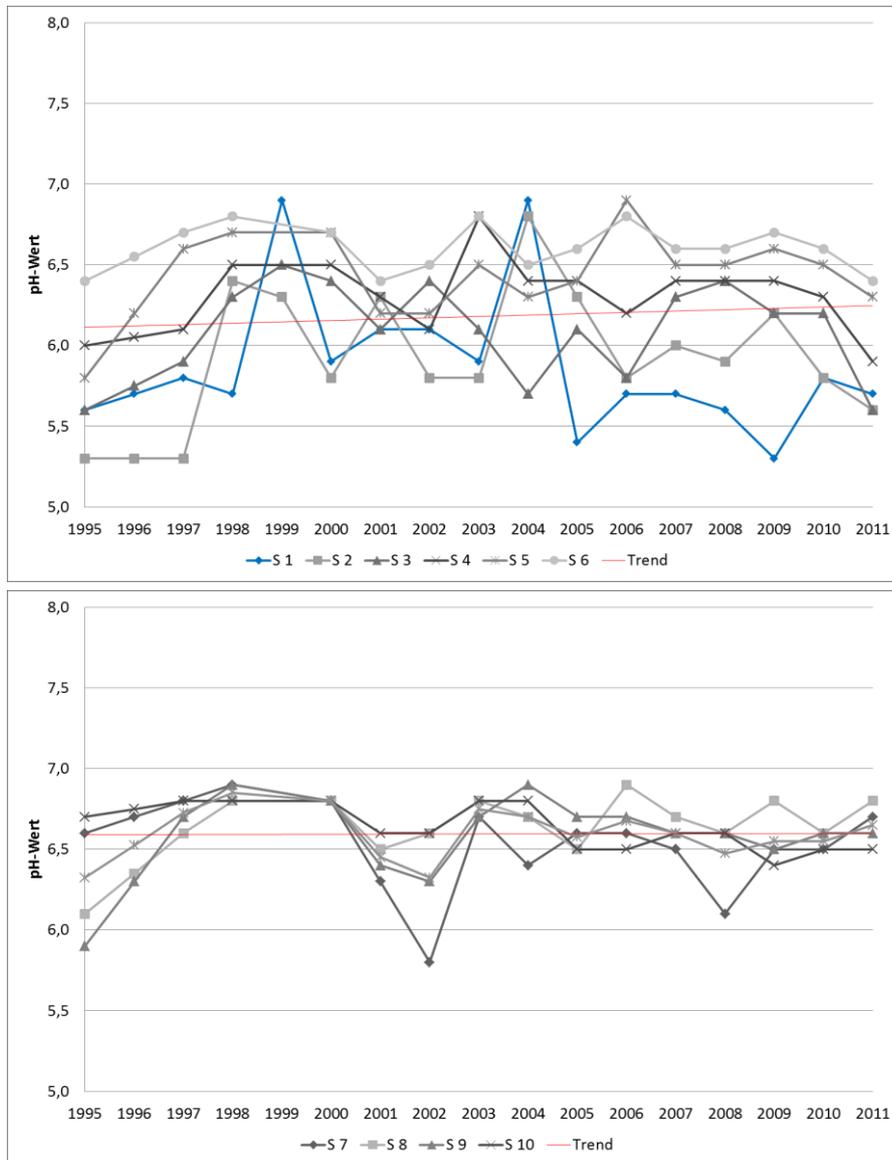


Abbildung 25: Entwicklung der pH-Werte in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge

Die pH-Werte sind auch im Tiefenprofil der beiden Fruchtfolgen untersucht worden (Abb. 26). Unter beiden Fruchtfolgen sind die pH-Werte bis in eine Tiefe von ca. 1,5 m in dem Zeitraum zwischen den Jahren 2000 und 2007 etwas angestiegen. Im darunter liegenden Tiefenbereich besteht ein umgekehrter Trend, indem die pH-Werte eher eine Tendenz zu einer Abnahme zeigten. Die viehlosen Flächen weisen im Tiefenprofil geringfügig höhere pH-Werte auf als die Flächen unter viehreicher Bewirtschaftung.

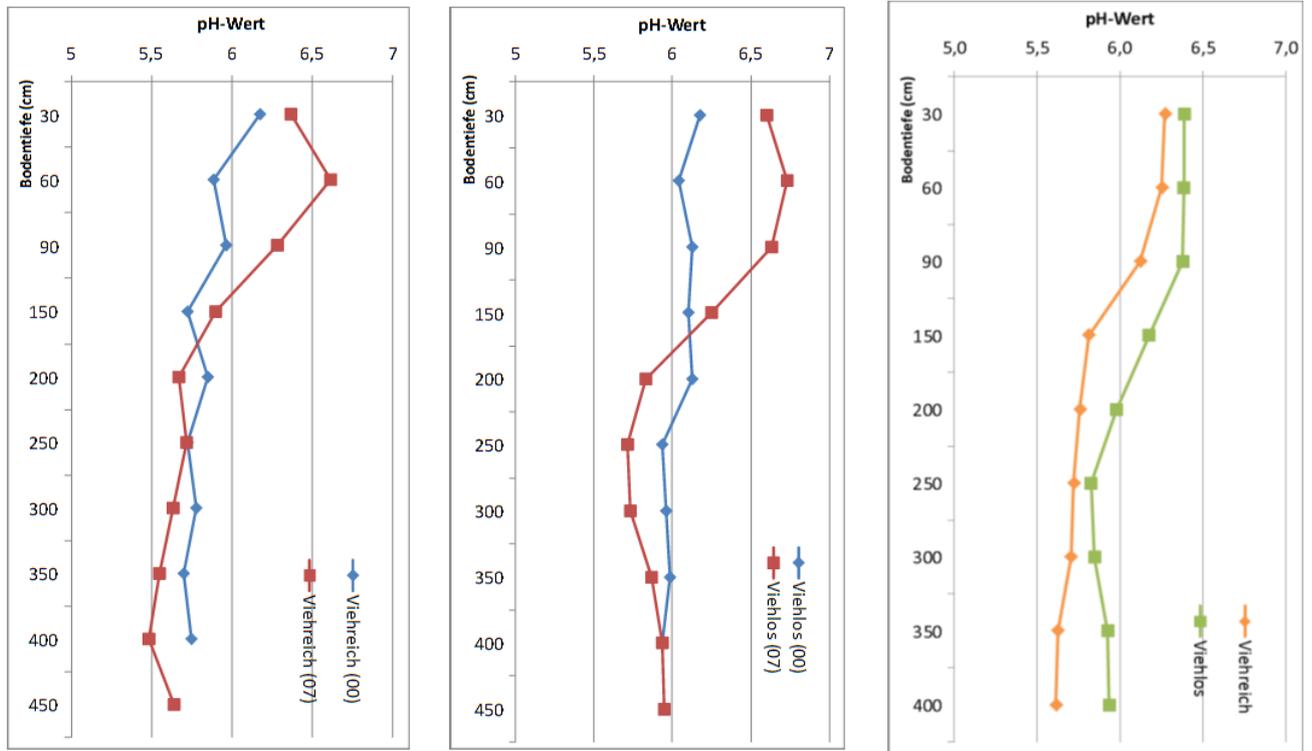


Abbildung 26: Einfluss der viehlosen und viehreichen Bewirtschaftung auf die pH-Werte im Tiefenprofil der Ökoflächen im Jahr 2000 und 2007

6.7 Kalkbedarf

Das Programm BEFU – Teil Ökologischer Landbau (kurz ÖKO-BEFU; LfULG, 2013; entspricht dem Programm BESyD, PETER, 2020) ermöglicht die Berechnung des Kalkbedarfs auf der Grundlage von Bodendaten (Bodenart, Humusgehalt, aktueller pH-Wert). Als Ziel-pH-Wert wird die VDLUFA-Gehaltsklasse C zugrunde gelegt. Mit Hilfe des Programms wurde nachträglich für alle Schläge und jedes Versuchsjahr ein Kalkbedarf berechnet, der zwischen 190 dt CaO/ha für Schlag 1 und 70 dt CaO/ha für die Schläge 5 – 10 lag, jeweils bezogen auf die Fruchtfolge.

Tatsächlich bestand jedoch kein Kalkbedarf, denn ohne Kalkung blieben sowohl die pH-Werte als auch die Erträge der einzelnen Kulturen auf allen Schlägen nahezu konstant. Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, dass keine gute Übereinstimmung zwischen der Düngeempfehlung mit dem Programm BEFU und der Entwicklung der pH-Werte ohne Kalkung auf den Flächen des Ökofeldes besteht.

7 Ertragsentwicklung und Qualität der Ernteprodukte

Nachfolgend werden die Entwicklung der Erträge und die Qualität der Ernteprodukte im Verlauf der Bewirtschaftungszeit für die wichtigsten Fruchtarten näher beschrieben. In Tabelle 11 sind die Erträge der Fruchtarten der Untersuchungsflächen für die Hauptprodukte zusammengestellt worden.

Tabelle 11: Erfasste Erträge an Hauptprodukten (in dt/ha Frischmasse) der angebauten Fruchtarten über den gesamten Bewirtschaftungszeitraum auf den Flächen der viehrefreien und viehlosen Fruchtfolge

Jahr	Fruchtfolge I: Viehbesatz ca. 1GV/ha						Fruchtfolge II: Viehlose Bewirtschaftung			
	Schlag						Schlag			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	SW 45,0	Kart 253
1996	Kart 228	H 48,1	SMais 140	WR 51,4	KGr 300	WW 51,9	ABo 34,9	Dink 60	SB 33,1	SG 57,0
1997	SW 58,3	WW 66,3	H 45,9	-	WW 52,5	Kart 237	-	WR 33,2	SG 50,4	ABo 33,2
1998	WG 54,5	KGr 435	KGr 510	WW 44,3	Kart 286	WR 53,0	-	SG 26,4	ABo 23,6	TC 62,9
1999	KGr 343	KGr 262	WW 58,8	Kart 234	TC 56,9	WG 40,5	KGr 339	WickR 270	WR 49,0	KGr 172
2000	KGr 398	WW 49,3	Kart 249	TC 57,7	SG 27,0	KGr 560	KGr 419	KleeK 4,3	SMais 381	WW 48,3
2001	WW 46,2	Kart 209	TC 49,6	WG 45,7	KGr 643	KGr 643	WW 64,2	Klee 430	KleeK 3,7	SG 30,0
2002	Kart 179	TC 52,4	WG 34,8	KGr 643	KGr 610	WW 44,6	SG 34,9	WW 50,8	Klee 345	ABo 19,0
2003	TC 30,2	WG 24,1	KGr 182	KGr 417	WW 37,6	Kart 184	ABo 10,0	SG 41,2	WW 48,4	WR 35,6
2004	H 44,4	KGr 469	KGr 662	WW 74,0	Kart 174	TC 44,8	WR 60,0	ABo 43,8	H 55,3	Klee 579
2005	KGr 217	KGr 662	Kart 289	WR 59,1	TC 57,7	H 59,0	-	WW 59,7	ABo 48,2	-
2006	KGr 546	Kart 226	WW 51,5	TC 49,9	H 33,6	KGr 573	WW 43,8	-	WR 56,6	WW 66,1
2007	Kart 271	WW 44,4	TC 44,8	H 35,4	KGr 427	KGr 371	ABo 20,5	WR 27,8	-	SW 20,7
2008	WW 62,3	TC 41,0	H 21,7	-	KGr 724	Kart 314	WR 55,6	H 20,2	WW 38,1	ABo 9,7
2009	TC 64,0	H 39,1	KGr 468	KGr 536	Kart 145	WW 62,2	Klee 257	WR 46,4	ABo 29,3	KleeK 2,4
2010	H 36,6	-	-	Kart 364	WW 56,6	TC 63,1	WW 55,5	-	WR 52,6	-
2011	KGr 269	KGr 537	Kart 197	WW 55,9	WR 53,7	H 66,8	ABo 29,2	Klee 200	H 28,7	WW 45,9

Legende:

Leguminosen

Wintergetreide

Sommergetreide

Kartoffel

Sonstige

Kart: Kartoffel; SW: Sommerweizen; WG: Wintergerste; KGr: Klee gras; WW: Winterweizen; TC: Triticale; H: Hafer; SMais: Silomais; WR: Winterroggen; SG: Sommergerste; ABo: Ackerbohne; Dink: Dinkel; WickR: Wickroggen; KleeK: Rotkleesamen; SB: Sonnenblume; -: keine Erfassung

7.1 Winterweizen

Für Winterweizen liegen aus der viehhaltenden Fruchtfolge 16 Ernten und aus der viehlosen Fruchtfolge 10 Ernten vor (Tab. 12, Abb. 27). Im Durchschnitt wurde mit Viehhaltung ein Kornertag von 53,6 dt/ha und ohne Viehbesatz ein Kornertag von 52,1 dt/ha erzielt. Zwischen beiden Fruchtfolgevarianten bestanden somit kaum Unterschiede. Der höchste Ertrag lag bei 74 dt/ha (im Jahr 2004, Schlag 4), der geringste bei 37,6 dt/ha (2003, Schlag 5).

Tabelle 12: Mittlere Korn- und Stroherträge sowie Qualitätskomponenten von Winterweizen

		Fruchtfolge I (viehhaltend)		Fruchtfolge II (viehlos)	
Kornertag	(dt/ha)	53,6 ± 9,5	n = 16	52,1 ± 9,1	n = 10
Strohertrag	(dt/ha)	44,6 ± 13,2	n = 16	52,0 ± 20,5	n = 10
Tausendkornmasse (TKM)	(g)	40,7 ± 5,9	n = 15	40,8 ± 4,7	n = 8
Rohproteingehalt	(%)	10,8 ± 1,3	n = 6	9,7 ± 1,5	n = 10
Sedimentationswert	(ml)	39,4 ± 12,2	n = 16	34,7 ± 7,5	n = 8
Fallzahl	(s)	345 ± 47,7	n = 16	309 ± 68,6	n = 8
N	(% TM)	1,90 ± 0,23	n = 16	1,70 ± 0,26	n = 10
Korn/Stroh-Verhältnis	(Korn = 1)	0,83	-	1,00	-

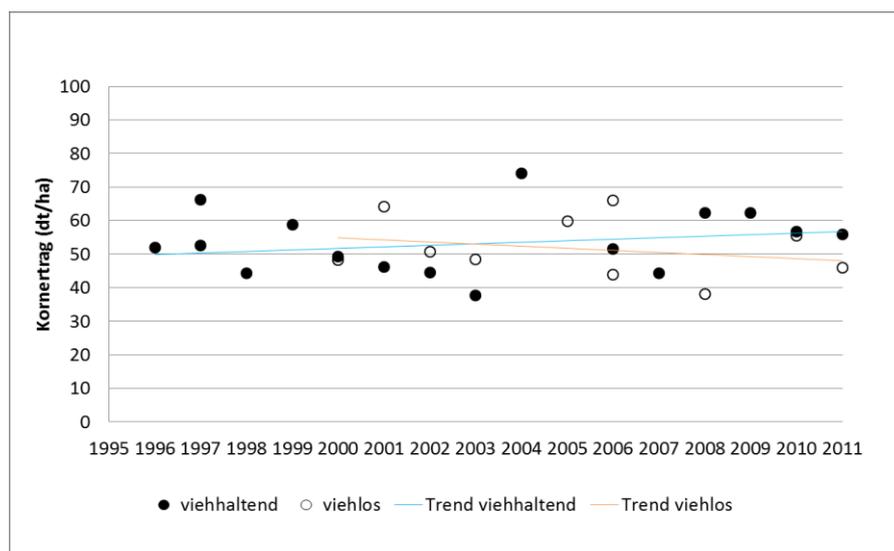


Abbildung 27: Ertragsentwicklung bei Winterweizen in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge

Eine Veränderung des Ertragsniveaus über die Zeit war in den Fruchtfolgen nur schwach ausgeprägt (Abb. 27). In der viehreichen Folge bestand ein positiver Trend und in der viehlosen Fruchtfolge ein geringfügig negativer Trend auf die Kornertäge. Auch 17 Jahre nach Umstellung auf den ökologischen Landbau konnten in beiden Fruchtfolgevarianten ähnlich hohe Weizenertäge erzielt werden, wie zu Beginn des Versuches. Zu einem merklichen Ertragsabfall kam es unter diesen Standort- und Anbaubedingungen nachweislich nicht. Der Winterweizenanbau zeigt, dass der ökologische Landbau in Abhängigkeit des jeweiligen Standortes durchaus nachhaltig ist und sich mit dieser Bewirtschaftungsform auch langfristig stabile und auskömmliche Erträge erzielen lassen, ohne ein Absinken der Bodenfruchtbarkeit befürchten zu müssen.

Als Nebenprodukt fielen bei viehhaltender Bewirtschaftung im Durchschnitt 44,6 dt/ha Weizenstroh an, das abgefahren wurde. Bei viehloser Bewirtschaftung waren es im Durchschnitt 52,0 dt/ha Weizenstroh, so dass hier ein um 7,4 dt/ha höherer Strohertrag gegenüber der viehhaltenden Bewirtschaftung vorlag. Das Stroh wurde gehäckselt und mit der Stoppelbearbeitung in den Boden eingearbeitet. Der Verbleib des Strohs, und aller weiteren Koppelprodukte, erklärt die leicht ansteigenden Humusgehalte des Bodens dieser Fruchtfolge. Als Qualitätsparameter wurden die Tausendkornmasse (TKM), der Rohproteingehalt des Korns sowie der Sedimentationswert und die Fallzahl regelmäßig bestimmt (Tab. 12). Für die viehhaltende Fruchtfolge lässt ein mittlerer Rohproteingehalt von 10,8 % in Kombination mit einem Sedimentationswert von 39,4 ml auf eine mittlere bis gute Backqualität des Weizens schließen. Die Höhe der Fallzahl wird vor allem durch die Witterung im Reife- und Erntezeitraum bestimmt. Ein mittlerer Wert von 345 s kann als stark erhöht gelten. In der viehlosen Fruchtfolge ist die Beurteilung der Backqualität ebenfalls möglich. Die mittleren Gehalte an Rohprotein liegen unter 10 %, mit einem deutlichen Trend zu niedrigeren Werten im Verlauf des Untersuchungszeitraums (Abb. 28).

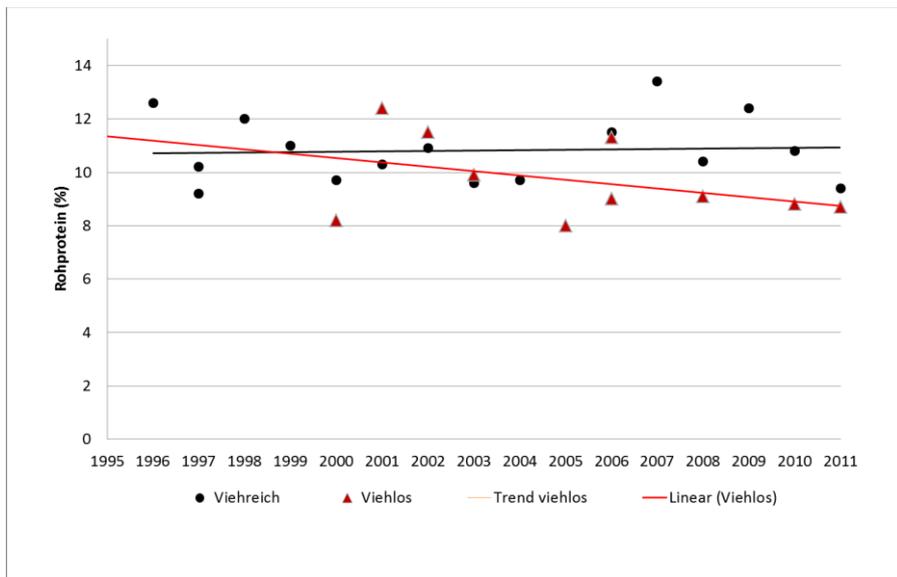


Abbildung 28: Entwicklung der Gehalte an Rohprotein im Weizenkorn auf den viehreichen und viehlosen Fruchtfolgen

Die gemessenen Hauptprodukt/Nebenprodukt- bzw. Korn/Stroh-Verhältnisse liegen zwischen 0,8 und 1,0. Für die Bedingungen im konventionellen Landbau wird bisher mit einem Wert von 0,8 und im ökologischen Landbau mit einem Wert für Winterweizen von 1,1 gerechnet (KÖHLER & KOLBE, 2007).

7.2 Winterroggen

Winterroggen wurde in der viehhaltenden Fruchtfolge 4-mal und in der viehlosen Fruchtfolge 9-mal geerntet (Tab. 13). Die mittleren Kornerträge lagen bei 54,3 dt/ha bzw. bei 46,2 dt/ha. Der Unterschied von immerhin 8 dt/ha ist im Wesentlichen auf z. T. witterungsbedingten Missernten in den Jahren 1997, 2003 und 2007 in der viehlosen Variante zurück zu führen, bei denen lediglich um die 30 dt/ha geerntet wurden (Abb. 29).

Tabelle 13: Mittlere Korn- und Stroherträge sowie Qualitätskomponenten von Winterroggen

		Fruchtfolge I (viehhaltend)		Fruchtfolge II (viehlos)	
Kornertrag	(dt/ha)	54,3 ± 3,3	n = 4	46,2 ± 11,6	n = 9
Strohertrag	(dt/ha)	49,7 ± 9,0	n = 4	51,3 ± 18,5	n = 9
Tausendkornmasse (TKM)	(g)	39,0	n = 2	31,4	n = 7
Fallzahl	(s)	145	n = 1	254	n = 3
N	(% TM)	1,52	n = 2	1,28 ± 0,15	n = 9
Korn/Stroh-Verhältnis	(Korn = 1)	0,92	-	1,11	-

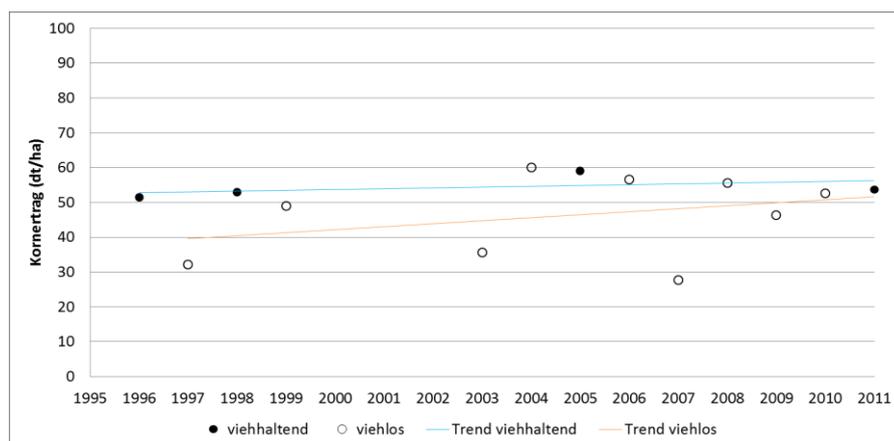


Abbildung 29: Ertragsentwicklung von Winterroggen in der viehreichen und viehlosen Fruchtfolge

Die erheblichen Schwankungen des Kornertrages deuten auf eine etwas geringere Ertragssicherheit bei viehloser Bewirtschaftung hin. Der Abstand zwischen dem höchsten Ertrag von 60,0 dt/ha (im Jahr 2004, Schlag 7) und dem geringsten Ertrag von 27,8 dt/ha (2007, Schlag 8) betrug mehr als 30 dt/ha, während die Erträge bei viehhaltender Bewirtschaftung vergleichsweise konstant geblieben sind und lediglich zwischen 51 dt/ha und 59 dt/ha variierten. Entsprechend war auch die Standardabweichung des Mittelwertes bei viehloser Bewirtschaftung um ein Vielfaches höher (Tab. 13; Abb. 29).

Eine Entwicklung über die Zeit war auch für die Winterroggen-Erträge nur schwach ausgeprägt. Abgesehen von einzelnen niedrigen Werten ist das anfängliche Ertragsniveau von 50 – 55 dt/ha 17 Jahre nach Umstellung auf den ökologischen Landbau weitgehend auf gleichem Niveau geblieben. In beiden Anbausystemen ist nur ein leicht positiver Trend in den Erträgen zu erkennen. Wie zuvor für Winterweizen zeigt sich somit auch für Winterroggen, dass die ökologische Landwirtschaft durchaus nachhaltig ist. Ohne erkennbare Minderung der Bodenfruchtbarkeit wurden auch bei Winterroggen langfristig ausreichend hohe Erträge erwirtschaftet.

Die Stroherträge des Winterroggens erreichten annähernd das Niveau des Kornertrages, wenngleich mit noch höheren Schwankungen. Das für die überschlägige Berechnung von Nährstoffbilanzen wichtige Korn/Stroh-Verhältnis lag zwischen 0,9 und 1,1. Im Ökolandbau wird bisher ein Korn/Stroh-Verhältnis von 1,3 angenommen (KÖHLER & KOLBE, 2007). Als Qualitätsparameter wurden nur die Tausendkornmasse und in einigen Jahren auch die Fallzahl ermittelt. Beide Merkmale liegen für Brotgetreide im mittleren Bereich.

7.3 Triticale

Für Triticale liegen aus der viehhaltenden Fruchtfolge 12 Ernten mit einem guten durchschnittlichen Kornertrag von 51 dt/ha vor (Tab. 14). In der viehlosen Fruchtfolge wurde Triticale nur einmal im Jahr 1998 angebaut. Insgesamt blieb das Ertragsniveau über die gesamte Versuchszeit relativ konstant mit Schwankungen zwischen 40 dt/ha und 60 dt/ha (Abb. 30). Ein Ertragsabfall war auch 17 Jahre nach Umstellung auf die ökologische Landwirtschaft nicht zu erkennen.

Tabelle 14: Mittlere Korn- und Stroherträge sowie Qualitätskomponenten von Triticale

		Fruchtfolge I (viehhaltend)		Fruchtfolge II (viehlos)	
Kornertrag	(dt/ha)	51,0 ± 9,8	n = 12	62,9	n = 1
Strohertrag	(dt/ha)	52,7 ± 18,4	n = 12	52,5	n = 1
Tausendkornmasse (TKM)	(g)	40,4	n = 11	42,1	n = 1
Fallzahl	(s)	86,0	n = 1	-	-
N	(% TM)	1,54 ± 0,21	n = 11	-	-
Korn/Stroh-Verhältnis	(Korn = 1)	1,03	-	-	-

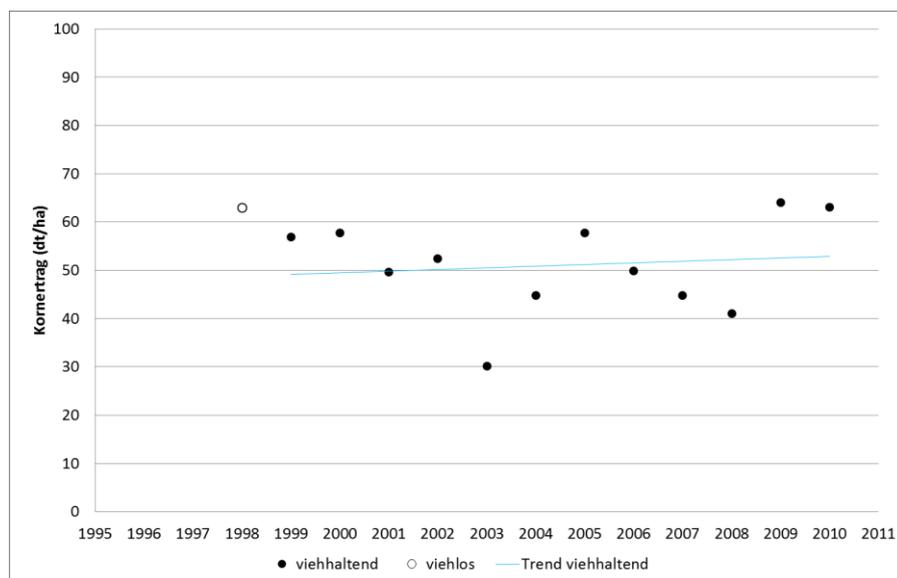


Abbildung 30: Ertragsentwicklung von Triticale auf dem Ökofeld

7.4 Hafer

Hafer wurde in der viehhaltenden Variante 10-mal als letztes Glied der Fruchtfolge angebaut. Der durchschnittliche Kornertrag betrug 43 dt/ha. In der viehlosen Variante gab es lediglich 3 Ernten mit einem mittleren Kornertrag von 35 dt/ha (Tab. 15).

Im zeitlichen Trend war für die viehhaltende Bewirtschaftung eine leichte Abnahme des Ertragsniveaus von anfangs um 46 dt/ha auf zuletzt gut 41 dt/ha festzustellen, allerdings mit großen Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren (Abb. 31), die im Wesentlichen auf Witterungseinflüsse zurückzuführen sein dürften. Beson-

ders feuchte Frühjahre wirkten sich negativ aus. Der höchste Kornertrag mit 67 dt/ha wurde im letzten Versuchsjahr 2011 erzielt.

Tabelle 15: Mittlere Korn- und Stroherträge von Hafer

		Fruchtfolge I (viehhaltend)		Fruchtfolge II (viehlos)	
Kornertrag	(dt/ha)	43,0 ± 13,0	n = 10	34,7 ± 18,3	n = 3
Strohertrag	(dt/ha)	43,3 ± 9,4	n = 10	45,0 ± 9,4	n = 3
Korn/Stroh-Verhältnis	(Korn = 1)	1,01	-	1,30	-

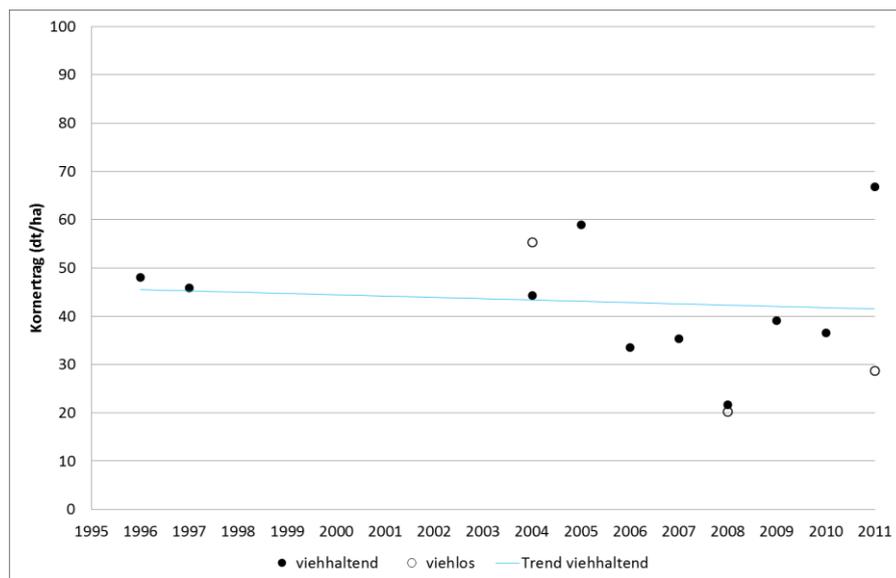


Abbildung 31: Ertragsentwicklung von Hafer auf dem Ökofeld

7.5 Kartoffel

Kartoffeln wurden nur in der viehhaltenden Variante auf allen Schlägen angebaut. In der Fruchtfolge stand sie hier zunächst an 4. Stelle nach 2-jährigem Klee gras und Winterweizen. Ab dem Jahr 2005 rückte sie auf die 3. Stelle in der Fruchtfolge vor, unmittelbar nach Klee gras. Im Durchschnitt von 16 Ernten wurde ein Knollenertrag von knapp 240 dt/ha erzielt, allerdings mit großen Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren und Schlägen (Tab. 16). Der höchste Knollenertrag wurde im Jahr 2010 mit hervorragenden 364 dt/ha geerntet (Schlag 4), der geringste nur ein Jahr zuvor mit 144 dt/ha (Schlag 5). Als Qualitätsparameter wurden der Stärkegehalt sowie in einzelnen Jahren der Cysteingehalt und der Anteil marktfähiger Ware bestimmt.

Eine eindeutige Entwicklung der Erträge über die Zeit ist nicht zu erkennen (Abb. 32). Es deutet sich lediglich eine Zunahme der Ertragsschwankungen und damit des Anbaurisikos im Versuchsverlauf an. Besonders dann, wenn aus Gründen ungünstiger Witterung, kein optimales Pflanzbett auf dem schweren Lehmboden gelang, waren die Wachstumsbedingungen für die Kartoffeln eingeschränkt. Darüber hinaus trugen Infektionen mit Krautfäule ebenfalls zur Ertragsreduktion bei. Im Durchschnitt über die Jahre bleibt aber festzuhalten, dass das anfängliche Ertragsniveau über die gesamte Versuchszeit annähernd gehalten, vielfach sogar übertroffen werden konnte.

Tabelle 16: Mittlere Knollenerträge sowie Qualitätskomponenten von Kartoffeln

		Fruchtfolge I (viehhaltend)		Fruchtfolge II (viehlos)	
Knollenertrag	(dt/ha)	237 ± 58	n = 16	253	n = 1
Stärkegehalt	(% in FM)	14,6	n = 10	-	-
N	(% TM)	1,70 ± 0,26	n = 8	1,59	n = 1
Anteil marktfähiger Ware	(%)	97,5	n = 2	-	-

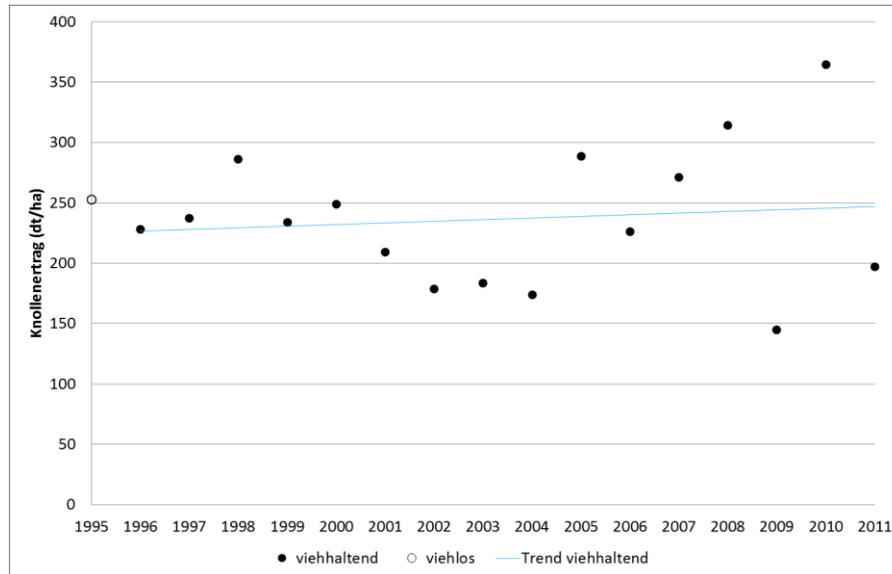


Abbildung 32: Ertragsentwicklung von Kartoffeln auf den Ackerflächen des Ökofeldes

7.6 Klee gras

Der Feldfutterbau mit dem Anbau von Leguminosen in Mischung mit Gräsern hat in der Fruchtfolge I entscheidende Bedeutung zur Sicherung der Futtergrundlage für die Viehhaltung sowie in beiden Fruchtfolgen zur Sammlung des Luftstickstoffs und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit. Angebaut wurden in der Regel Gemenge aus 30 % Rotklee, 25 % Luzerne und jeweils 15 % Wiesenschwingel, Deutsches Weidelgras und Lieschgras. Insgesamt wurden in der viehhaltenden Fruchtfolge 26 Klee gras-Jahresernten erfasst, wobei jede Jahresernte die Summe von 2 – 3 Schnitten pro Jahr repräsentiert. Der erste Schnittermin lag meistens im Zeitraum Ende Mai bis Anfang Juni, der zweite Mitte bis Ende Juli und ein eventueller dritter Schnitt folgte Ende September bis Anfang Oktober. Das Klee gras wurde geschnitten, auf dem Feld getrocknet und als Heu abgefahren. In der viehlosen Variante hingegen verblieb der gesamte Aufwuchs gemulcht auf den Schlägen. Ertragsermittlungen von Klee gras liegen hier lediglich von 3 Ernten auf den Schlägen 7 und 10 in den Jahren 1999/2000 vor. Für die Erstellung von Nährstoffbilanzen wurden die fehlenden Ertragsangaben geschätzt oder den Tabellenwerken des ÖKO-BEFU entnommen (KOLBE & KÖHLER, 2008). Zudem kam an den viehlosen Flächen oft Rotklee als Reinsaat für die Saatguterzeugung zum Anbau (siehe weiter unten). Nach dem Drusch verblieben die Rotkleeaufwüchse auf den Flächen.

Im langjährigen Durchschnitt wurde bei viehhaltender Bewirtschaftung ein jährlicher Grünmasseertrag von 476 dt/ha erzielt, allerdings mit erheblichen witterungsbedingten jährlichen Schwankungen zwischen 182 dt/ha im Jahr 2003 (Schlag 3) und 724 dt/ha in 2008 auf Schlag 5 (Tab. 17; Abb. 33). Missernten mit meistens nur

2 verwertbaren Aufwüchsen gab es in ausgeprägten Trockenjahren, wie die Beispiele 2003 und auch 2005 zeigen, während höhere Jahreserträge stets mit überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen korreliert waren. Bei viehloser Bewirtschaftung wurde ein mittlerer jährlicher Grünmasseaufwuchs von 379 dt/ha an Klee gras erreicht. Die Mittelwerte für Klee gras und Rotklee lagen bei 352 dt/ha.

Im zeitlichen Verlauf deutet sich ein Anstieg der Grünmasseerträge um ca. 150 dt/ha zwischen den Jahren 1996 und 2011 an, der aufgrund der enormen Schwankungen aber nicht zu sichern ist. Es fällt ebenfalls auf, dass die Erträge der Leguminosenaufwüchse auf den viehlosen Varianten einen z. T. deutlichen negativen Trend aufweisen (Abb. 33).

Tabelle 17: Mittlerer Ertrag und Futterwert von Klee gras und Rotkleeaufwüchsen

		Fruchtfolge I (viehhaltend)		Fruchtfolge II (viehlos)	
Grünmasseertrag	(dt/ha)	Klee gras: 476 ± 151	n = 26	Klee gras: 379 ± 126	n = 3
				Klee gras+Rotklee: 352 ± 129	n = 9
Rohfaser	(% in TM)	25,3	n = 25	24,9	n = 2
Rohprotein	(% in TM)	15,9	n = 11	-	-
N	(% TM)	2,31 ± 0,51	n = 18	2,12	n = 2

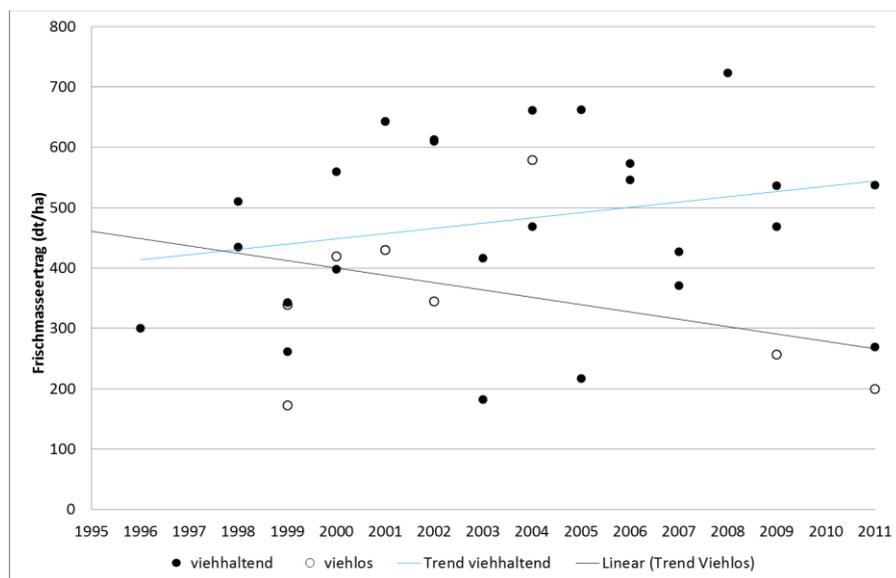


Abbildung 33: Ertragsentwicklung von Klee gras (Summe aus 1. – 3. Schnitt) und Rotkleeaufwüchsen in der viehhaltenden und viehlosen Fruchtfolge

Als Qualitätsparameter wurden der Rohfasergehalt des Aufwuchses und zu den letzten Ernteterminen auch der Rohproteingehalt bestimmt, beides wichtige Merkmale der Futterqualität. Der Rohfasergehalt lag in beiden Varianten bei ca. 25 % der Trockenmasse, mit geringen Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren und Ernten. Der Rohproteingehalt des Klee grasses lag im Durchschnitt bei knapp 16 % (Tab. 17).

7.7 Ackerbohne

Ackerbohnen wurden nur in der viehlosen Fruchtfolge angebaut. Im Durchschnitt von neun Ernten wurde ein Korntrag von 31,3 dt/ha erzielt. Zwei weitere Ernten im Jahr 2003 (Schlag 7) und 2008 (Schlag 10) erbrachten aufgrund von Verunkrautung (Hederich) lediglich rund 10 dt/ha (Abb. 34). Als Qualitätsparameter wurden der Rohprotein- und Stärkegehalt sowie die Gehalte wichtiger Aminosäuren in unterschiedlicher Intensität erfasst (Tab. 18).

Ausgenommen der beiden Missernten der Jahre 2003 und 2008 schwankten die Kornträge relativ konstant zwischen 20 dt/ha und 45 dt/ha. Es zeigt sich, dass der Ackerbohnenanbau relativ unsicher ist. Im Vergleich zum Getreideanbau besteht eine stärkere Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen, insbesondere von der Wasserversorgung. Auf Fehler in der Bewirtschaftung, wie z. B. eine zu geringe Ablagetiefe, reagierte die Ackerbohne ebenfalls sehr empfindlich. Vereinzelt traten auch Krankheiten, wie Bohnenrost, die Brennfleckenkrankheit und die Schokoladenfleckenkrankheit auf. Zu einem verstärkten Auftreten der Schwarzen Bohnenblattlaus kam es in 2 Jahren, wobei aber hauptsächlich die Feldränder betroffen waren.

Tabelle 18: Mittlerer Korntrag und Qualitätskomponenten von Ackerbohne

		Fruchtfolge II (viehlos)	
Korntrag	(dt/ha)	31,3 ± 12,4	n = 9
Tausendkornmasse	(g)	391	n = 6
Rohprotein	(% in TM)	22	n = 2
N	(% TM)	4,65 ± 0,38	n = 7
Stärke	(% in TM)	33,9	n = 3
Lysin	(% in TM)	1,5	n = 5
Methionin	(% in TM)	0,2	n = 5
Cystein	(% in TM)	0,3	n = 2
Threonin	(% in TM)	0,9	n = 5

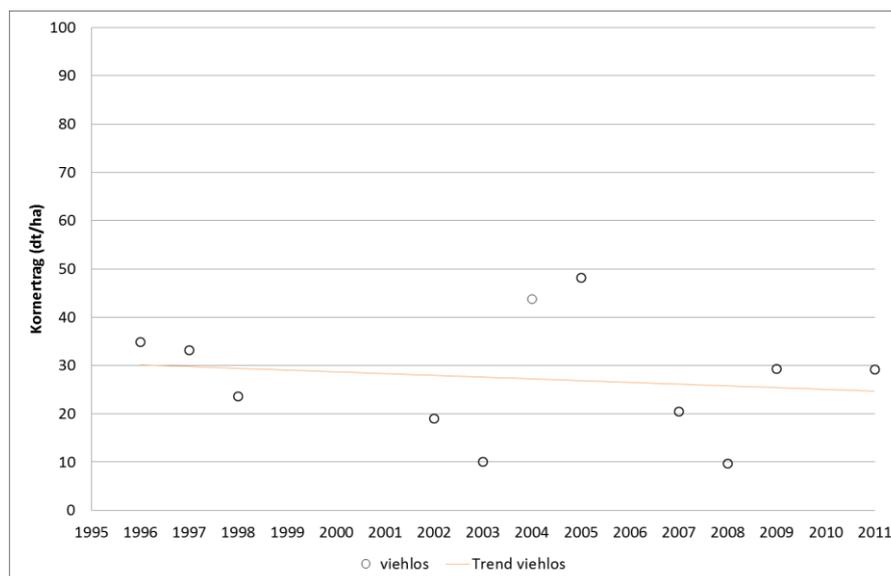


Abbildung 34: Ertragsentwicklung von Ackerbohne auf den viehlosen Flächen des Ökofeldes

7.8 Sonstige

Die folgenden Fruchtarten wurden meistens nur in einer Fruchtfolgevariante und hier nur kurzzeitig angebaut, so dass vergleichende Analysen kaum möglich sind.

7.8.1 Sommerweizen

Sommerweizen wurde über die gesamte Laufzeit lediglich 3-mal angebaut, 1-mal in Fruchtfolge I und 2-mal in Fruchtfolge II. Die erzielten Erträge schwankten über einen weiten Bereich zwischen 58 dt/ha und 21 dt/ha. Der geringe Einzelertrag war wahrscheinlich durch starke Verunkrautung auf Schlag 10 verursacht, in dessen Folge der ursprünglich angebaute Winterweizen im zeitigen Frühjahr umgebrochen werden musste. Sommerweizen wurde hier als Nachsaat eingebracht. Im Mittelwert der drei Ernten wurde ein Ertrag von 41 dt/ha bei einem relativ hohen Gehalt an Rohprotein von 12,6 % und guten Sedimentationswerten von 38 ml erreicht. Die Fallzahlen waren mit Werten zwischen 393 s und 424 s jeweils stark erhöht.

7.8.2 Dinkel

Dinkel wurde nur einmal auf Schlag 8 in der viehlosen Fruchtfolge angebaut. Der Ertrag lag bei guten 60 dt/ha mit einem Rohproteingehalt von 14,2 %, einem Sedimentationswert von 62 ml und einer Fallzahl von 296 s.

7.8.3 Wintergerste

Wintergerste wurde zwischen den Jahren 1998 und 2003 lediglich in der viehaltenden Fruchtfolge angebaut. Im Mittel von 5 Ernten wurde ein Kornertrag von knapp 40 dt/ha ($\pm 11,4$ dt/ha, Stroh $32,5 \pm 15,9$ dt/ha) erzielt, mit stark abnehmender Tendenz. Als Qualitätskomponente wurde die Tausendkornmasse mit einem Mittelwert von 36,4 g erfasst. Der N-Gehalt des Korns lag bei $1,26 \pm 0,17$ % TM.

7.8.4 Sommergerste

Für Sommergerste liegen sechs Ernten aus der viehlosen Fruchtfolge und eine Ernte bei viehaltender Bewirtschaftung vor. Der mittlere Ertrag lag bei guten $38 \pm 11,9$ dt/ha, allerdings mit großen Schwankungen zwischen 27 dt/ha und 57 dt/ha. Die Stroherträge lagen bei $36,6 \pm 29,4$ dt/ha. Als Qualitätsparameter wurde lediglich einmal der Vollgerstenanteil erfasst, der die Eignung als Braugerste charakterisiert. Er lag im Jahr 1998 auf Schlag 8 bei guten 94,9 %.

7.8.5 Sonnenblume

Sonnenblumen kamen nur einmal im Jahr 1996 in der viehlosen Fruchtfolge auf Schlag 9 zum Anbau. Der Ertrag lag bei 33 dt/ha.

7.8.6 Silomais

Silomais kam zwischen den Jahren 1996 und 2000 zweimal zum Anbau. Der Frischmasseertrag betrug 140 dt/ha bzw. 380 dt/ha.

7.8.7 Wickroggen

Wickroggen wurde nur einmal auf Schlag 8 im Jahr 1999 angebaut. Der Umbruch erfolgte bereits Mitte Juni. Bis dahin wurde ein Aufwuchs von 270 dt/ha Frischmasse erzielt, der auf dem Schlag verblieb. Der Rohfasergehalt lag bei 29,8 % in der Trockenmasse.

7.8.8 Rotklee

Rotklee wurde in der viehlosen Fruchtfolge mehrfach als Leguminosen-Glied der Fruchtfolge zur Stickstoffsammlung angebaut. Der mittlere Frischmasseertrag von sechs Erntejahren betrug 373 ± 149 dt/ha. Sämtlicher Aufwuchs verblieb nach Mulchen auf dem Feld. Dreimal wurde Rotklee zudem zur Saatgutproduktion

angebaut. Der Drusch erfolgte jeweils Ende August bis Anfang September. Im Mittel wurde ein Kornertrag von $3,5 \pm 1,0$ dt/ha erzielt.

7.9 Erträge an Getreideeinheiten (GE) und Ertragsvariation

7.9.1 GE-Erträge

Um die Ertragsleistung in ihrer Gesamtheit besser beschreiben zu können, sind die Naturalerträge der Fruchtarten in Getreideeinheiten umgerechnet worden. Am Trend der Durchschnittserträge über alle 10 Schläge ist deutlich zu erkennen, dass es im Verlauf der Bewirtschaftungszeit zu einem geringen Ertragsanstieg von ca. 57 dt GE/ha im Jahr 1995/1996 auf 61 dt GE/ha in den Jahren 2010/2011 in der viehrefolgenreichen Fruchtfolge gekommen ist (Abb. 35).

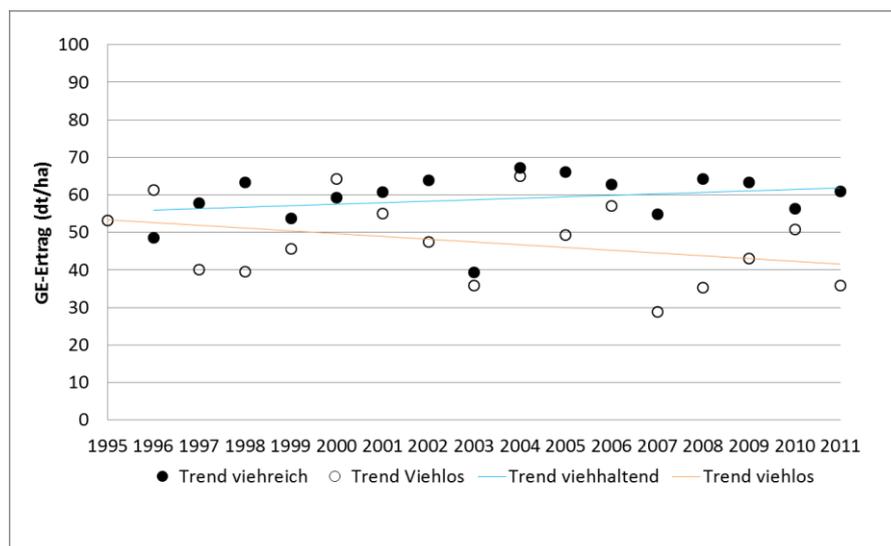


Abbildung 35: Verlauf der GE-Erträge von 1995 – 2011 nach viehrefolgenreicher und viehrefolgenloser langjähriger Bewirtschaftung

Die durchschnittlichen Erträge der viehrefolgenlosen Fruchtfolge sind dagegen von ausgangs ca. 53 dt GE/ha auf ca. 42 dt GE/ha z. T. deutlich abgefallen. Der Durchschnittsertrag der viehrefolgenreicher Fruchtfolge betrug $58,9 \pm 7,2$ dt GE/ha und bei der viehrefolgenlosen Fruchtfolge $47,5 \pm 10,8$ dt GE/ha. Die meistens witterungsbedingte Streuung ist in der viehrefolgenlosen Fruchtfolge deutlicher ausgeprägt als bei viehrefolgenreicher Bewirtschaftung. Gut zu sehen ist z. B. das niedrige Ertragsniveau des trockenen Jahres 2003 in beiden Fruchtfolgen (Abb. 35).

In Abbildung 36 sind die Durchschnittserträge über die Untersuchungszeit für alle 10 Ackerschläge abgebildet worden. Zwischen der viehrefolgenreicher und der viehrefolgenlosen Fruchtfolge besteht ein Unterschied von 11,6 dt GE/ha und Jahr. Aber auch innerhalb der viehrefolgenreicher Fruchtfolge bestehen Unterschiede. Die Schläge 1 – 3 sind durch ein durchschnittliches Niveau um 55,5 dt GE/ha und die Schläge 4 – 6 durch Werte um 62,3 dt GE/ha gekennzeichnet. Eine Erklärung für diesen Unterschied von fast 7 dt GE/ha liegt wahrscheinlich in dem schlechten Zustand der Grundnährstoffversorgung auf den Flächen 1 – 3 der viehrefolgenreicher Folge (siehe nächstes Kapitel).

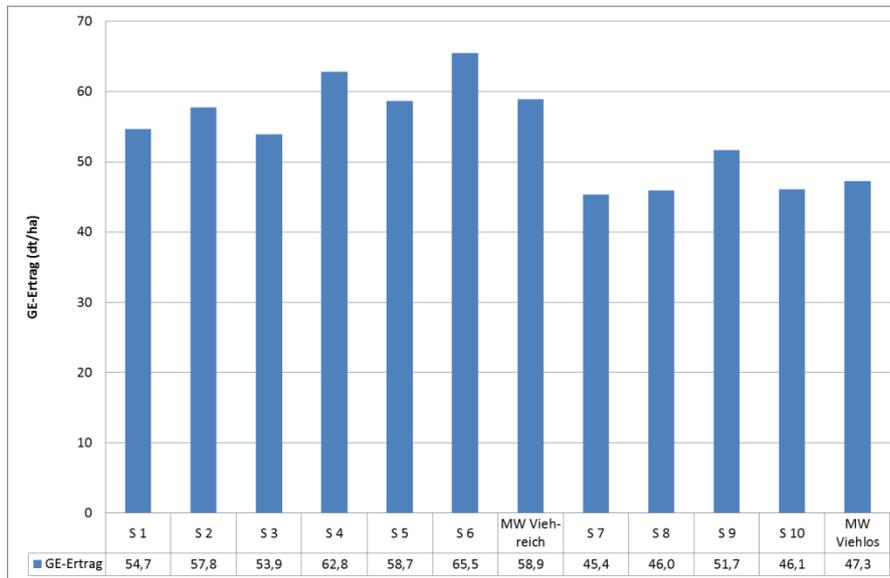


Abbildung 36: Mittlere GE-Erträge der Fruchtarten in den einzelnen Schlägen der viehreichen (S 1 – S 6) und viehlosen (S 7 – S 10) Fruchtfolge des Ökofeldes (MW = Mittelwert)

7.9.2 Ertragsschwankung

Insbesondere die Anzahl an Ertragserhebungen in der viehhaltenden Fruchtfolge lässt eine Einordnung der Ertragsstreuung für den Standort Roda zu (siehe Tab. 12 bis 18). Daher wurden nachfolgend für die mehrjährigen Kulturen, die Wintergetreidearten und die Sommerkulturen die durchschnittliche Variationsbreite der Erträge an Hauptprodukten (Grünmasse, Körner, Knollen) mit Hilfe der relativen Standardabweichung ausgewiesen (s in %):

Überjährige bzw. mehrjährige Kulturen:

- Klee gras, Rotklee 32 – 37

Wintergetreidearten:

- Winterweizen 18
- Triticale 19
- Winterroggen 25
- Wintergerste 29

Sommerkulturen:

- Hafer 30
- Sommergerste 31
- Ackerbohne 40
- Kartoffeln 25

GE-Erträge aller Fruchtarten:

- Durchschnitt 12 (viehreich), 23 (viehlos).

Nach diesen Untersuchungen weisen die Wintergetreidearten mit durchschnittlich ca. 23 % eine deutlich geringere relative Streuung auf als die Sommerfruchtarten, die auf einen durchschnittlichen Wert von 31 % kommen. Hierbei ist vor allem die hohe Anbausicherheit des Winterweizen und der Triticale zu nennen. Dagegen ist die Anbausicherheit der Sommerkulturen, insbesondere durch die hohe Variationsbreite der Ackerbohnenenerträge, deutlich niedriger einzustufen. Ein Anbau in Fruchtfolgen mit Viehhaltung führt offenbar zu einer höheren Anbausicherheit als der viehlose Anbau.

8 Humus- und Nährstoffbilanzen

8.1 Humus

Die Humusbilanzen wurden mit dem Programm BEFU ermittelt. Im Prinzip kann ein Humussaldo aus der Zufuhr an organischen Primärschubstanzen abzüglich des Humusabbaus (Bodeneinfluss, Witterung) berechnet werden (KOLBE, 2013). Bei den einfachen statistischen Methoden wird ein Saldo gebildet zwischen den positiven Humifizierungswerten der Fruchtarten und der organischen Düngemittel (Humusmehrer) abzüglich der Fruchtarten mit negativen Humifizierungskoeffizienten (Humuszehrer).

Die Humusbilanz wird auf Basis der Daten der Schlagbilanz berechnet. Hierzu wurde die standortdifferenzierte Bilanzierungsmethode des ÖKO-BEFU verwendet (Methode STAND), welche die Humuszufuhr unter Beachtung der gegebenen Standortfaktoren bewertet. Dabei werden die Einflüsse von Bodenart, Feinanteil, C/N-Verhältnis, Temperatur und Niederschlag berücksichtigt. Die Humusbilanz gibt die Änderung der Humusvorräte ausgedrückt in Humusäquivalenten (HÄQ) des Bodens wieder.

Entsprechend den standörtlichen Gegebenheiten wurde die Auswahl der Standortgruppe (STG) der Fruchtarten entsprechend der Situation des Ökofeldes in Bezug zur Bodenart und den Durchschnittstemperaturen ausgewählt. Da in den Anfangsjahren des Ökofeldes die C/N-Verhältnisse des Bodens der Ackerflächen unter 9 und in den letzten Jahren deutlich über 9 betragen, wurden die Bilanzen für die STG 5 und die STG 6 berechnet und anschließend als Mittelwerte ausgewiesen. In der Zukunft dürfte die STG 5 als die maßgebliche Standortgruppe anzusehen sein.

8.1.1 Bezug zur Fruchtfolge

Zunächst wurden die berechneten Humussalden genau auf die Abfolge einer Fruchtfolge bezogen. Bei dieser Betrachtung resultiert bei Viehhaltung ein mittlerer jährlicher Saldo von 96 kg HÄQ/ha gegenüber 240 kg HÄQ/ha bei viehloser Bewirtschaftung und höherem Leguminosenanteil in der Fruchtfolge (Abb. 37).

Auf den viehhaltenden Schlägen wurden neben Leguminosen mit hohen positiven Humifizierungskoeffizienten zu gut 60 % auch so genannte Humuszehrer angebaut, die negative Humifizierungskoeffizienten aufweisen. Zudem wurden alle Nebenprodukte abgefahren. Somit verblieb, außer der Wurzelmasse und Bestandsabfällen, keine organische Substanz von den angebauten Fruchtarten auf den Feldern. Durch die Stallmistgaben konnte das Defizit jedoch mehr als ausgeglichen werden. Auf den viehlosen Schlägen hingegen wurde neben den ausgesprochenen Humusmehrern, wie Klee gras und Rotklee, auch Körnerleguminosen angebaut, die ebenfalls eine positive Humusbilanz aufweisen, da deren Stroh auf den Schlägen verbleibt. Sämtliche Nebenprodukte sowie die Schnitte der Leguminosen verblieben ebenfalls auf dem Feld und kamen damit dem Humusvorrat des Bodens zugute.

Nach den Bewertungskriterien des VDLUFA (2004, 2014) entsprechen die berechneten Humusbilanzen aller Schläge im Durchschnitt über die Versuchszeit der Versorgungsgruppe C, welche hinsichtlich der langfristigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und der Ertragssicherheit als optimal gilt. Die Versorgungsgruppe C wird im ökologischen Landbau aufgrund der fehlenden mineralischen N-Düngung weiter gefasst (0 – 300 kg HÄQ/ha u. J.) als im konventionellen Landbau, wo mit jährlichen Raten ab 100 kg HÄQ/ha bereits die Versorgungsstufe D erreicht wird (VDLUFA, 2014).

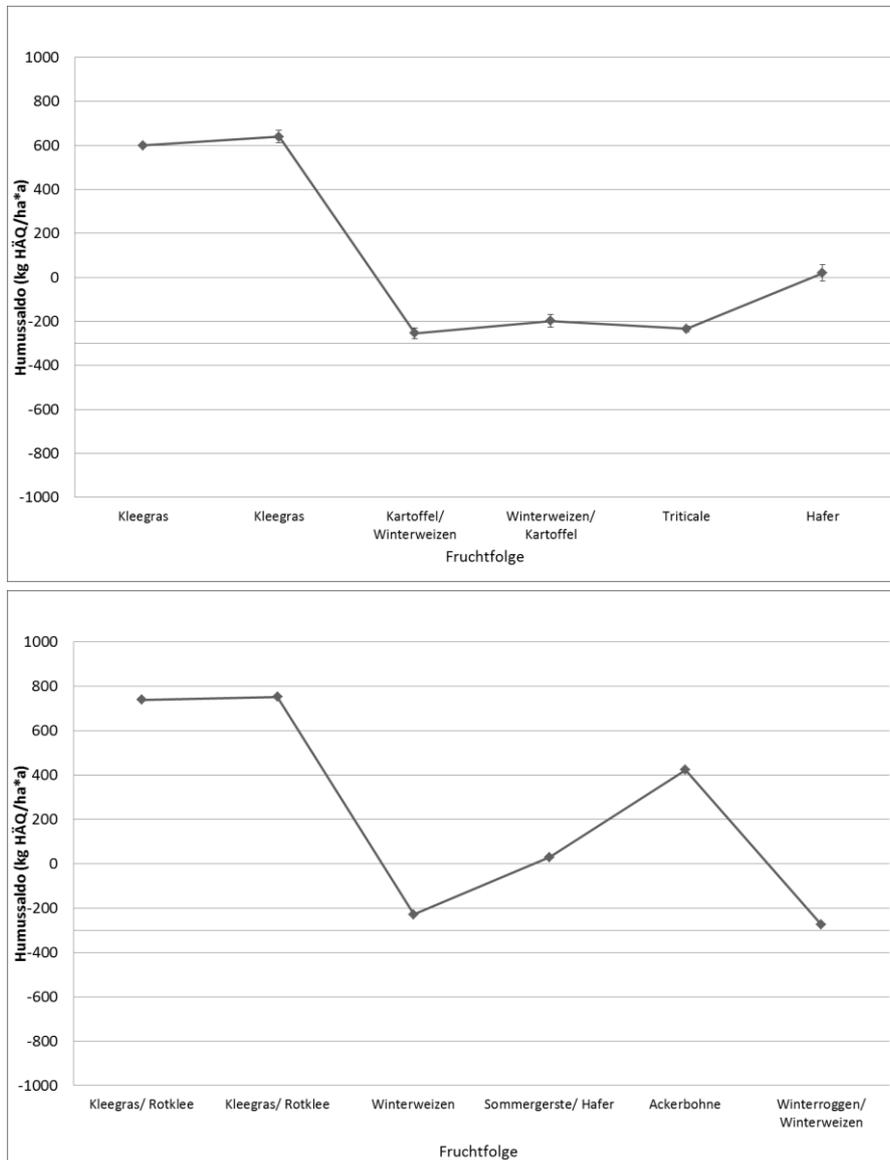


Abbildung 37: Berechnete durchschnittliche Humussalden im Verlauf der viehrefolgen (oben) und viehlosen (unten) Fruchtfolge (STAND-Methode, STG 5)

8.1.2 Bezug auf die Ackerschläge

In Abbildung 38 sind die einzelnen Komponenten der Humusbilanz in absoluten und relativen Werten dargestellt worden. In den viehhaltenden Fruchtfolgen fällt der relativ hohe Umfang des Anbaus von durchschnittlich fast 50 % an Humuszehrern (Kartoffeln, Getreide) auf. In den viehlosen Varianten sind dies nur etwas mehr als 35 % Humuszehrer. Dafür spielt die Strohzufuhr hier mit 25 – 30 % eine erhebliche Rolle als humusmehrende Komponente, die in etwa gleichem Umfang in den viehrefolgen Flächen die Zufuhr an organischen Düngern ausfüllt.

Auch der Anbau von Humusmehrern (Ackerfutter, Ackerbohne, Zwischenfrüchte) spielt in beiden Anbausystemen eine erhebliche Rolle. In der viehrefolgen Fruchtfolge beruhen etwas mehr als 25 % und in der viehlosen Fruchtfolge ca. 35 % der gesamten Komponenten auf die humusmehrenden Fruchtarten. Mit meistens weniger als 5 % fallen dagegen in beiden Fruchtfolgen die Gründünger kaum ins Gewicht.

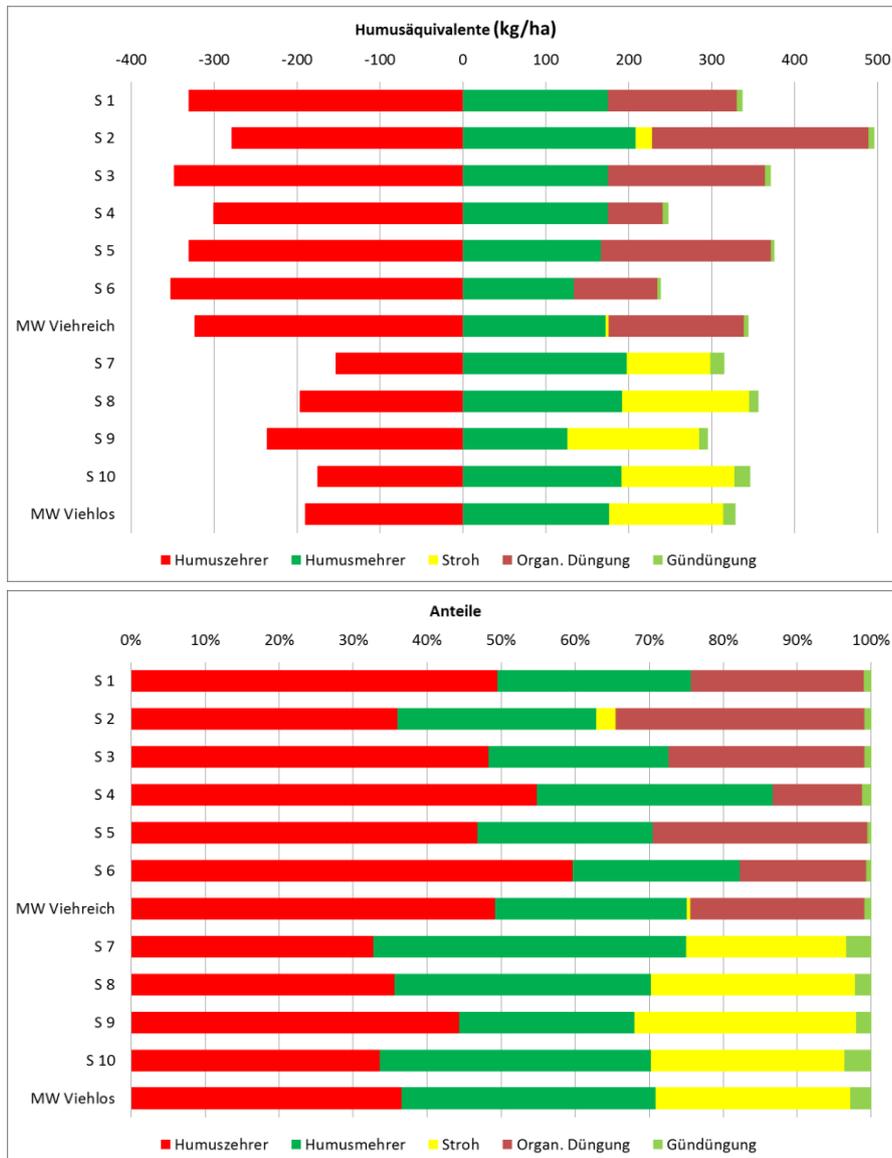


Abbildung 38: Absolute und relative Werte der humusmehrenden und -zehrenden Komponenten der Humusbilanz auf den viehreichen (S1 – S6) und viehlosen Ackerflächen (S 7 – S10) (STAND-Methode, Mittelwerte STG 5 u. STG 6; MW = Mittelwert)

In Abbildung 39 sind die jährlich berechneten Humussalden der einzelnen Schläge im Versuchszeitraum (16 Jahre) dargestellt worden. Positive Humusbilanzen zeigen eine gegenüber dem Humusabbau und der Inanspruchnahme von Humusstickstoff überschüssige Versorgung mit organischer Substanz an. Sie stellen ein Potenzial für den Humusaufbau dar. Negative Humusbilanzen weisen hingegen auf eine unzureichende Nachlieferung mit organischer Substanz hin (LLH, 2013). In den einzelnen Jahren und Flächen sind stark unterschiedlich hohe Humussalden ermittelt worden. In beiden Fruchtfolgen ist ein positiver Trend in den Bilanzen zu erkennen.

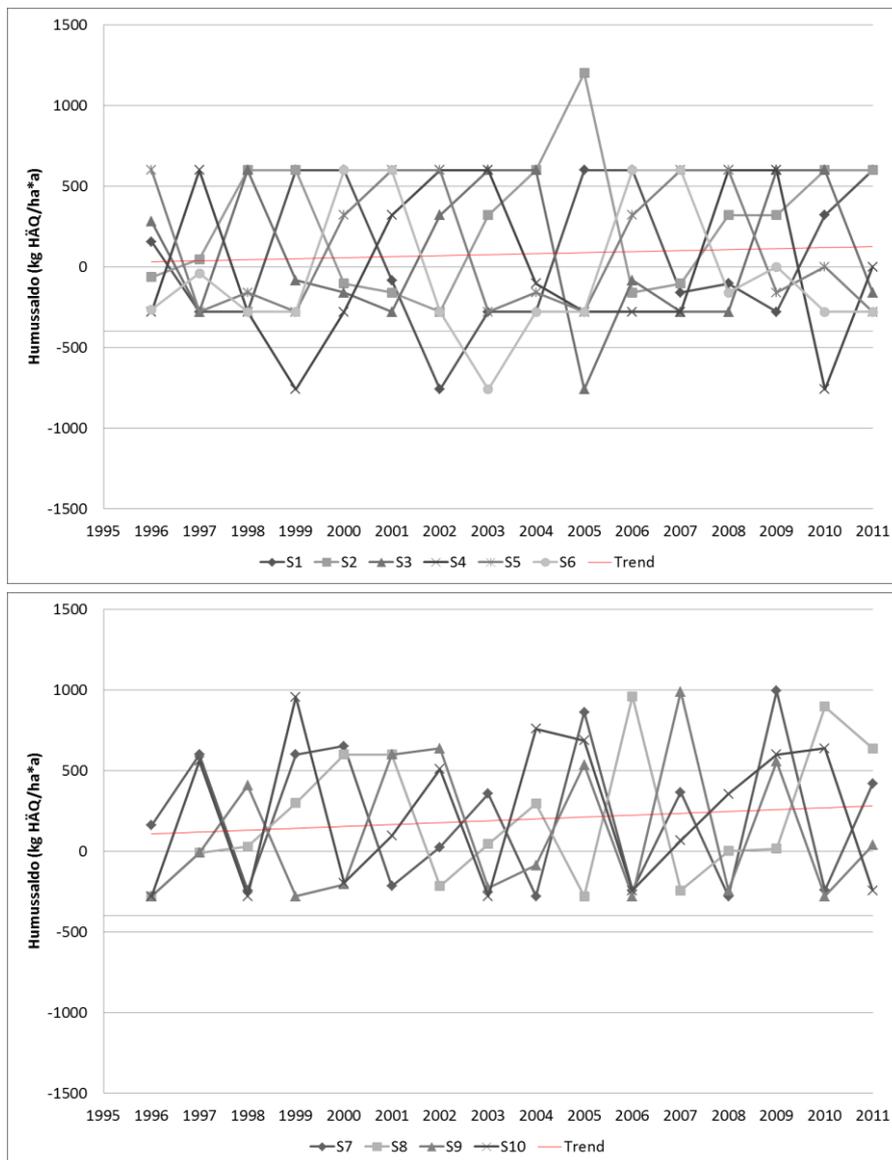


Abbildung 39: Verlauf der jährlich ermittelten Humussalden auf den viehhaltenden (S1 – S6) und viehlosen Ackerflächen (S 7 – S10) (STAND-Methode, STG 5)

Im Durchschnitt über die Laufzeit der Untersuchungen wurden auf den viehhaltenden Flächen eine Anreicherung von rund 80 kg HÄQ/ha erzielt, gegenüber gut 190 kg HÄQ/ha und Jahr ohne Viehhaltung (Abb. 40). Der hohe Leguminosenanteil von 46 % und der Verzicht auf die Abfuhr der Leguminosen-Aufwüchse sowie der sonstigen Nebenprodukte (Stroh) hatte in der viehlosen Fruchtfolge somit eine erhebliche Anreicherung von organischer Substanz zur Folge.

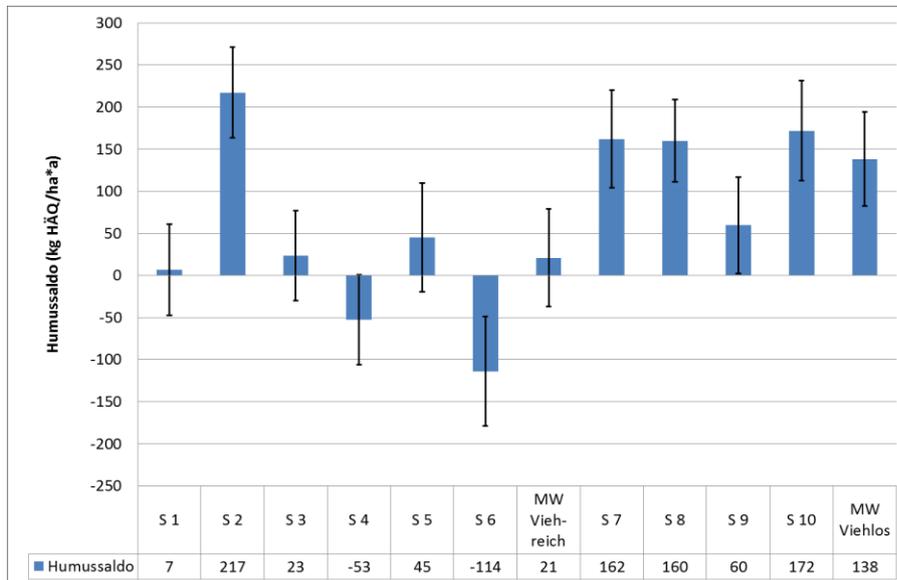


Abbildung 40: Durchschnittliche Humussalden der viehreichen (S1 – S6) und viehlosen (S7 – S10) Fruchtfolgen der untersuchten Ackerschläge (STAND-Methode, Mittelwerte aus niedrigen Werten = STG 6 u. hohen Werten = STG 5; MW = Mittelwert)

Zwischen den gemessenen C_{org} -Differenzen im Boden zwischen Anfang und Ende der Untersuchungen (siehe Abb. 8) und den ermittelten absoluten Humussalden (Abb. 41) bzw. den umgerechneten Humussalden in C_{org} -Differenzen (Abb. 42) bestehen sehr enge, statistisch hoch gesicherte Beziehungen ($r = 0,855^{***}$). Aus den mit dem Programm BEFU berechneten Humussalden (Methode STAND) kann daher die Versorgungslage mit organischer Substanz für den Standort recht gut und mit hoher quantitativer Sicherheit eingeschätzt werden.

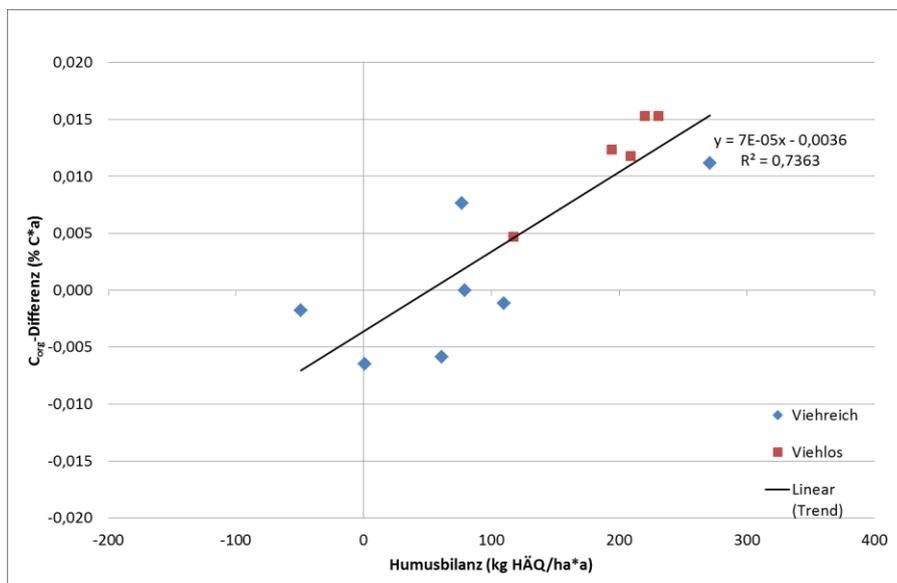


Abbildung 41: Beziehung zwischen der Bodenänderung an C_{org} und den berechneten Humussalden (STAND-Methode, Mittelwerte aus STG 5 u. STG 6)

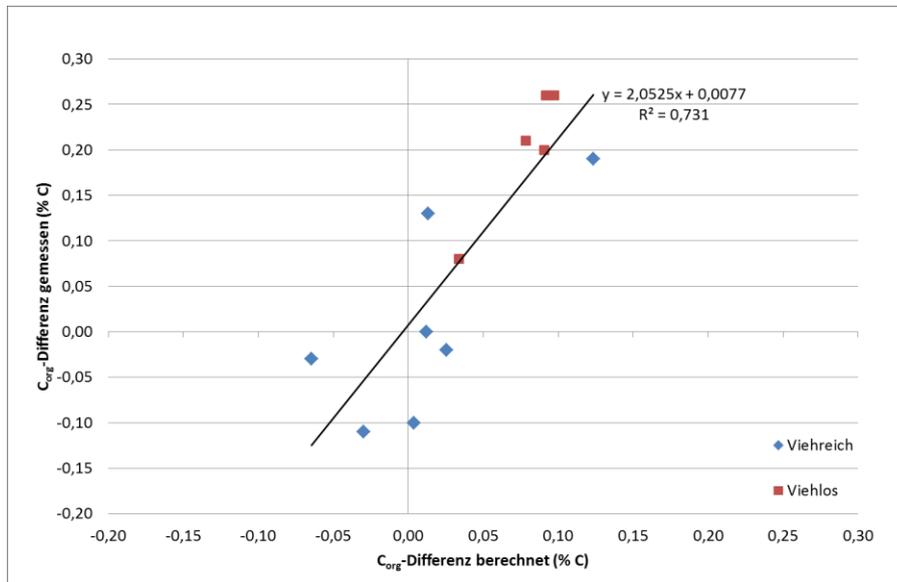


Abbildung 42: Beziehungen zwischen den Bodenänderungen an C_{org} im Verlauf der Bewirtschaftung (Anfang – Ende) und den aus den Humusbilanzen berechneten Bodenänderung an C_{org} (Faktor: 0,0005672)

Auch zwischen der Bodenänderung im C_{org}-Gehalt und den N-Schlagsalden bestehen positive korrelative Zusammenhänge (Abb. 43, $r = 0,642^*$). Mit steigenden N-Salden nehmen unter den ökologischen Bewirtschaftungsbedingungen die C_{org}-Gehalte des Bodens ebenfalls zu. Es ist auch zu erkennen, dass bei Salden von unter Null kg N/ha eine Gefährdung der Humusversorgung eintreten kann.

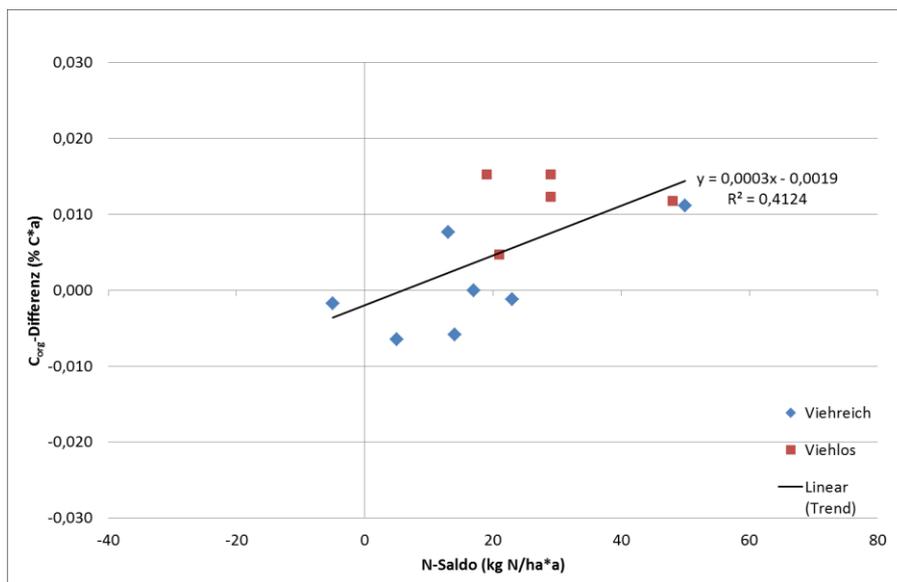


Abbildung 43: Beziehungen zwischen den Änderungen an C_{org} im Boden und den N-Schlagsalden

8.2 Stickstoff

Die N-Bilanzierung wurde unter Nutzung der experimentell ermittelten Erträge und der N-Gehalte der Fruchtarten und Düngemittel und der N-Bindung der Leguminosen als sogenannte Brutto-Bilanzierung unter Berücksichtigung der N-Deposition über die Atmosphäre und die asymbiotische N-Bindung ermittelt (KOLBE & KÖHLER, 2008). Die Einzelwerte sind in Anlage 8 des Anhangs dokumentiert.

8.2.1 Stickstoffsalden in Bezug zur Fruchtfolge

Stickstoffzufuhr

In ökologisch wirtschaftenden Betrieben ist die Bindung des Luftstickstoffs über symbiotisch lebende Bakterien an den Wurzeln von Leguminosen als eine der bedeutendsten Quellen für den Nährstoff Stickstoff anzusehen. Direkte Messungen der legumen N-Bindung wurden nicht durchgeführt. Stattdessen wird die N-Zufuhr über den Leguminosenanbau zu Bilanzierungszwecken mit statistischen Verfahren und Gleichungen berechnet, die auch dem ÖKO-BEFU (KOLBE & KÖHLER, 2008) zugrunde liegen.

Danach wurde im Durchschnitt aller Schläge und Versuchsjahre eine symbiotische N-Bindung von rund 60 kg N/ha und Jahr erzielt. Bezogen auf jeweils volle 6-jährige Fruchtfolgedurchgänge waren es für jede Fruchtfolgevariante gut 70 kg N/ha und Jahr (Tab. 19). Der Leguminosenanteil von über 40 % in der viehlosen Fruchtfolge hatte somit nur eine unwesentlich höhere N-Bindung von 4 kg N/ha zur Folge.

Eine weitere wichtige Stickstoffquelle ist die Zufuhr von Wirtschaftsdüngern wie Stallmist, Gülle und Jauche. In der viehhaltenden Fruchtfolge gelangten auf diesem Weg im Durchschnitt von neun vollen Fruchtfolgedurchläufen rund 45 kg N/ha und Jahr auf die Schläge. Das Ziel, eine Zufuhr von 1 GVE/ha zu gewährleisten, ist daher nicht ganz erreicht worden.

Zusätzlich sind Stickstoff-Einträge über Stäube und Niederschläge sowie die nichtsymbiotische N-Bindung in den Bruttobilanzen zu berücksichtigen, die für den Standort Roda, unabhängig von der Bewirtschaftung, mit 40 kg N/ha und Jahr angenommen wurden (LIPPOLD & ALBERT, 2003; KOLBE & KÖHLER, 2008). In der Summe ergibt sich somit eine mittlere jährliche Stickstoffzufuhr von 156 kg N/ha in der viehhaltenden Fruchtfolge und von 115 kg N/ha bei viehloser Bewirtschaftung.

Stickstoffentzug

Der jährliche Stickstoffentzug ergibt sich aus den experimentell ermittelten Erträgen der Haupt- und Nebenprodukte, multipliziert mit deren Stickstoffgehalten. Hohe Stickstoffentzüge bis 100 kg N/ha und Jahr wurden regelmäßig für das Wintergetreide gemessen, eher geringe bis 70 kg N/ha für Sommergetreide und Kartoffeln. Besonders hohe Stickstoffentzüge bis weit über 300 kg N/ha und Jahr verursachte auch der Anbau von Feldfutter mit Leguminosen-Grasgemenge (Kleegras), wenn der Aufwuchs vom Feld abgefahren wurde. Bei viehloser Bewirtschaftung entfielen diese „Verluste“, da sämtlicher Leguminosenaufwuchs, mit Ausnahme des Korns (Ackerbohne, Kleesamen), auf dem Feld verblieb.

Bezogen auf die beiden Fruchtfolgen errechnet sich bei Viehhaltung im Durchschnitt von neun vollen Fruchtfolgedurchgängen ein jährlicher Stickstoffentzug von 133 kg N/ha und bei viehloser Bewirtschaftung im Durchschnitt von drei Durchgängen von 81 kg N/ha. Verglichen mit der jährlichen N-Zufuhr resultiert für die viehhaltende Fruchtfolge eine mittlere N-Effizienz von guten 85 % und für die viehlose Fruchtfolge von 70 %.

Stickstoffsalden

In der Brutto-Bilanz aus den gemessenen Werten an N-Zufuhr und N-Abfuhr bzw. -Entzug ergibt sich bei Viehhaltung im Mittel von neun vollen Fruchtfolgedurchgängen ein positiver mittlerer jährlicher Saldo von rund 23 kg N/ha und bei viehloser Bewirtschaftung im Durchschnitt von drei Durchgängen von 35 kg N/ha (Tab. 19). Dieser Saldo wird allgemein als ausreichend erachtet, um die Bodenfruchtbarkeit auch langfristig zu erhalten (KOLBE, 2012).

Tabelle 19: Mittlere jährliche Komponenten und Salden der Stickstoff-Schlagbilanz bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung, bezogen auf eine Fruchtfolgerotation von 6 Jahren

		Fruchtfolge I (viehhaltend, n = 9)	Fruchtfolge II (viehlos, n = 3)
Stickstoffeinträge			
symbiotische N-Bindung	(kg/ha a)	71 ± 24	75 ± 23
Wirtschaftsdünger	(kg/ha a)	45 ± 38	0
nichtsymbiotische N-Bindg.	(kg/ha a)	10	10
Deposition	(kg/ha a)	30	30
Summe	(kg/ha a)	156 ± 38	115 ± 23
Stickstoffentzug	(kg/ha a)	133 ± 24	81 ± 8
Stickstoff-Saldo	(kg/ha a)	23 ± 36	35 ± 30

In Abbildung 44 wurden die durchschnittlichen N-Salden in der Abfolge der Fruchtfolgejahre aufgezeigt. Zwischen den beiden Fruchtfolgen ist ein deutlich unterschiedlicher Verlauf festzustellen. Im Allgemeinen führt der Anbau von Leguminosen zu den höchsten N-Salden, die dann im Verlauf der nachfolgenden Jahre langsam geringer werden.

Bleibt sämtlicher Aufwuchs auf dem Feld, wie bei der viehlosen Bewirtschaftung üblich, konnten durchaus hohe positive Salden bis 246 kg N/ha erzielt werden. Im Durchschnitt von drei vollen Fruchtfolgedurchgängen waren es 170 kg N/ha und Jahr (Abb. 44, unten). Hierzu muss aber gesagt werden, dass mit 2-jährigem Rotklee und Ackerbohne ein sehr hoher Leguminosenanteil in Fruchtfolge II realisiert wurde, wodurch in gewisser Weise schon eine Luxusversorgung erreicht worden ist. Der in der Fruchtfolge nachfolgende Winterweizen verursachte bei viehloser Bewirtschaftung im Allgemeinen einen stark negativen Saldo von rund -70 kg N/ha, teils auch bis -120 kg N/ha.

Wird das Klee gras hingegen geerntet und vom Feld abgefahren, waren es lediglich rund 50 – 60 kg N/ha, die nach 2-jährigem Klee grasanbau als Saldo verblieben (Abb. 44, oben). Bei Viehhaltung konnte die Stickstoffzehrung des Weizens durch Stallmistdüngung zu Kartoffeln und vor allem durch regelmäßige Güllegaben zu Winterweizen nahezu ausgeglichen werden. Der Wirtschaftsdüngereinsatz führte in dieser Fruchtfolge insgesamt zu einer Nivellierung der N-Salden über den Verlauf der gesamten Fruchtfolge.

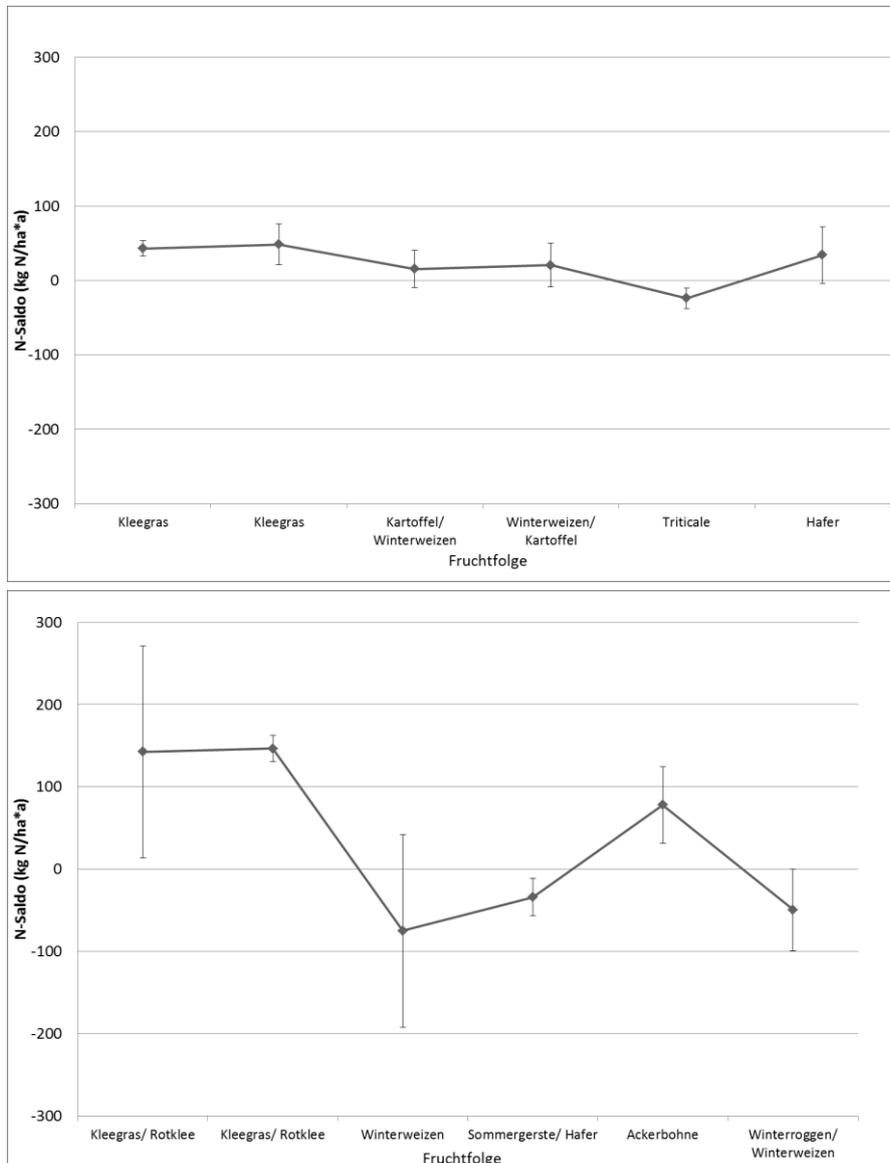


Abbildung 44: Entwicklung der N-Schlagsalden im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei viehhaltender (oben) und viehloser (unten) Bewirtschaftung (Fehlerbalken = Standardabweichung von n = 9 viehhaltende bzw. n = 3 viehlose Wiederholungen)

Nettomineralisierung

Vergleicht man die Salden der jährlichen N-Bilanz mit den Salden der N_{\min} -Gehalte des Bodens im Frühjahr und Herbst, erhält man den Beitrag der Mineralisierung der organischen Substanz des Bodens zur Stickstoffernährung der Kulturen (siehe Kap. 5). Die auf diesem Wege berechnete Mineralisierung war unter Kleegras-Anbau aufgrund der lang anhaltenden intensiven Bodenbedeckung und hohen Zufuhr leicht umsetzbarer organischer Substanz im Allgemeinen am höchsten und erreichte hier durchaus bis zu 70 kg N/ha und Jahr (Abb. 45 u. Abb. 46).

Die hohe Mineralisierungsleistung des Kleegrasanbaus setzte sich in beiden Fruchtfolgen bis in das nächste Fruchtfolgeglied, dem Winterweizen oder der Kartoffeln, fort und kam diesen Kulturen unmittelbar zugute. Unter dem später folgenden Sommergetreide und auch unter Ackerbohne blieb die Nettomineralisierung hingegen meistens sehr gering, was mit der kurzen Vegetationszeit und der geringen Bodenbedeckung zu begründen ist. Vielfach errechneten sich sogar negative Mineralisierungsraten, die auf eine vorübergehende Festlegung des Stickstoffs in der organischen Substanz hindeuten. Über die gesamte Fruchtfolge wurde bei Viehhaltung im Durchschnitt von neun vollen Fruchtfolgedurchgängen eine jährliche Nettomineralisierung von

3 kg N/ha und bei viehloser Bewirtschaftung im Mittel von drei Durchgängen von 26 kg N/ha und Jahr berechnet.

In Abbildung 45 ist der Verlauf der Nettomineralisation im Zeitablauf dargestellt, wobei hier nicht vollständige Fruchtfolgedurchläufe sondern lediglich die Anbaujahre nach dem jeweils ersten (aufbauenden) Leguminosenglied der Fruchtfolge zugrunde gelegt wurden. In beiden Fruchtfolgevarianten steigt die Nettomineralisierung in den auf den ersten Leguminosenanbau folgenden zwei Jahren an, wobei dieser Anstieg bei Viehhaltung, trotz Abfuhr des gesamten Aufwuchses, etwas stärker ausgeprägt ist als bei viehloser Bewirtschaftung. Die höchsten Mineralisierungsraten kommen jeweils den Fruchtarten, die auf die Leguminosen folgen direkt zugute. In den Beispielfruchtfolgen sind das Winterweizen bzw. Kartoffeln.

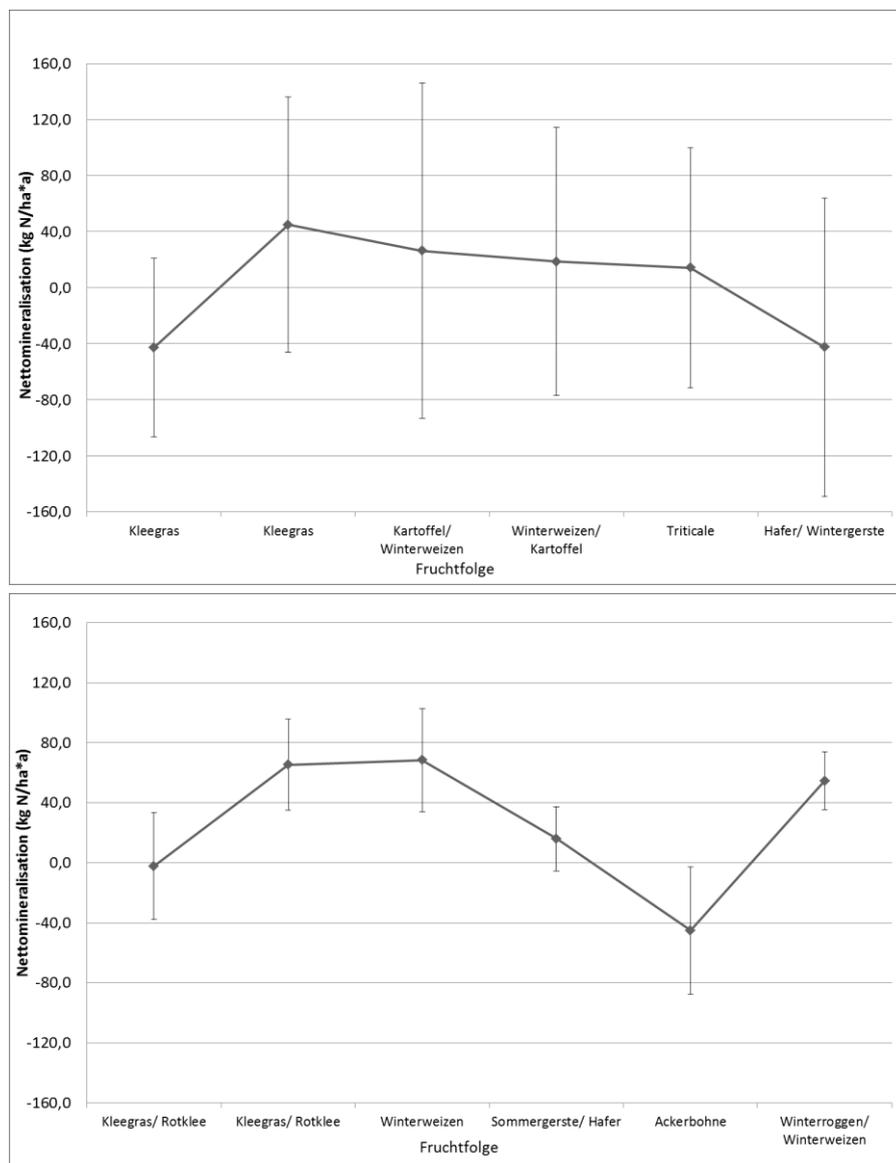


Abbildung 45: Entwicklung der Nettomineralisation im Verlauf eines Fruchtfolgedurchganges bei viehhaltender (oben) und viehloser (unten) Bewirtschaftung (Fehlerbalken = Standardabweichung von n = 7 viehhaltende bzw. n = 3 viehlose Wiederholungen)

Der über den Leguminosenanbau gebundene Stickstoff steht den Folgefrüchten über eine intensive Mineralisierung somit unmittelbar zur Verfügung. Im vierten und fünften Jahr der Rotation verharrt die Nettomineralisation in der viehhaltenden Fruchtfolge auf annähernd konstantem Niveau zwischen 20 kg und 40 kg N/ha und Jahr, um dann im 6. Jahr wieder auf negative Werte abzusinken. Ohne Viehhaltung sinken die Mineralisati-

onsraten bereits zwischen dem 3. und 5. Jahr der Fruchtfolge ab. Der hier zwischengeschaltete Anbau einer weiteren Leguminose als Verkaufsfrucht im 5. Jahr der Rotation lässt die Mineralisationsraten zum Ende der Fruchtfolge dann wieder stark ansteigen (Abb. 46).

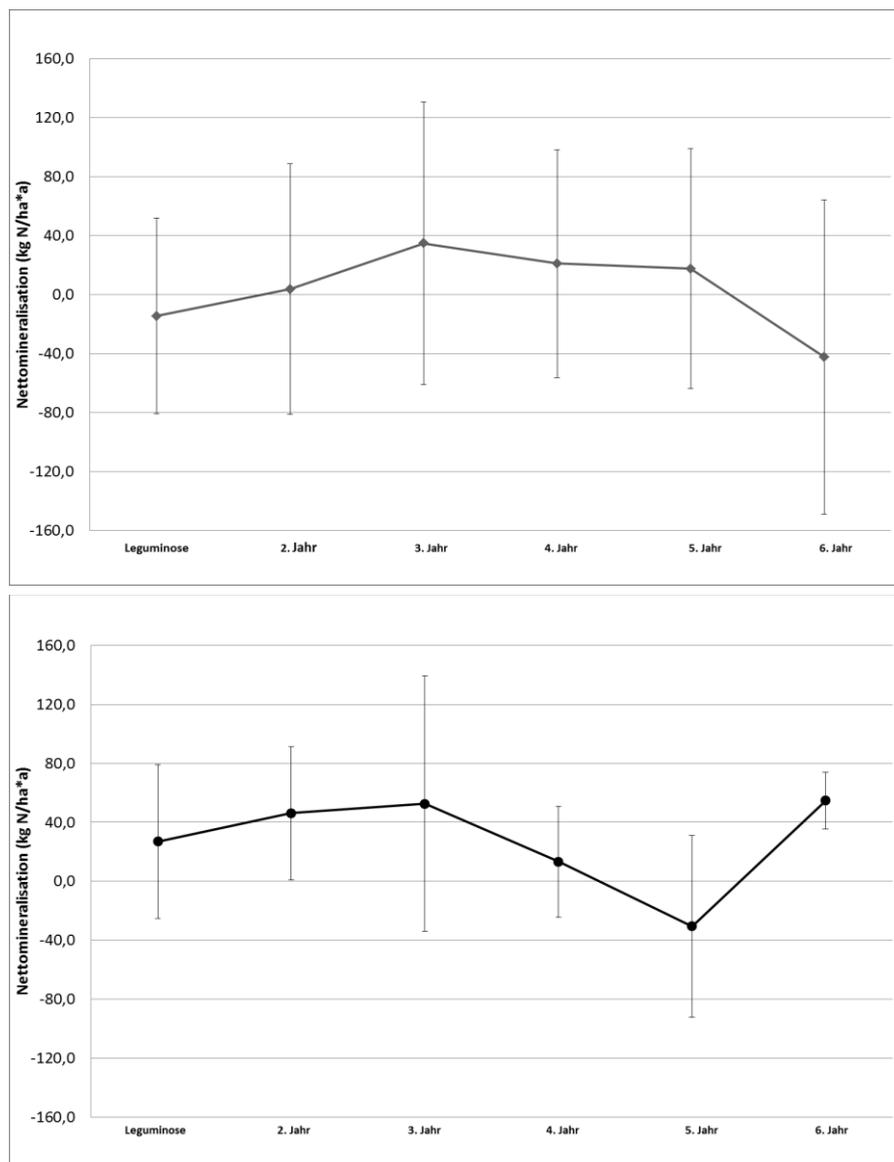


Abbildung 46: Entwicklung der Nettomineralisation nach dem ersten Leguminosenanbau in der Fruchtfolge bei viehhaltender (oben) und viehloser (unten) Bewirtschaftung (Fehlerbalken = Standardabweichung)

8.2.2 Stickstoffsalden in Bezug zu den Ackerflächen

Bezogen auf einzelne Jahre sind für beide Fruchtfolgevarianten hohe Schwankungen der N-Bilanz von mehr als 200 kg N/ha zwischen zwei aufeinander folgenden Jahren auf dem gleichen Schlag bzw. im gleichen Jahr zwischen den Schlägen berechnet worden (Abb. 47). In der Tendenz war im Durchschnitt aller Schläge für beide Fruchtfolgevarianten ein leichter Anstieg der N-Salden über die Zeit zu erkennen.

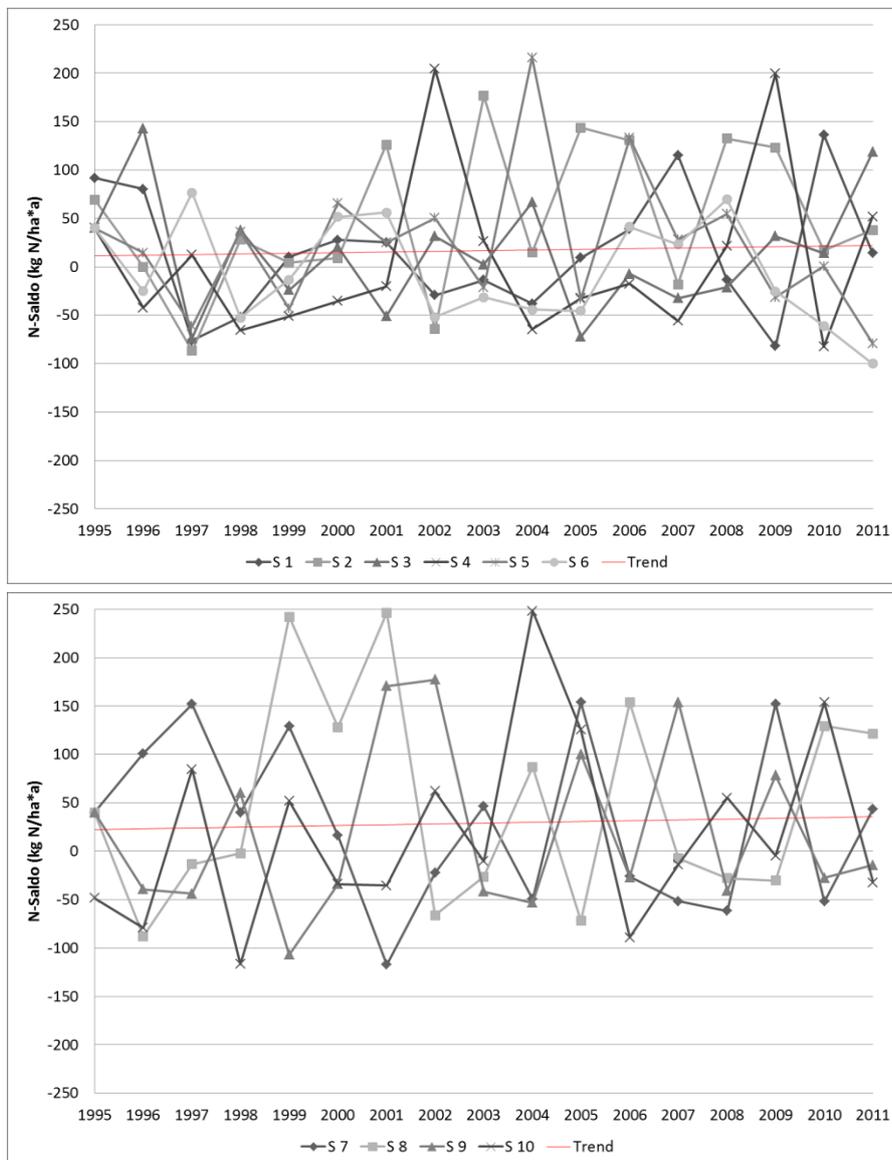


Abbildung 47: Jährliche N-Schlagsalden für die viehhaltende (S1 – S6) und die viehlose Fruchtfolge (S7 – S10)

Das Programm BEFU ermöglicht die Berechnung von Nährstoffbilanzen auf Schlagebene, ohne kosten- und zeitaufwendige Messungen der Nährstoffeinträge über Wirtschaftsdünger und den Leguminosenanbau bzw. den Nährstoffzug über die Haupt- und Nebenprodukte. Stattdessen greift das Programm auf Mittelwerte einer Vielzahl von Feld- und Laboruntersuchungen zurück, die dem Programm in Tabellenwerken hinterlegt sind.

Um die Verlässlichkeit des Programms zu prüfen, wurden Nährstoffbilanzen für die Hauptnährstoffe NPKMg auch mit dem ÖKO-BEFU für jeden Schlag und jedes Versuchsjahr berechnet. Dabei zeigte sich im Durchschnitt vieler Untersuchungen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den mit dem Programm BEFU berechneten N-Salden (Abb. 48, $r = 0,786^{***}$). Für einzelne Jahre und Schläge waren jedoch durchaus Abweichungen von mehr als 100 kg N/ha und Jahr zu erkennen. Es bleibt festzuhalten, dass einzelne Berechnungen auch stark von den gemessenen Werten abweichen können. Bei Zugrundelegung von vielen Berechnungen werden die Bedingungen in der Realität jedoch mit hoher Sicherheit und Genauigkeit mit dem Programm BEFU abgebildet.

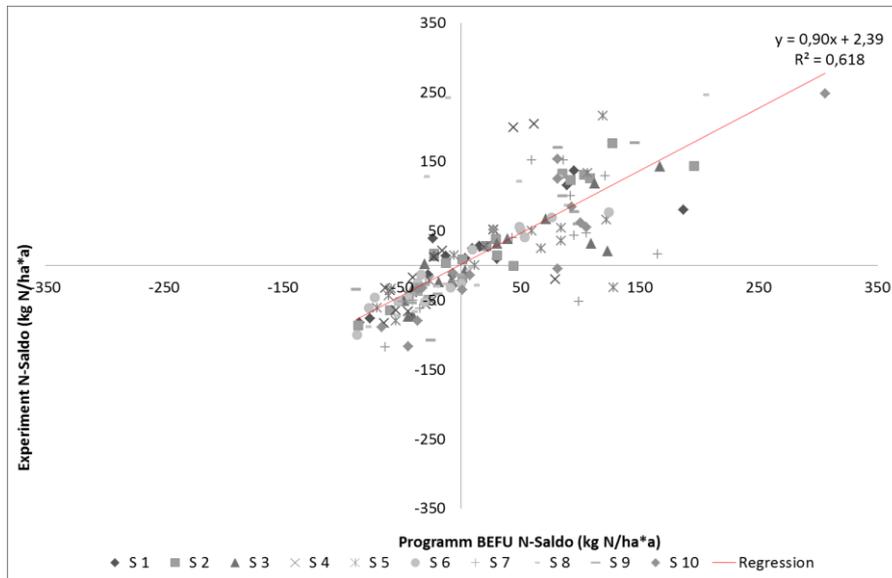


Abbildung 48: Vergleich zwischen gemessenen und mit dem Programm BEFU errechneten N-Schlag-salden

Zur Quantifizierung der legumen N-Bindung ist in diesem Zusammenhang auch der tatsächliche Ertragsanteil der Leguminosen, beispielsweise im Heu von Klee-Gras-Ansaaten zu ermitteln. Mangels ausreichender Datengrundlage wurde bei den vorliegenden Kalkulationen mit einem konstanten Klee/Gras-Verhältnis von 50/50 entsprechend dem Mischungsverhältnis der Ansaat gerechnet. Tatsächlich kann der Leguminosenanteil am Gesamtertrag je nach den spezifischen Entwicklungsbedingungen aber von Jahr zu Jahr und von Schlag zu Schlag stark schwanken. Stichprobenhafte Auszählungen ergaben höhere Anteile an Leguminosen als 50 % an einer Klee-Gras-Ernte. Stehen keine eigenen Daten zur Verfügung, können die Datengrundlagen des ÖKO-BEFU auch zur N-Bindung der Leguminosen eine gute Orientierung für die Bilanzierung geben.

Um den Einfluss der konkreten Bewirtschaftung auf jedem der 10 Ackerschläge aufzeigen zu können, müssen die Ergebnisse der Bilanzierung flächengenau ausgewiesen werden. Durch diese Vorgehensweise kann dann der Versuch unternommen werden, zwischen den Ergebnissen der Bilanzierung auf der Fläche und den durch die Bewirtschaftung bewirkten Veränderungen im Boden eine Beziehung herzustellen (siehe Kap. 6), was als wichtiges Element des betrieblichen Nährstoffmanagements anzusehen ist. Hierzu wurden zunächst die einzelnen Komponenten der Schlagbrutto-Bilanzierung sowie der Bilanzierung inklusive der N_t -Bodenänderung (siehe Kap. 6.1) als Durchschnittswerte über die gesamte Bewirtschaftungszeit für jeden einzelnen Ackerschlag ausgewiesen (siehe Anlage 8 im Anhang).

Die N-Zufuhren über die organischen Düngemittel bewegen sich auf den viehrefleichen Flächen zwischen 23 kg und 68 kg N/ha und Jahr. Die Flächen 1 – 3 wiesen mit 46 kg um 16 kg N/ha höhere Zufuhren auf als die Flächen 4 – 6. Im Durchschnitt erhielten die viehrefleichen Flächen eine Zufuhr von 38 kg N/ha, was etwas mehr als einer halben Großvieheinheit entspricht.

Auch bei der Zufuhr über die legume N-Bindung bestehen deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Ackerschlägen (Abb. 49). Die Flächen 1 – 3 der viehrefleichen Fruchtfolge sowie die Flächen der viehrefleichen Folge lagen mit 54 kg bzw. 53 kg N/ha und Jahr auf gleichem Niveau. Besonders die viehrefleichen Flächen 5 und 6 wiesen ein besonders intensives Wachstum der Leguminosenbestände auf und es wurden mit 65 kg N/ha die höchsten Werte des Ökofeldes erreicht. Auf den viehrefleichen Flächen wurden die Aufwüchse der Futterleguminosen durch Mulchen auf den Flächen belassen. Hierdurch waren die N-Bindungsmengen um über 15 % verringert worden.

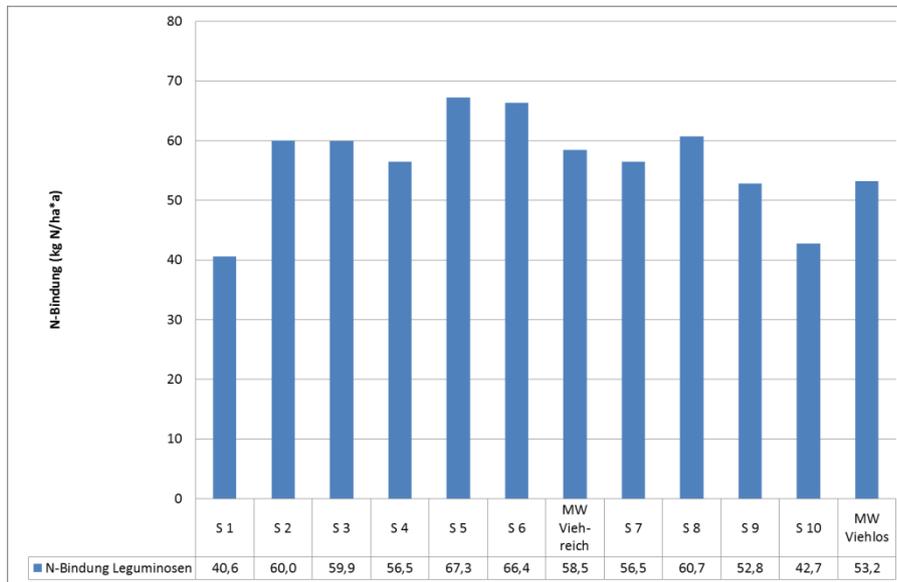


Abbildung 49: Mittelwerte der legumene N-Bindung der Ackerschläge der viehreichen (S1 – S6) und viehlosen (S7 – S10) Bewirtschaftung (MW = Mittelwert)

Die Gesamtzufuhr an Stickstoff (inklusive N-Deposition und weitere Einträge, siehe Anlage 8 im Anhang bzw. der N_f -Differenzen des Bodens, siehe Kap. 6.1) liegen zwischen 83 kg N auf der viehlosen Fläche 10 und 246 kg N/ha und Jahr auf der viehreichen Ackerfläche 3 (Abb. 50). Auf einigen Schlägen ergeben sich deutliche Unterschiede in der Höhe der Gesamtzufuhren durch die Addition der gemessenen N_f -Differenzen des Bodens, indem die Zufuhren weiter ansteigen.

Obwohl die Humusmengen auf fast allen Flächen angestiegen sind, haben die N_f -Mengen im Boden durch entsprechende Mineralisation beim Humusumsatz abgenommen, wodurch z. T. nicht unerhebliche N-Mengen jedes Jahr frei geworden sind (siehe Abb. 8, Kap 6.1). Aus dem Humusumsatz mineralisierte N-Mengen (in Abb. 8: negative Werte) werden bei der Bilanzierung als Zufuhren angerechnet (und anders herum bei positiven Werten). Das traf besonders wiederum auf die Schläge 1 – 3 zu, deren Gesamtzufuhren um durchschnittlich 68 kg N/ha und Jahr durch die freigesetzte Stickstoff-Menge aus dem Humus angestiegen sind. Die mittlere Zufuhrhöhe an Stickstoff belief sich daher auf den viehreichen Flächen auf 136 kg und inklusive N_f -Bodendifferenz sogar auf 175 kg N/ha, während auf den viehlosen Ackerschlägen lediglich Zufuhren von 94 kg bzw. 112 kg N/ha und Jahr entstanden sind (Abb. 50).

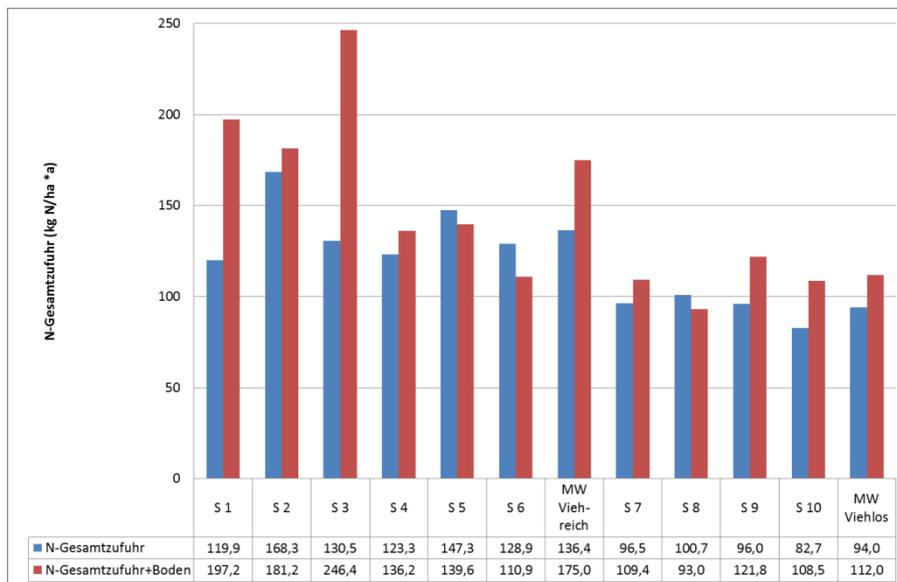


Abbildung 50: Gesamt-N-Zufuhren (mit und ohne N_f -Bodendifferenzen) der viehreichen (S1 – S6) sowie der viehlosen (S7 – S10) Flächen (MW = Mittelwert)

In der Bilanzierung werden die Abfuhren von der Gesamtzufuhr abgezogen. Auch die mit den Ernten jedes Jahr abgeführten N-Mengen schwankten besonders zwischen den viehlosen Flächen, auf denen lediglich Abfuhren um 65 kg N/ha berechnet worden sind, und den viehreichen Ackerschlägen, auf denen Abfuhren um 120 kg N/ha und Jahr entstanden sind (Abb. 51). Die Flächen 1 – 3 zeigten hiernach durch entsprechend niedrigere Erträge an Ernteprodukten um über 10 kg geringere N-Abfuhren auf als die Flächen 4 – 6 der viehreichen Fruchtfolge, die die höchsten Abfuhren auf dem Ökofeld aufwiesen.

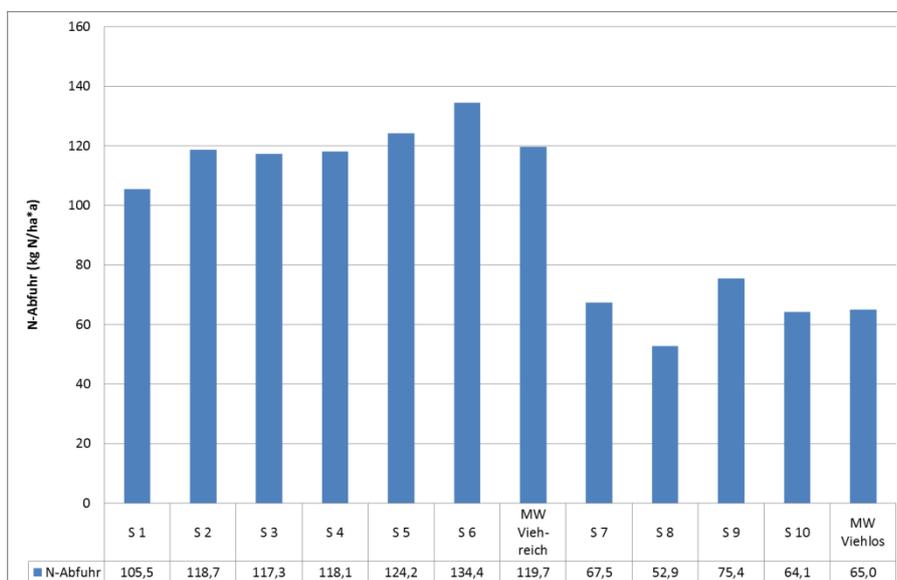


Abbildung 51: Berechnete durchschnittliche N-Abfuhren mit den Ernten auf den viehreichen (S1 – S6) und viehlosen (S7 – S10) Flächen (MW = Mittelwert)

Zum besseren Vergleich können, ähnlich wie bei der Humusbilanzierung, auch die einzelnen Komponenten der N-Bilanzen in absoluten und relativen Werten aufgeführt werden (Abb. 52). Von den gesamten Komponenten machen die N-Abfuhren im Durchschnitt der viehlosen Fruchtfolge etwas mehr als 35 % und auf der viehreichen Fruchtfolge etwas über 40 % aus. Es bestehen deutliche Unterschiede in den Nährstoffentzügen

durch die stark unterschiedlichen Ertragsniveaus. Besonders die Flächen S 1 bis S 3 fallen durch geringe Entzüge auf, die auf dem Niveau der viehlosen Flächen liegen.

Deutliche Unterschiede sind auch in der Freisetzung an N_i aus dem Bodenfonds zu erkennen (Boden +), während eine Festlegung an Stickstoff im Humus nur in geringem Umfang auf einigen Flächen stattgefunden hat (Boden -). Der Umfang an mineralisiertem Boden-Stickstoff beträgt in der viehlosen Variante ca. 10 % und in den viehreichen Varianten ca. 12 % im Vergleich zu den gesamten Komponenten. Der Anteil organischer Dünger liegt nur unwesentlich über dem Wert des Boden-Stickstoffs.

Eine größere Bedeutung kommt in beiden Systemen der N-Zufuhr über die Leguminosen zu, deren Anteile in den viehreichen Varianten um 20 % betragen und in den viehlosen Varianten auf ca. 30 % geschätzt werden kann. Zu bedenken ist ebenfalls, dass heute immer noch eine nicht unbedeutende relative Zufuhr an N-Deposition zur Gesamtzufuhr beiträgt, die in den viehlosen Systemen etwas mehr als 15 % und zusammen mit der geschätzten asymbiotischen N-Bindung auch Werte von über 20 % einnehmen kann (Abb. 52).

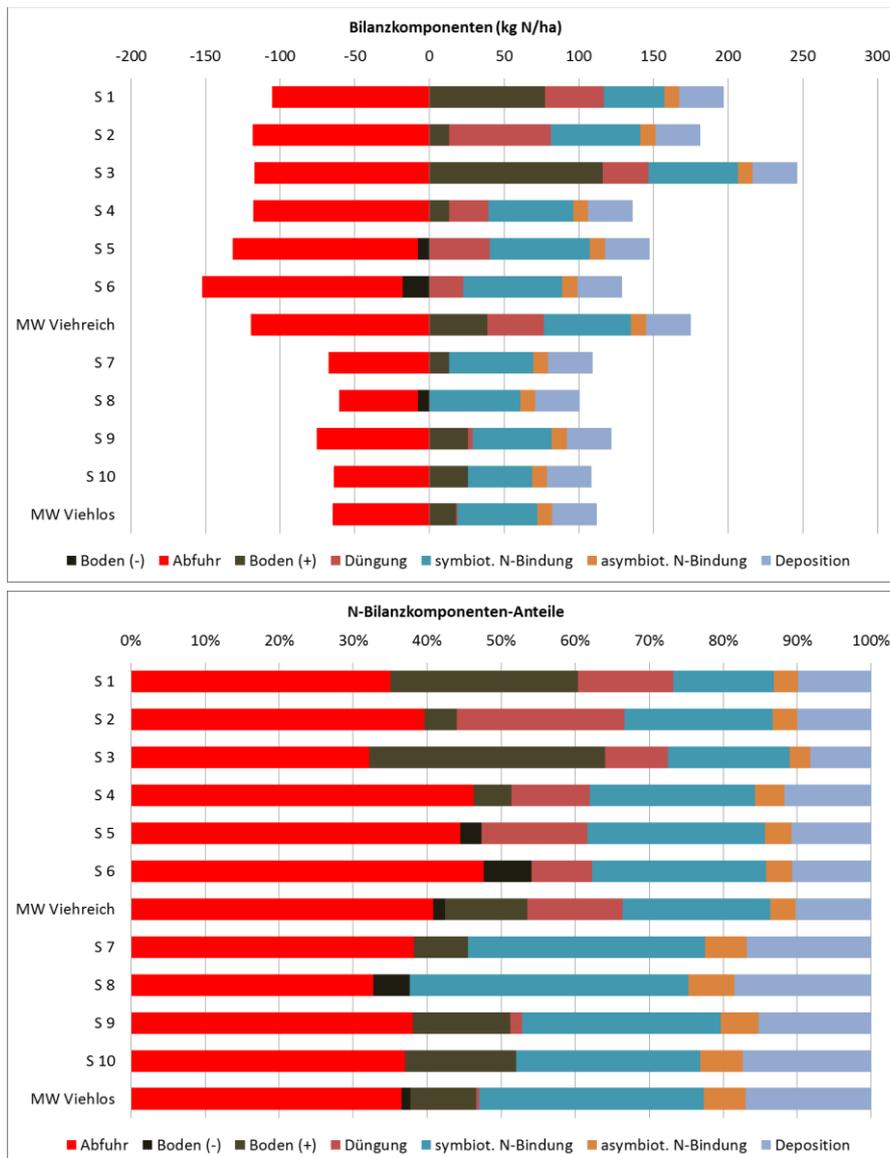


Abbildung 52: Absolute und relative Bedeutung der Komponenten der N-Bruttobilanzierung (inkl. N_i -Boden) auf den viehreichen (S1 – S6) und viehlosen (S7 – S10) Flächen des Ökofeldes (MW = Mittelwert)

Die resultierenden Nährstoffsalden und die abgebildeten Werte der N-Effizienzen, die auf die Gesamtzufuhren an Stickstoff (= 100 %) bezogen sind, können der Abbildung 53 entnommen werden. Obwohl auf den viehreichen Flächen eine relativ einheitliche Bewirtschaftung abgelaufen ist, gibt es doch verhältnismäßig große Unterschiede zwischen den einzelnen Ackerschlägen. Auf den landwirtschaftlich ungünstigeren Flächen 1 – 3 wurden insbesondere inklusive der N_t-Bodendifferenzen deutlich höhere N-Salden erzielt als auf den günstigeren Nutzflächen 4 – 6, die durch relativ ausgeglichene N-Salden gekennzeichnet sind.

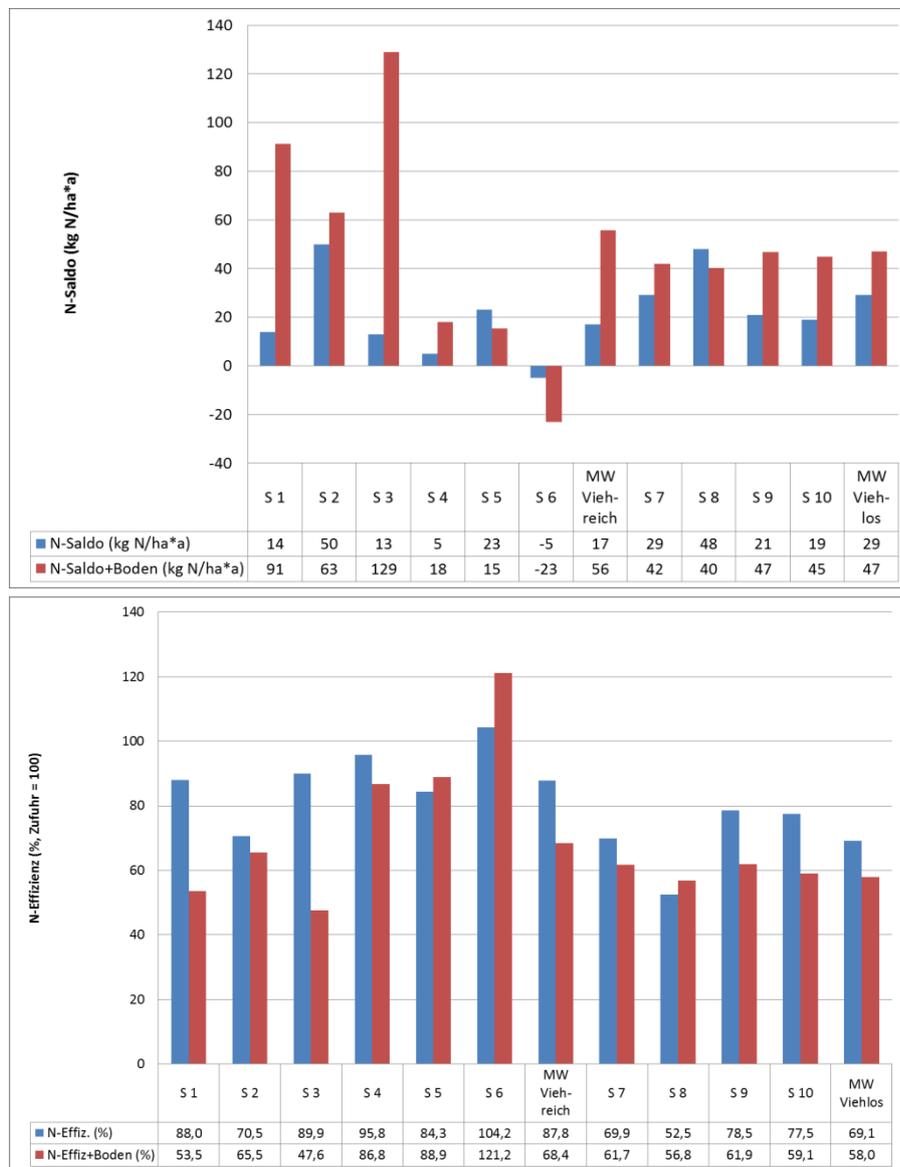


Abbildung 53: N-Bruttosalden (oben) und die berechneten N-Effizienzen (unten) der Schlagbilanzen (mit und ohne N_t-Bodendifferenzen) auf den viehreichen (S1 – S6) und viehlosen (S7 – S10) Flächen des Ökofeldes (MW = Mittelwert)

Auf diesen Flächen wurden N-Effizienzen mit z. T. über 100 % berechnet. Hierbei sind also noch weitere Zufuhren, z. B. aus dem Untergrund des Bodens anzurechnen (siehe Tiefenprofile). Auch die Flächen 4 und 5 sind mit 84 % und 96 % durch sehr hohe und günstige N-Effizienzen zu kennzeichnen. Dagegen wurden für die Flächen 1 – 3 je nach Bemessungsgrundlage mittlere Effizienzwerte zwischen 56 % und 83 % berechnet. Sie weisen somit teilweise noch niedrigere N-Effizienzen auf als die der viehlosen Fruchtfolge. Die auf Grundlage der Schlagbilanzen (brutto) berechneten N-Effizienzen liegen bei 69 % und unter Berücksichtigung der N_t-Bodendifferenzen sind Werte von durchschnittlich 58 % erzielt worden. Die ausgewiesenen Werte der N-

Salden der viehlosen Fruchtfolgen sind als durchschnittlich zu bezeichnen, während deren N-Effizienzen auf eher ungünstige Produktionsbedingungen hinweisen.

Den Zusammenhang zwischen den N-Schlagsalden und den N-Effizienzen (mit und ohne N_t -Bodenbilanzen) der Bewirtschaftungsflächen zeigt abschließend die Abbildung 54. Entsprechend den Vorgaben zum Umweltschutz und für Produktionsbedingungen zur Erzielung eines optimalen Ertragsniveaus sind N-Schlagsalden zwischen ungefähr 0 kg und 50 kg N/ha als günstig zu bezeichnen (siehe KOLBE, 2000, 2012). Im Bereich dieser N-Salden werden N-Effizienzen (inklusive N_t -Bodenbilanz) von ca. 65 – 100 % erreicht.

Bei sehr hohen Werten von (deutlich) über 100 % in der N-Effizienz werden durch das Anbausystem noch weitere N-Quellen erschlossen. In der Regel wird dann der Stickstoff, abgesehen von kalkulatorischen Fehlern, aus dem Untergrund entnommen. Bei extensiveren Anbausystemen des Ackerbaus von weniger als 150 kg N-Gesamtzufuhr, tragen diese Quellen zusehends zur N-Versorgung der Pflanzen bei. Bei Werten von (deutlich) unter 70 % N-Effizienz gelangt in der Regel ein immer größer werdender Anteil an reaktionsfähigem Stickstoff in die Umwelt und kann somit über Verlagerung und Auswaschung oder gasförmig als N-Verlustgröße angesehen werden.

Auf dem Ökofeld in Roda halten sich nach diesen Ergebnissen die als günstig und ungünstig zu bezeichnenden Ackerschläge in etwa die Waage. Viele der viehreichen, aber auch einige der viehlosen Flächen weisen günstige Wertebereiche auf. Besonders unter Anrechnung der N_t -Bodendifferenzen sind aber die meisten viehlosen Ackerschläge sowie die Flächen 1 – 3 der viehreichen Fruchtfolge z. T. als Problembereiche auszuweisen (Abb. 54).

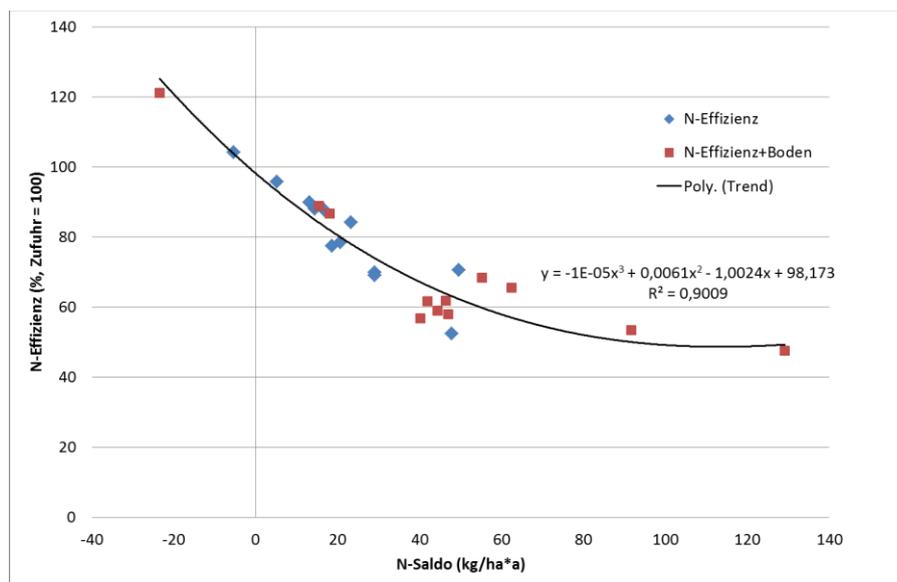


Abbildung 54: Zusammenhang zwischen den N-Schlagsalden und den N-Effizienzen (mit und ohne N_t -Bodendifferenzen) der Bewirtschaftungsflächen

8.3 Phosphat

8.3.1 P-Bilanz

Phosphor gelangte über die Düngung mit wirtschaftseigenen Düngemitteln (Stallmist, Gülle, Jauche) sowie die mineralische Düngung in Form von Dolophos und Thomasphosphat auf die Versuchsschläge (siehe Tab. 6 u. Tab. 8). Im Durchschnitt wurden auf den Schlägen 1 – 6 der viehhaltenden Fruchtfolge jährlich 18 kg P/ha gedüngt. Ohne Viehhaltung waren es 1 kg P/ha und Jahr. Lediglich Schlag 8 erhielt über die gesamte Laufzeit des Versuches keine P-Zufuhr über Wirtschafts- oder Mineraldünger (siehe Anlage 8 im Anhang).

Den Zufuhren standen durchschnittliche jährliche Phosphatentzüge von 17 kg P/ha bei Viehhaltung und von 15 kg P/ha und Jahr bei viehloser Bewirtschaftung gegenüber. Die P-Bilanz war in der viehhaltenden Fruchtfolge somit weitestgehend ausgeglichen, während in den viehlosen Varianten negative Salden zwischen -10 kg und -17 kg P/ha und Jahr verblieben. Diese negativen Salden spiegelten sich auch in den kontinuierlich sinkenden P-Gehalten des Bodens wider (siehe Abb. 18).

Im zeitlichen Verlauf der P-Salden wurden in der viehhaltenden Fruchtfolge erhebliche Ausschläge in Richtung hohe Werte sichtbar, die aus den einzelnen zugeordneten Düngungsmaßnahmen resultierten (Abb. 55). Tatsächlich wirkt die P-Düngung aber über wesentlich größere Zeiträume von mindestens einer Fruchtfolge, was zu einer entsprechenden Glättung der P-Salden, ähnlich dem Verlauf in der viehlosen Fruchtfolge, die keine P-Düngung erhielt, führt.

Der Vergleich der experimentell gemessenen mit den durch das Programm BEFU berechneten P-Bilanz lässt für die Vielzahl an erfassten Schlägen und Jahren eine gute Übereinstimmung erkennen (Abb. 56, $r = 0,669^{***}$). Für einzelne Schläge und Jahre werden jedoch auch erhebliche Abweichungen zwischen den Messungen und Schätzungen deutlich. Daher gilt auch für diesen Nährstoff die Empfehlung, zur Optimierung des Nährstoffmanagements soweit wie möglich auf eigene, schlag-, betriebs-, und jahresspezifische Daten zurück zu greifen.

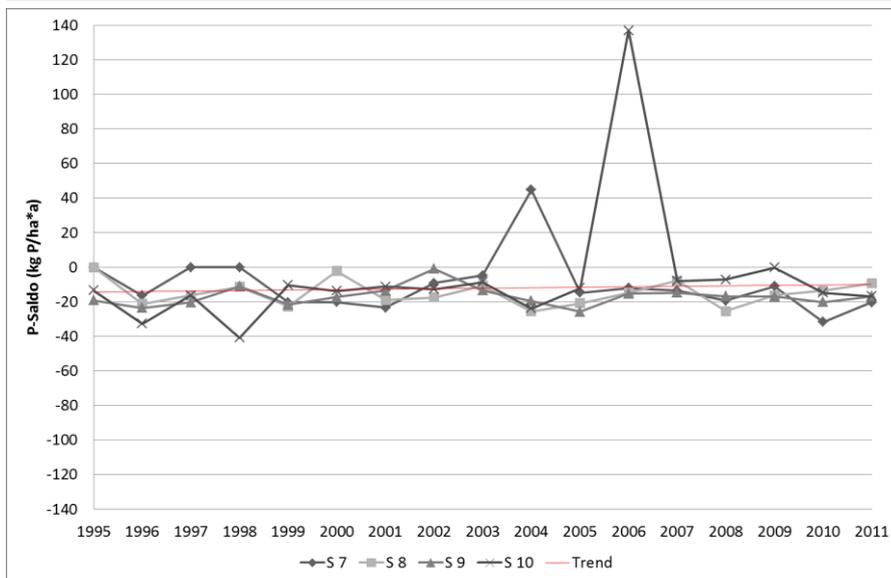
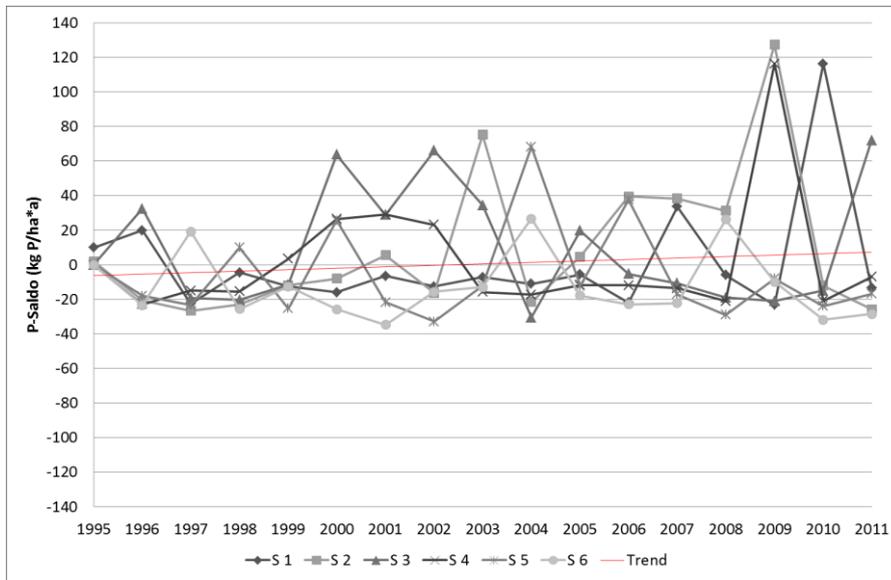


Abbildung 55: Jährliche P-Schlagsalden für die viehhaltende (S1 – S6) und die viehlose Fruchtfolge (S7 – S10)

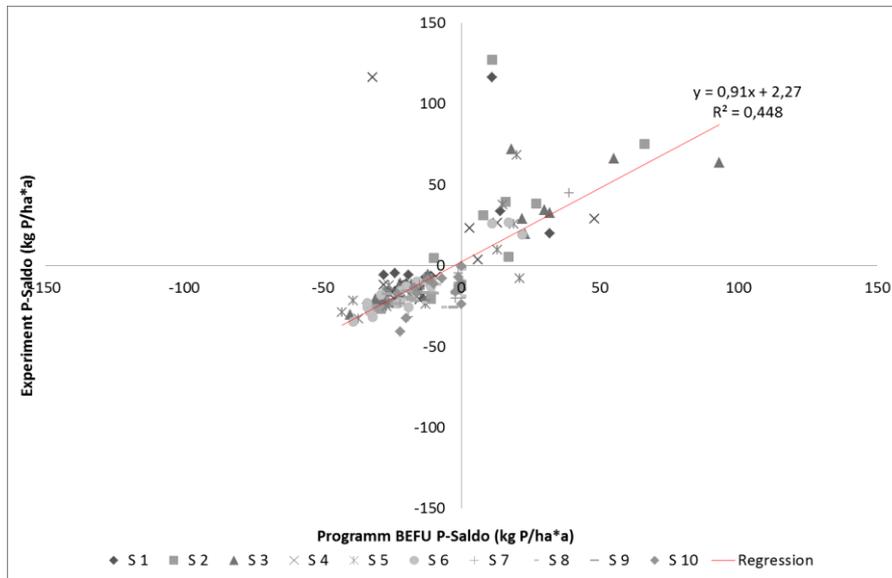


Abbildung 56: Vergleich zwischen den gemessenen und mit dem Programm BEFU berechneten P-Salden der Untersuchungsflächen

Zwischen der ermittelten Bodenänderung an löslichem Phosphat zwischen Anfang und Ende der Untersuchungsperiode (siehe Kap. 6.3) und den auf den Flächen ermittelten P-Salden bestehen für die untersuchten Ackerschläge charakteristische Beziehungen (Abb. 57, $r = 0,887^{***}$). Ähnlich anderen Auswertungen von Dauerfeldversuchen (KOLBE & KÖHLER, 2008) wird auch in diesen Testflächen eine Mobilisierung oder Deposition von ca. 3 kg P/ha und Jahr festgestellt, denn die Null-Linie der P-Bodenänderung wird von der Regressionsgeraden in diesem Bereich überschritten (-3,4 kg P/ha u. J.).

Positive Salden aus organischen und mineralischen P-Quellen führen dann in dem ausgewiesenen Umfang zu einem Anstieg der DL-löslichen P-Gehalte des Bodens. Zunehmend negative Salden bewirken eine genauso deutliche Abnahme der P-Bodengehalte. Zwischen den einzelnen ausgewiesenen Bewirtschaftungsformen gibt es keine abweichenden Reaktionen.

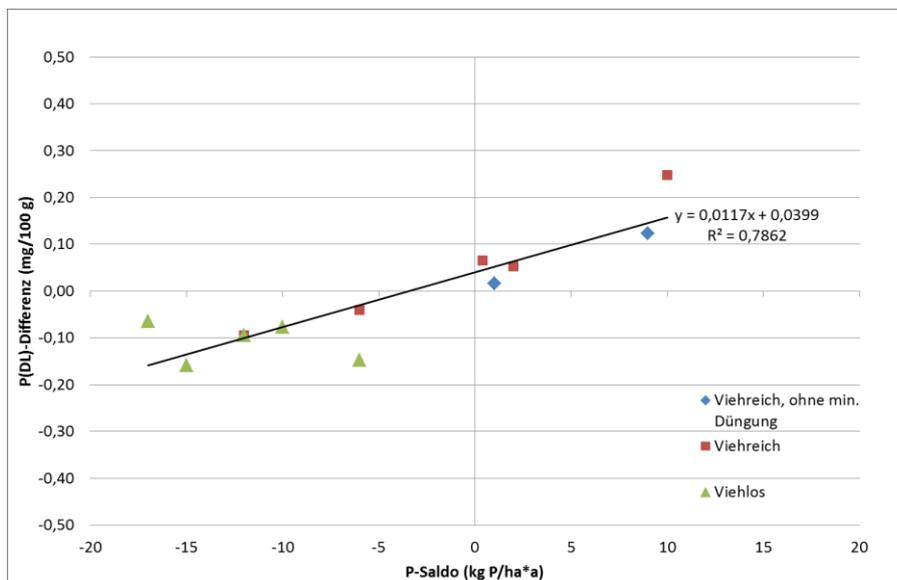


Abbildung 57: Beziehung zwischen der Bodenänderung an P (DL) und den P-Schlagsalden auf den viehreichen und viehlosen Ackerflächen

8.3.2 P-Düngungsempfehlung

Auf Grund der ca. 30 % geringeren Ertragsleistungen und Jahrzehnte langen Erfahrung aus der Praxis des ökologischen Landbaus kann im Allgemeinen die VDLUFA-Versorgungsstufe B des Bodens für die Grundnährstoffe P, K und Mg als ausreichend angesehen werden (KOLBE, 2010a). Auf diesem Niveau können sowohl Belange einer nachhaltigen Ertrags- und Qualitäts-Sicherung als auch ein hohes Maß an Umwelt- und Ressourcenschutz gewährleistet werden.

Mit dem Programm BEFU wurden Düngungsempfehlungen für die Hauptnährstoffe auf der Grundlage der gemessenen Nährstoffgehalte des Bodens (CAL-, DL-Methode) und der Erträge bzw. des zu erwartenden Nährstoff-Entzuges der Kulturen berechnet. Abbildung 58 zeigt, dass die BEFU-Empfehlungen zur P-Düngung im Mittel aller Schläge über die Versuchszeit langsam abgesunken sind, was wesentlich durch steigende P-Gehalte des Bodens, besonders in der viehhaltenden Fruchtfolge verursacht wurde (vergl. Abb. 18). Tatsächlich wurde besonders in den Anfangsjahren, als das Programm noch nicht zur Verfügung stand, erheblich von den Empfehlungen abgewichen und wesentlich weniger Phosphat gedüngt, als es nach den Ausgaben des ÖKO-BEFU erforderlich gewesen wäre. Über die Zeit glichen sich die BEFU-Düngeempfehlungen und die tatsächlichen Düngergaben immer mehr an.

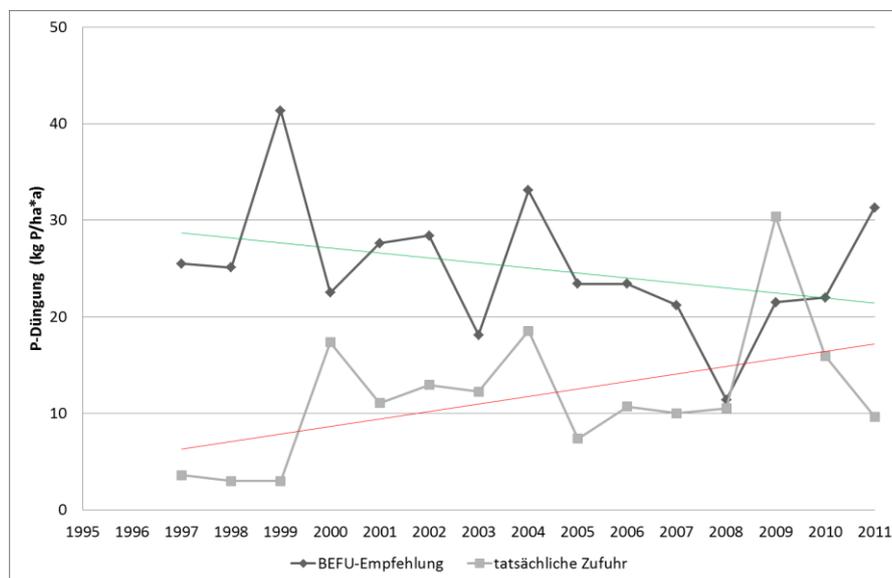


Abbildung 58: Vergleich zwischen der tatsächlich verabreichten P-Düngung und der BEFU-Empfehlung im jährlichen Durchschnitt aller Ackerschläge

8.4 Kalium

8.4.1 K-Bilanz

Kalium gelangte ebenfalls über Wirtschaftsdüngemittel sowie die mineralische Düngung auf die Versuchsschläge (siehe Tab. 6 u. Tab. 8). Im Durchschnitt wurden auf den Schlägen 1 – 6 der viehhaltenden Fruchtfolge jährlich 53 kg K/ha aus organischen und mineralischen Quellen gedüngt. Ohne Viehhaltung waren es jährlich lediglich 1,3 kg K/ha und Jahr. Die Schläge 7 und 8 erhielten über die gesamte Laufzeit der Untersuchungen keine K-Düngung (siehe Anlage 8 im Anhang).

Den Zufuhren über die Düngung standen durchschnittliche jährliche Kaliumentzüge von gut 95 kg K/ha bei Viehhaltung und 65 kg K/ha bei viehloser Bewirtschaftung gegenüber. Hohe K-Entzüge von mehr als 200 kg K/ha und Jahr wurden insbesondere für Kleeerasernten bestimmt. In der durchschnittlichen jährlichen Bilanz verblieb für beide Fruchtfolgevarianten somit ein negativer Saldo von 42 kg K/ha und Jahr bei Viehhaltung und sogar von 64 kg K/ha und Jahr bei viehloser Bewirtschaftung. Diese fortgesetzten z. T. stark negativen K-

Salden ließen jedoch die pflanzenverfügbaren (DL-löslichen) K-Gehalte des Bodens nur langsam absinken, ohne dass der Optimalbereich der Gehaltsklasse B unterschritten wurde (siehe Abb. 20).

Im zeitlichen Verlauf der K-Salden werden in der viehhaltenden Fruchtfolge, ähnlich wie beim Phosphor, erhebliche Ausschläge in Richtung hoher und niedriger Werte deutlich, die einerseits aus den einzelnen Düngungsmaßnahmen und andererseits aus der Abfuhr hoher Kalium-Mengen mit den Kleeerasernten resultierten (Abb. 59). Wurde auf K-Düngung verzichtet und sämtliche Nebenprodukte einschließlich des Aufwuchses der Leguminosenansaat auf den Schlägen belassen, so blieben die jährlichen K-Salden über die Zeit bei vergleichsweise konstanten Beträgen zwischen 0 kg und -100 kg K/ha und Jahr.

Wie bei den anderen Nährstoffen stimmt auch für Kalium die berechnete Nährstoffbilanz gemäß ÖKO-BEFU im Durchschnitt aller Schläge und Jahre gut mit den tatsächlichen Feld- und Labormessungen überein (Abb. 60, $r = 0,695^{***}$). Für einzelne Fälle werden aber auch für den Nährstoff Kalium erhebliche Abweichungen zwischen Messung und Schätzung deutlich, die 100 kg K/ha und Jahr erreichen können.

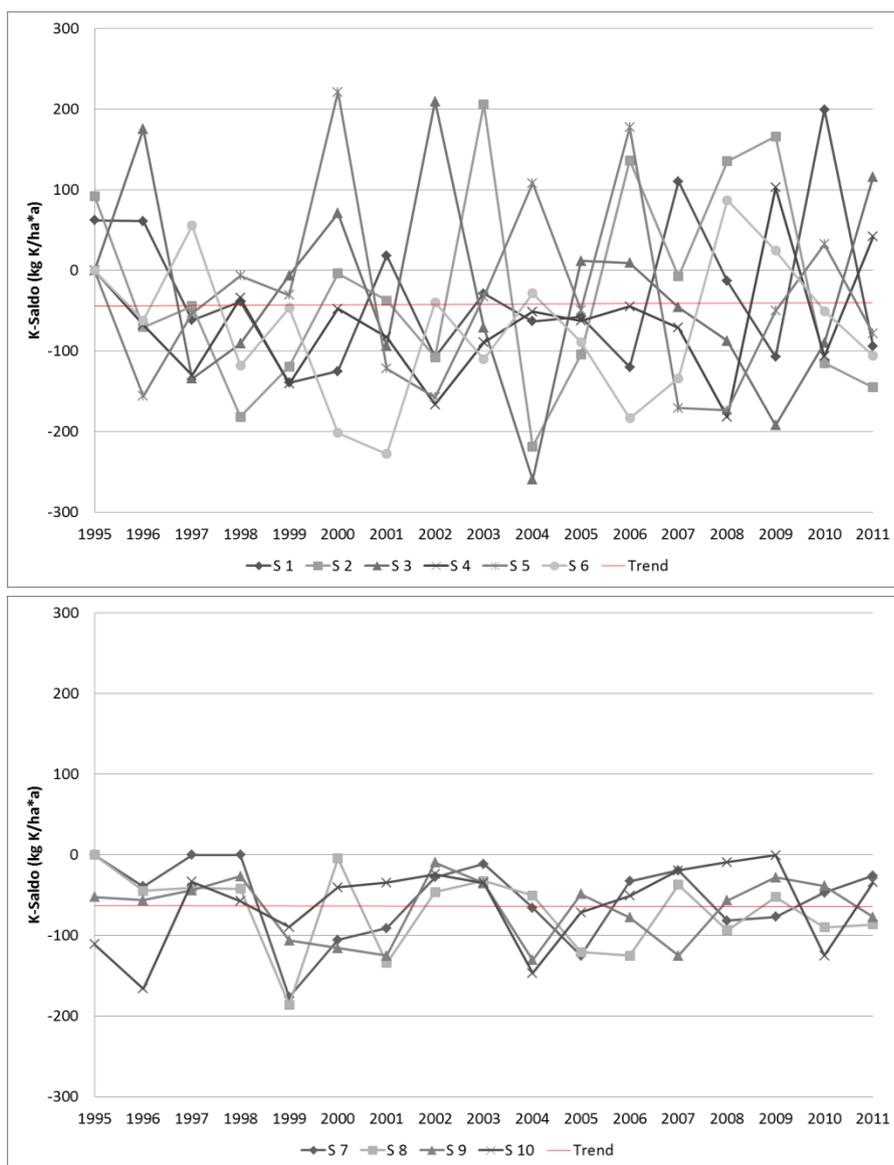


Abbildung 59: Jährliche K-Schlagsalden für die viehhaltende (S1 – S6) und die viehlose Fruchtfolge (S7 – S10)

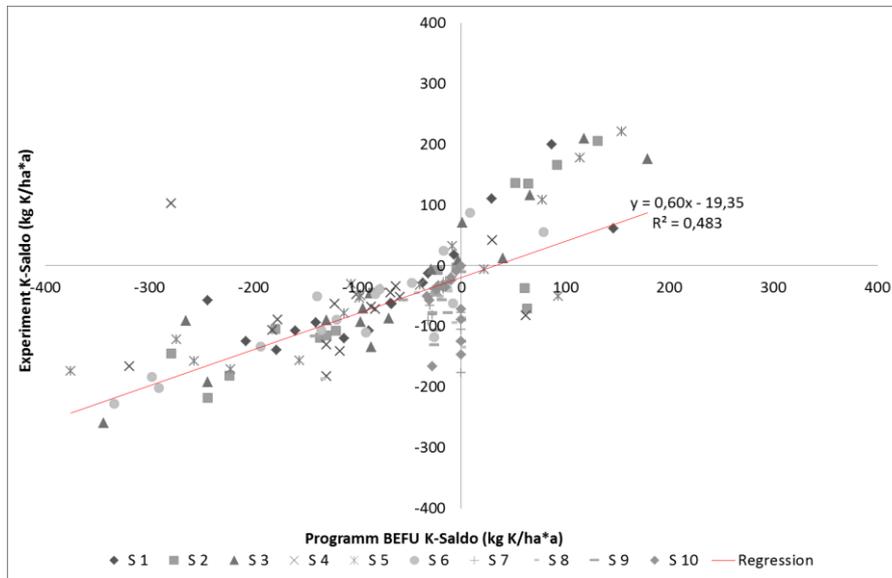


Abbildung 60: Vergleich zwischen gemessenen und mit dem Programm BEFU berechneten K-Salden der Untersuchungsflächen

Aus der Gegenüberstellung zwischen den gemessenen jährlichen Bodenänderungen an DL-löslichen K-Gehalten und den K-Schlagsalden ist erkennbar, warum die K-Gehalte des Bodens trotz deutlich negativer K-Salden nur in relativ geringem Umfang abgesunken sind (Abb. 61, $r = 0,312^{n.s.}$). Auf einigen Flächen sind keine Änderungen oder sogar leicht positive Veränderungen der K-Gehalte zu sehen. Insgesamt hat die Variationsbreite der aufgetretenen K-Salden aber nicht ausgereicht, um einen signifikanten Zusammenhang zu erkennen.

Aus der Abbildung 61 geht jedoch hervor, dass auf diesem Lössboden eine erhebliche K-Freisetzung und Nachlieferung auch aus dem Untergrund stattfindet (siehe Kap. 6.4: Tiefenprofil). Aus anderen Auswertungen von Dauerversuchen kann eine besonders hohe Nachlieferung auf Lehmboden ermittelt werden. Bei Unterstellung ähnlicher Steigungen ($b = 0,005$; KOLBE & KÖHLER, 2008) in den Regressionsgleichungen dieser Versuche können aus den hier präsentierten Ergebnissen Werte in der Nachlieferung zwischen 20 kg und 60 kg K/ha und Jahr fixiert werden.

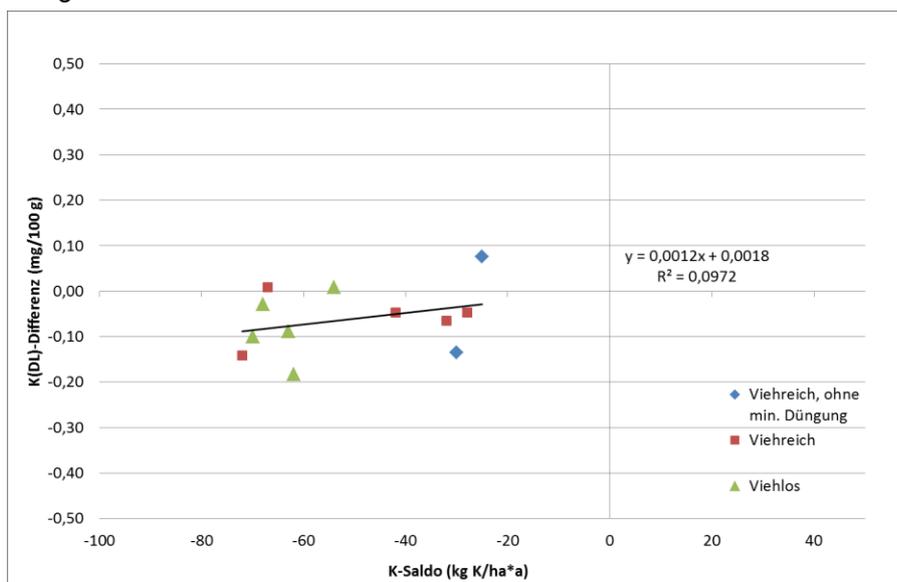


Abbildung 61: Beziehungen zwischen der Bodenänderung an K (DL) und der K-Schlagsalden der Bewirtschaftungsflächen

8.4.2 K-Düngungsempfehlung

Auch für den Nährstoff Kalium wurde ein Vergleich zwischen der tatsächlichen Düngung und den Empfehlungen des ÖKO-BEFU durchgeführt (Abb. 62). Im Durchschnitt über alle Jahre und Schläge hätten gemäß dem Programm BEFU mit leicht sinkender Tendenz jährlich rund 70 kg K/ha (Reinnährstoff) gedüngt werden sollen, um den Bodengehalt im mittleren Bereich der Gehaltsklasse B zu halten. Tatsächlich wurden, wie beim Phosphat, gerade in den Anfangsjahren erheblich geringere Mengen gegeben. Über die Zeit glichen sich K-Düngungsempfehlung und tatsächliche K-Düngung über organische und mineralische Quellen an.

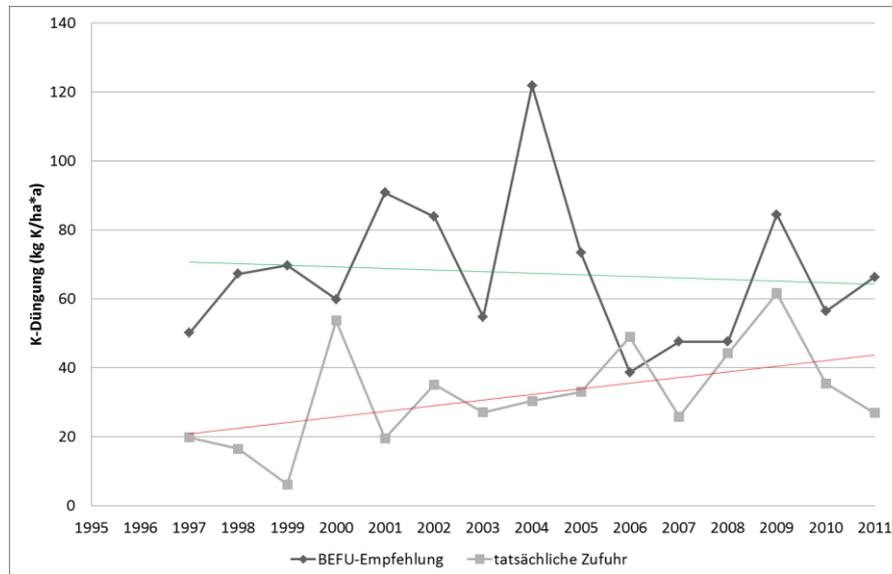


Abbildung 62: Vergleich der tatsächlich verabreichten K-Düngung und der BEFU-Empfehlung im jährlichen Durchschnitt aller Ackerschläge

8.5 Magnesium und Schwefel

8.5.1 Mg-Bilanz

Der Nährstoff Magnesium gelangte über Wirtschaftsdüngemittel sowie über die mineralische Düngung als Begleitnährstoff von Düngemitteln wie Dolophos und Patentkali auf die Ackerschläge (siehe Tab. 6 u. Tab. 8). Im Durchschnitt wurden auf den Schlägen 1 – 6 der viehhaltenden Fruchtfolge jährlich 12 kg Mg/ha eingetragen. Ohne Viehhaltung war es lediglich 1 kg Mg/ha und Jahr (siehe Anlage 8, Anhang).

Diesen Zufuhren standen in der viehhaltenden Fruchtfolge annähernd gleich hohe jährliche Magnesiumentzüge von 13 kg Mg/ha gegenüber, so dass hier über die gesamte Versuchszeit eine fast ausgeglichene Bilanz verblieb. Ohne Viehhaltung waren die jährlichen Entzüge mit 10 kg Mg/ha etwas geringer. Da auf diesen Schlägen weitestgehend auf Düngung verzichtet wurde, verblieb hier ein negativer Saldo von jährlich rund 9 kg Mg/ha und Jahr.

Ähnlich wie beim Phosphat und beim Kalium, zeigte auch der Verlauf der Magnesiumsalden über die Versuchszeit erhebliche Schwankungen infolge der Magnesiumzufuhr über die Düngung sowie der unterschiedlichen Mg-Entzugsraten der Kulturen (Abb. 63). Besonders starke Ausschläge in Richtung hohe Werte entstanden immer nach Stallmistgaben, wie im Jahr 2009 auf Schlag 2 oder 2010 auf Schlag 1. Deutliche Ausschläge in Richtung geringe Werte verursachte der Anbau von Klee gras zur Futternutzung.

Der Vergleich der gemessenen mit den durch das Programm BEFU berechneten Mg-Salden lässt im Mittel aller Schläge und Jahre ebenfalls eine gute Übereinstimmung erkennen (Abb. 64, $r = 0,752^{***}$). In einzelnen Fällen weichen die Berechnungen aber teils erheblich von den tatsächlichen Werten ab. Dies unterstreicht

nochmals die Bedeutung eigener, betriebs- und schlagspezifischer Aufzeichnungen zur Optimierung des Nährstoffmanagements. Für überschlägige Kalkulationen liefert das ÖKO-BEFU gleichwohl eine gute Datengrundlage.

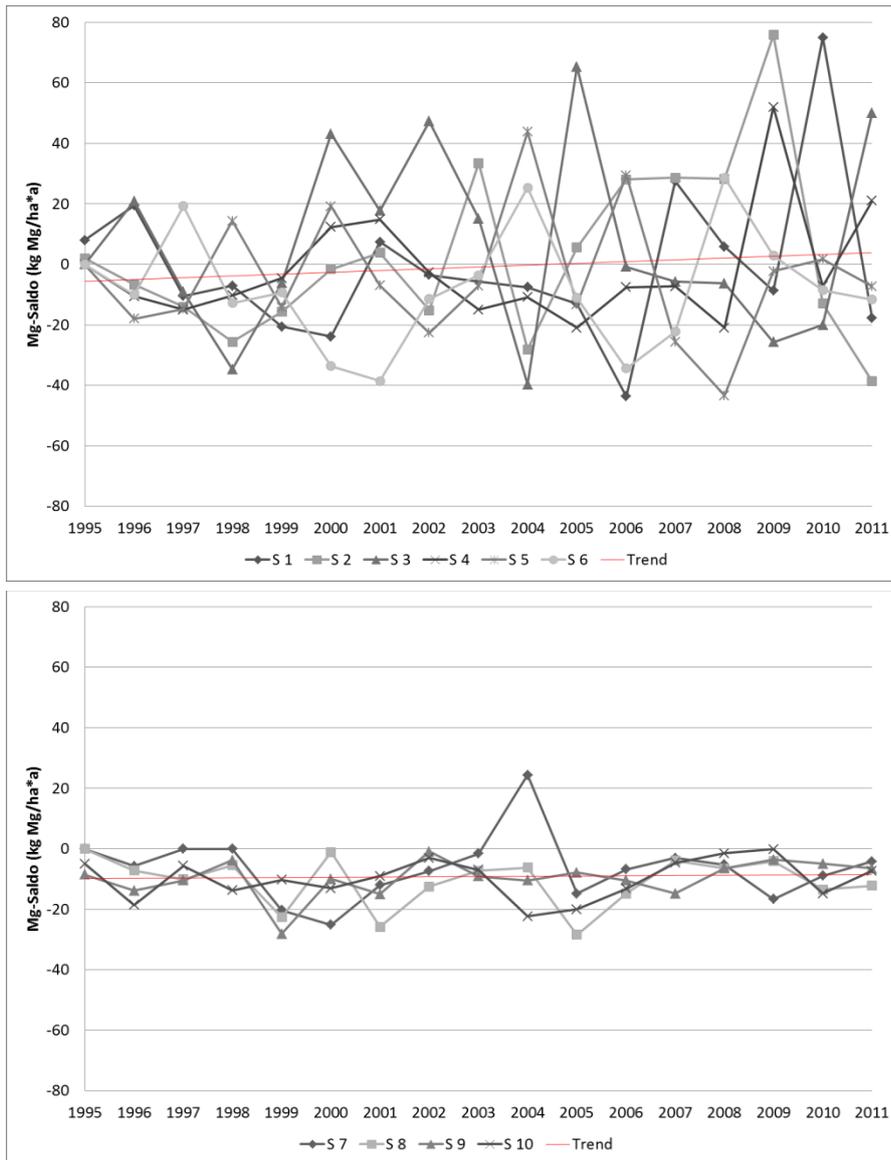


Abbildung 63: Jährliche Mg-Schlagsalden für die viehhaltende (S 1 – S 6) und viehlose Fruchtfolge (S 7 – S 10)

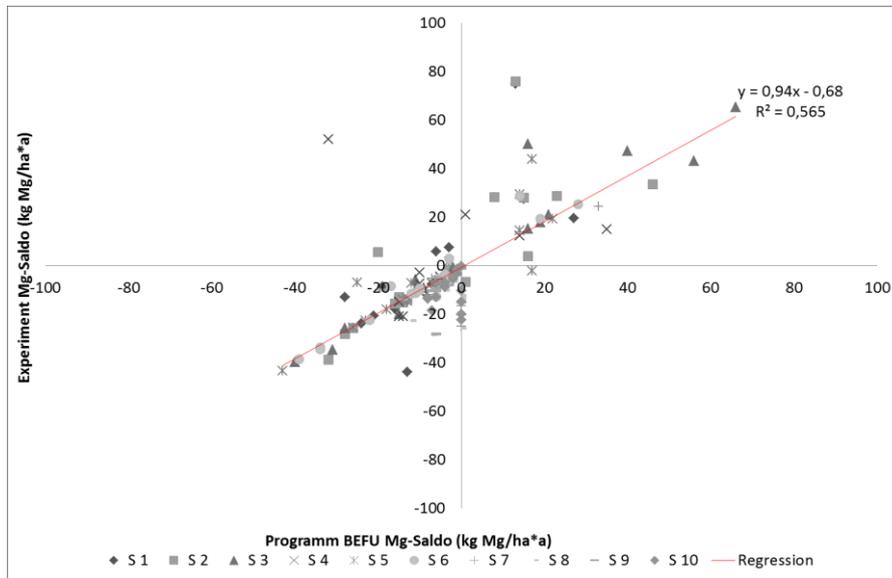


Abbildung 64: Vergleich zwischen den gemessenen und den mit dem Programm BEFU berechneten Mg-Salden der Untersuchungen

Abbildung 65 ($r = 0,076^{n.s.}$) zeigt die Beziehung zwischen der Mg-Bodenänderung zwischen Anfang und Ende der Untersuchungszeit (siehe Abb. 23) und den berechneten Mg-Salden der Ackerflächen. Wie beim Kalium ist der Untersuchungsumfang auch beim Nährstoff Magnesium zu gering, um eine signifikante Beziehung auszuweisen. Es ist aber zu erkennen, dass trotz negativer Salden die löslichen Mg-Gehalte des Bodens noch etwas angestiegen sind.

Auch beim Nährstoff Magnesium wird nach diesen Ergebnissen eine bedeutende Nachlieferung auf den Flächen zu verzeichnen sein. So befinden sich im Tiefenprofil erhebliche Mengen an Magnesium (siehe Abb. 24), die in diesen ökologischen Bewirtschaftungssystemen besonders durch die periodisch angebauten tiefwurzelnden Fruchtarten (Klee gras) genutzt werden können. Aus nicht besonders umfangreichen Ergebnissen aus Dauerversuchen konnten ebenfalls Nachlieferungswerte für Magnesium auf Lehm Böden zwischen 3 kg und 21 kg/ha und Jahr ermittelt werden (KOLBE & KÖHLER, 2008).

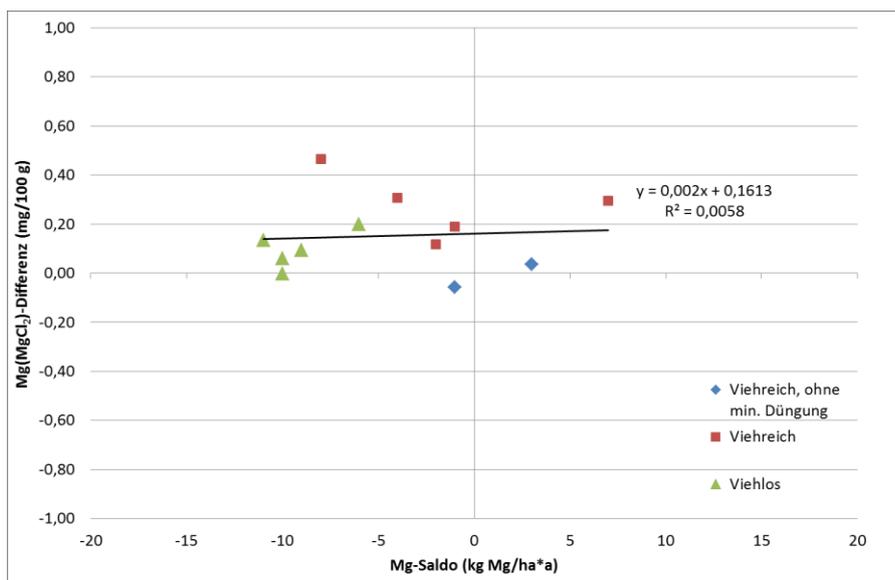


Abbildung 65: Beziehungen zwischen der jährlichen Bodenänderung an löslichem Mg und den Mg-Schlagsalden der Untersuchungsflächen

8.5.2 Mg-Düngungsempfehlung

Im Gegensatz zu den anderen Grundnährstoffen Phosphor und Kalium wurde Magnesium über die gesamte Versuchszeit im Durchschnitt aller Schläge in weitaus größeren Mengen gedüngt, als es nach den Bodengehalten und Entzügen des Programms BEFU erforderlich gewesen wäre. In der Folge sind die Mg-Gehalte des Bodens auf nahezu allen Schlägen über die Versuchszeit bis in den unteren Bereich der Gehaltsklasse C angestiegen (siehe Abb. 23). Mit steigenden Bodengehalten hätte auch weniger Magnesium gedüngt werden können. Tatsächlich wurden aber stetig steigende Magnesiummengen zugeführt, da die Düngung nicht am Magnesiumbedarf, sondern am P- oder K-Bedarf ausgerichtet wurde und Magnesium quasi als Nebenprodukt auf die Felder gelangte (Abb. 66).

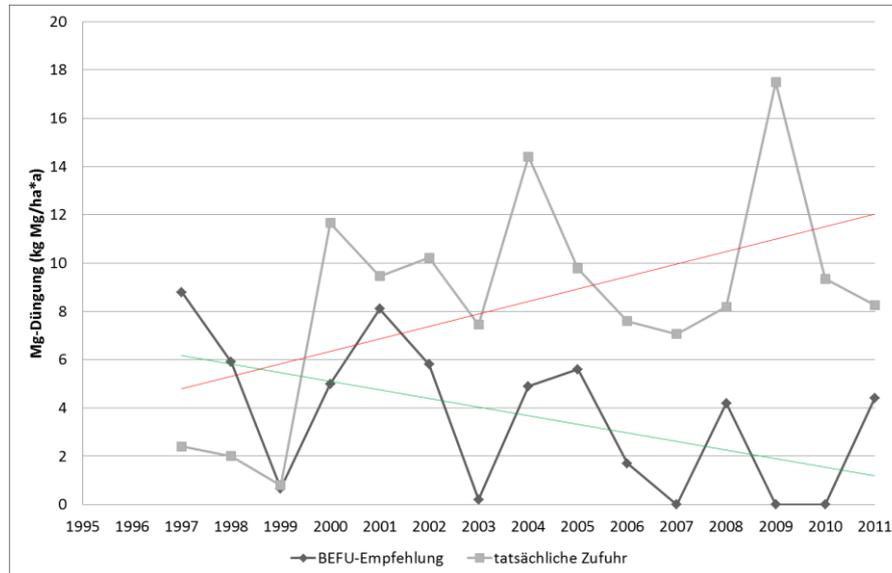


Abbildung 66: Vergleich zwischen der tatsächlich verabreichter Mg-Düngung und den BEFU-Empfehlungen im jährlichen Durchschnitt aller Ackerschläge

8.5.3 S-Bilanz

Erstmals wurden zusätzlich zu den bisherigen Auswertungen mit dem Programm BEFU auch die S-Bilanzen der Schläge der beiden Fruchtfolgen berechnet (siehe Anlage 8 im Anhang). Die Bilanzierung des Schwefels konnte nicht auf experimentellem Wege erfolgen, da die hierfür notwendigen Daten (Düngungshöhe, S-Gehalte der Fruchtarten, etc.) nicht erhoben worden sind.

Auf Grund der Zufuhren über die Atmosphäre von immer noch 8 kg S/ha und Jahr (siehe LIPPOLD & ALBERT, 2003) liegen die S-Salden fast auf allen Flächen noch im positiven Bereich. In der viehreichen Fruchtfolge betragen die Salden 2 – 3 kg S/ha. Hier erfolgen mit 12 kg S/ha relativ hohe Abfuhr über die Ernten, insbesondere durch die hohen S-haltigen Aufwüchse an Klee gras. Da diese Pflanzenbestände bei viehloser Bewirtschaftung auf dem Feld verbleiben, sind die durchschnittlichen S-Entzüge mit 3,0 kg S/ha deutlich niedriger und es werden mit 5,0 kg S/ha durchschnittlich höhere S-Salden berechnet als auf den Flächen mit Viehhaltung. Diese Unterschiede konnten berechnet werden, obwohl in den viehhaltenden Flächen mit 6 – 7 kg S/ha eine deutlich höhere Zufuhr über die Düngung erfolgt ist als bei viehloser Bewirtschaftung, wo es annähernd keine Zufuhren über die Düngung gegeben hat.

9 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Durchführung von ökologischen Feldversuchen ist zunächst abhängig von den regionalen Zuständigkeiten. Stehen keine „eigenen“ Flächen zu Verfügung, wie dies in einigen Bundesländern z. B. mit Landwirtschaftskammern der Fall ist, so werden zwar mit besonderer praktischer Relevanz aber oft genug mit Abstrichen in der Technikverfügbarkeit und in der Versuchsgenauigkeit, Versuche auf gewöhnlichen landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Unter anderen länderspezifischen Voraussetzungen können Versuchsbetriebe genutzt oder Teilflächen auf die Anbauverfahren des Ökolandbaus umgestellt werden, wie dies bei dem „Wiesengut“ in Nordrhein-Westfalen, dem „Gladbacherhof“ und der „Domäne Frankenhausen“ in Hessen, dem „Lindhof“ in Schleswig-Holstein oder dem „Modellbetrieb Müncheberg“ in Brandenburg der Fall ist, um nur einige Beispiele zu nennen. In diesen Betrieben kann sowohl eine praktische Durchführung von Anbauverfahren mit und ohne direkter Integration der Tierhaltung erfolgen als auch die Anlage von speziellen Feldversuchen vorgenommen und dokumentiert werden (HAAS, 1995; TAUBE et al., 2005; QUINTERN et al., 2006; SOMMER, 2010; BACHINGER et al., 2015).

In anderen Einrichtungen werden Versuchsstationen oder Versuchsfelder für die Feldversuchstätigkeiten genutzt, die von den landwirtschaftlichen Institutionen entweder ganz oder teilweise in Eigenbewirtschaftung der jeweils zur Versuchsdurchführung verwendeten Flächen betrieben werden, während die rotierenden Ausgleichsflächen auch von landwirtschaftlichen Betrieben mitbewirtschaftet werden können. Dies ist z. B. in Sachsen auf den Versuchsstationen gängige Praxis, so auch auf der Station in Roda nach Einrichtung des Ökofeldes im Jahr 1995. Ein anderes Beispiel ist das Ökofeld in Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern, wo bereits im Jahr 1992 auf leichtem Boden ein Ökofeld mit einer 6-feldrigen Fruchtfolge auf ca. 7 Hektar landwirtschaftlicher Ackerfläche, ursprünglich in direktem Vergleich mit einer konventionellen Vergleichsbewirtschaftung, eingerichtet worden ist (GRUBER & THAMM, 2005; GRUBER, 2013).

Hauptaufgabe des Ökofeldes in Roda war es, eine möglichst realistische Grundlage für die Anlage und Durchführung von Feldversuchen zur Demonstration, Testung und Weiterentwicklung von ökologischen Anbauverfahren zu bieten. Die Möglichkeit zur spezifischen Integration der Exaktversuche in die Ackerschläge der zwei angelegten Fruchtfolgen, die weit verbreitete Formen des Gemischtbetriebes und von viehlosen Betrieben der mitteldeutschen Region repräsentieren, hat sich im Verlaufe der Zeit als überaus vorteilhaft erwiesen (MEINCK & KOLBE, 1999a, b).

In den Dokumentationen und Untersuchungen sind die 10 Großparzellen der zwei Fruchtfolgen des Ökofeldes in Roda über die gesamte Zeit von 17 Jahren mit einer hohen Präzision geführt worden, so dass die erhaltenen Ergebnisse entsprechend den hier präsentierten Auswertungen in das Genauigkeitsniveau eines Exakt-Dauerversuches eingeordnet werden können. Hierzu gilt dem durchführenden Personal an dieser Stelle ein besonderer Dank (siehe Kap. 11).

Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche und Testflächen sind für Wissenschaft und Praxis unentbehrlich, da mit ihnen Langzeitwirkungen von Maßnahmen festgestellt werden können, die sich oft erst nach Jahrzehnten einstellen (KÖRSCHENS, 1997). Für den noch jungen ökologischen Landbau existieren bisher nur sehr wenige solcher Versuche. URBATZKA et al. (2011) erfassten für den gesamten deutschsprachigen Raum lediglich 43 Feldversuche und Testflächen mit einer Laufzeit von mehr als 5 Jahren, darunter nur 5 Versuche mit mehr als 15 Jahren Laufzeit, zu denen auch das Ökofeld Roda gehört. Für die Beurteilung der längerfristigen Auswirkungen der Umstellung auf die ökologische Landwirtschaft sind die hier vorgestellten Ergebnisse somit von besonderer Bedeutung.

Zu den markantesten Ergebnissen des Ökofeldes der Versuchsstation in Roda gehört sicherlich, dass die Erträge der Feldfrüchte nach 17 Jahren ökologischer Bewirtschaftung auf einem vergleichsweise hohen Niveau liegen, und zwar unabhängig von der Kulturart und auch unabhängig von den hier geprüften Fruchtfolgen bzw. Bewirtschaftungsweisen, ob mit oder ohne Viehhaltung. Zwar ist das Ertragsniveau insgesamt deut-

lich niedriger als in konventionellen Anbausystemen, für den Durchschnitt der 26 Winterweizenerträge beispielsweise um ca. 23 % gegenüber dem mittleren Ertragsniveau in Sachsen (SÄCHSISCHER AGRARBERICHT, 2013, 2021). Gemessen an dem deutlich geringeren Aufwand an Düngung und Pflanzenschutz ist dieser Abstand jedoch bemerkenswert gering.

Immer wieder geäußerte Befürchtungen, dass es nach Umstellung auf die ökologische Landwirtschaft zu deutlichen und dauerhaften Ertragseinbußen käme, werden durch die vorliegenden Erkenntnisse widerlegt. Vielmehr zeigen die Ergebnisse der Ackerflächen der zwei Fruchtfolgen eindringlich, dass die ökologische Landwirtschaft ein nachhaltiges Bewirtschaftungssystem ist, in dem auch langfristig stabile und auskömmliche Erträge erzielt werden, ohne ein Absinken der Bodenfruchtbarkeit befürchten zu müssen. Die Untersuchung zeigt aber auch die Schwierigkeiten, die bei ökologischer Bewirtschaftung auftreten können, wie verstärktes Unkrautauftreten und die starke Ertragsunsicherheit z. B. beim Anbau von Körnerleguminosen und auch von Kartoffeln.

Wichtigstes Werkzeug zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit ist eine angepasste Fruchtfolge. Ihr kommt im ökologischen Landbau eine zentrale Funktion zu, da es weitestgehend nicht möglich ist, unerwünschten Entwicklungen kurzfristig durch den Einsatz von Betriebsmitteln zu begegnen. Über die Ausgestaltung der Fruchtfolge ist die Bodenfruchtbarkeit zu sichern, möglichst sogar zu mehren, dem Aufkommen von Krankheiten und Unkräutern entgegen zu wirken und somit langfristig das Ertrags- und Qualitätsniveau der Feldfrüchte zu sichern. Bei Viehhaltung ist darüber hinaus der Futterbedarf der Tiere zu decken.

So haben die Auswertungen eindrucksvoll aufzeigen können, dass die N_{\min} -Werte im Verlauf der Fruchtfolgen einer typischen Veränderung unterworfen sind (siehe hierzu Abb. 15). Nach dem Umbruch von Leguminosen sind die Gehalte am höchsten. In den nachfolgenden Jahren fallen sie immer weiter ab, bis sie durch den erneuten Anbau von Leguminosen oder durch Düngungsmaßnahmen wieder zwischenzeitlich ansteigen. Für die möglichst effiziente Nutzung dieser über die Mineralisation zur Verfügung stehenden Nährstoffe ist daher ein gezielter Anbau der Ackerfrüchte in einer bestimmten Abfolge in den Fruchtfolgen von entscheidender Bedeutung, um eine möglichst hohe Nährstoffausnutzung im gesamten Anbausystem zu erreichen. Auf Grund dieser Erkenntnisse, zu denen u.a. die Ergebnisse der Ökofelder in Roda und in Gülzow entscheidend beigetragen haben, wurde ein dreistufiges Grundgerüst für die Anbauabfolge der Fruchtarten erarbeitet und ein Schema zur schnellen Auffindung günstiger Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen an Ackerfrüchten für die praktische Nutzung entwickelt (KOLBE, 2006, 2008).

Tragendes Element nahezu aller Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus ist der Anbau von Leguminosen, deren symbiotische Stickstofffixierung die wichtigste Input-Größe für Stickstoff in den Betriebskreislauf darstellt. Auf dem Ökofeld Roda wurden zwei Fruchtfolgen miteinander verglichen. Die Fruchtfolge I repräsentiert einen Milchvieh haltenden Mischbetrieb, bei dem große Teile des mit Leguminosen gebundenen Stickstoffs erst über den Umweg des Stalls dann in Form der Wirtschaftsdünger wieder auf die Felder gelangen.

Fruchtfolge II simuliert einen Marktfruchtbetrieb, bei dem Teile des symbiotisch gewonnenen Stickstoffs mit den Hauptprodukten vermarktet wurden, auf dem aber die Neben- und Koppelprodukte (Klee gras-Aufwüchse, Stroh, etc.) auf dem Feld verbleiben. Den Ackerflächen kommen zudem Stickstoffeinträge durch atmosphärische Depositionen und nichtsymbiotischer N-Bindung zugute, die insgesamt mit ca. 40 kg N/ha*a angesetzt werden können (KÖHLER & KOLBE, 2005).

Die genaue Erfassung der Luftstickstoffbindung über den Leguminosenanbau ist für die Beurteilung des N-Umsatzes ökologisch wirtschaftender Betriebe von entscheidender Bedeutung. Da direkte Messungen der symbiotischen Bindungsleistungen unter Praxisbedingungen nicht möglich sind, kommen nutzungs- und fruchtartspezifische Schätzverfahren zum Einsatz (z. B. ALBERT et al., 2007; JOST et al., 2007), die im Vergleich zu gemessenen Werten aus speziellen Exaktversuchen eine genügend hohe Genauigkeit gewährleisten (KOLBE, 2009).

Die hier für das Ökofeld Roda berechneten Beiträge der N-Bindung durch Leguminosen beruhen auf einfachen mathematisch-statistischen Gleichungen, die auch im Programm BEFU bzw. im Nachfolgeprogramm

BESyD implementiert sind (KOLBE & KÖHLER, 2008; PETER, 2020). Danach betrug die symbiotische N-Bindung des Leguminosenanbaus im Mittel aller Jahre und Schläge in Roda gut 70 kg N/ha und Jahr. Sie lag damit deutlich höher als in vergleichbaren Kalkulationen für Dauerversuche in Thüringen (HEROLD et al., 2010), aber in der gleichen Größenordnung wie in Fruchtfolgeversuchen mit ähnlichen Leguminosenanteilen in Schleswig-Holstein (LOGES & TAUBE, 2011).

Vergleicht man die N-Bilanzen beider Fruchtfolgen, fallen zunächst die annähernd gleichen Beträge der symbiotischen N-Bindung über Leguminosen in Höhe von 71 kg N/ha und Jahr in der viehhaltenden Fruchtfolge bzw. 75 kg N/ha und Jahr in der viehlosen Folge auf, obwohl der Leguminosenanteil in der viehlosen Fruchtfolge höher war. Je Flächenanteil Leguminosenanbau wurde im reinen Marktfruchtbetrieb somit eine deutlich geringere N-Fixierungsleistung erzielt als im Mischbetrieb mit Viehhaltung.

Das Mulchen der Aufwüchse, neben dem Belassen des Stroh auf den Flächen, in der viehlosen Fruchtfolge hat negative Auswirkungen auf den N-Kreislauf, die oft unterschätzt werden. An einem Rechenbeispiel sollen diese Ergebnisse nochmals genauer dargestellt werden (Tab. 20).

Tabelle 20: Berechnungsbeispiel zum Vergleich der symbiotischen N-Bindung von Leguminosengras-Beständen zwischen Schnitt- und Mulchnutzung (nach KOLBE, 2011)

Beschreibung der Bestandesnutzung	N-Bindung (kg N/ha*a)
Schnitt-Nutzung	
Ertrag 500 dt/ha, 75 % Leguminosenanteil im Gemenge	246
Mulch-Nutzung	
ca. 5 % Abnahme der Erträge und 15 – 20 % Verringerung der Leguminosenanteile	-33
ca. 10 % Verringerung der N-Bindungsleistung	-15
ca. 10 % NH ₃ -N-Verluste durch Ausgasung aus der Mulch-Auflage	-20
Summe absolut gegenüber Schnittnutzung	246 – 68 = 178
Summe relativ (Schnittnutzung = 100 %)	72 %

Im Vergleich zur Schnittnutzung können bei der Mulchnutzung Gesamtverluste in der Größenordnung von 20 – 30 % auftreten. Aus dieser Aufstellung ist ersichtlich, dass eine Verringerung der N-Bindungsleistung der Leguminosen in dem beschriebenen Umfang erfolgen kann durch:

- die verringerte Ertragsleistung der nachwachsenden Bestände durch die Mulchauflage
- Abnahme der Leguminosenanteile auf Grund der Wachstumskonkurrenz der Gräser
- je nach den Wetterbedingungen durch N-Verluste aus den sich umsetzenden Mulchauflagen durch NH₃-Ausgasung.

Zu den weiteren Ursachen für die geringeren N-Bindungsleistungen der viehlosen Fruchtfolgen gehören möglicherweise auch die vergleichsweise kürzeren Vegetationszeiten beim Anbau von Körnerleguminosen (z. B. Ackerbohne) gegenüber dem mehrjährigen Feldfutterbau. Zudem wirkt sich das Mulchen der Kleeergras-Aufwüchse und der daraus resultierende Verbleib großer Mengen leicht mineralisierbaren Stickstoffs hemmend auf die Symbioseleistung nachfolgender Leguminosenaufwüchse aus (BECKMANN et al., 2001). In der viehhaltenden Fruchtfolge wird der Stickstoff mit der mehrschnittigen Nutzung des Feldfutteraufwuchses immer wieder aus dem System entnommen, was die Symbioseleistung anregt (STUMM & KÖPKE, 2012).

In der Summe kommen die viehhaltenden Flächen des Ökofeldes auf eine mittlere jährliche N-Zufuhr von 156 kg N/ha, die noch deutlich unter der Größenordnung konventionell wirtschaftender Betriebe liegt (KOLBE, 2000). Bei viehloser Bewirtschaftung liegt die mittlere N-Zufuhr mit 115 kg N/ha und Jahr um einiges niedriger, was sich auch in den geringeren mittleren N-Entzügen durch die abgefahrenen Fruchtarterträge widerspiegelt. Nach deren Abzug verbleibt für die Fruchtfolge mit Viehhaltung ein positiver Bilanz-Saldo von 23 kg und für die Fruchtfolge ohne Vieh von 35 kg N/ha und Jahr. Damit waren N-Aufwand und N-Ertrag in beiden Fruchtfolgen zwar nahezu ausgeglichen. Trotzdem zeigte sich im Zeitverlauf in der viehlosen Folge eine Tendenz zu abnehmenden Erträgen und die höheren N-Salden führten offenbar zu einer etwas geringeren Fähigkeit, Stickstoff aus dem Untergrund zu mobilisieren, wie aus den Auswertungen über das Verlagerungspotenzial an Stickstoff im Tiefenprofil zu entnehmen war.

Das geringere Ertragspotenzial der viehlosen Varianten kann auch mit der permanenten Strohzufuhr in Verbindung stehen, wodurch N vorübergehend immobilisiert wird und es zu Ertragsausfällen im Bereich von 5 % kommen kann (SCHUSTER & KOLBE, 2015). Auch die niedrigeren N_{\min} -Werte im Frühjahr und die Neigung zu weiteren Korn/Stroh-Verhältnissen deuten auf diese Zusammenhänge hin.

Im gewissen Umfang sind positive N-Salden zum langfristigen Erhalt der Bodenfruchtbarkeit erforderlich. Werden unvermeidbare N-Verluste, wie sie auch im ökologischen Landbau durch Denitrifikation und Auswaschung entstehen (KOLBE, 2000), nicht durch einen gewissen Überhang bei den N-Zufuhren ausgeglichen, müssten sie aus dem Humusvorrat nachgeliefert werden, was langfristig zum Abbau des Humus führen würde. Ein ausgeglichener Humushaushalt ist im Durchschnitt einer Vielzahl von Feldversuchen bei positiven N-Salden zwischen 20 kg und 30 kg N/ha und Jahr gegeben (KOLBE, 2012; BROCK et al., 2013).

Obwohl der Humus- bzw. C_{org} -Gehalt des Bodens nur zu Beginn und in den letzten Jahren des Ökofeldes gemessen wurde, zeigen die Daten doch eindeutig, dass es nach 17 Versuchsjahren zu keinem Humusabbau auf den Ackerschlägen gekommen ist. Im Gegenteil, besonders bei viehloser Bewirtschaftung waren sogar über die Zeit ansteigende C_{org} -Gehalte festzustellen, was mit positiven jährlichen Humussalden in Höhe von rund 200 kg HÄQ/ha und Jahr korrespondiert. Legt man die in der Literatur genannten Beziehungen zwischen Humus- und Stickstoffbilanz zugrunde, so wären bei solchen Humussalden nach KOLBE (2012) bzw. BROCK et al. (2013) Stickstoffsalden von ca. +37 kg N/ha und Jahr zu erwarten.

Auf dem Ökofeld in Roda haben sich aber besonders in Folge steigender Humusgehalte die N_t -Gehalte im Boden reduziert, so dass sich die C/N-Verhältnisse von ausgangs um 8 – 9 z. T. deutlich auf annähernd 10 erweitert haben. Dieses Phänomen kann oft beobachtet werden, wenn bisher relativ intensiv bewirtschaftetes konventionelles Ackerland eine Umstellung auf Ökolandbau erfährt. Die ausgangs engen C/N-Verhältnisse deuten auf relativ hohe Umsetzungsbedingungen hin, wobei dann oft eine hohe N-Mineralisation zu verzeichnen ist und es deshalb nicht einfach ist, auf diesen Flächen einen ausgeglichenen Humussaldo zu gewährleisten (KOLBE, 2013).

So haben die im Laufe der Zeit über die Mineralisation freigesetzten N_t -Mengen durchschnittlich 20 – 40 kg betragen, in einer Variante waren es mit über 100 kg N/ha und Jahr sogar verhältnismäßig hohe Werte. Durch die Tendenz zu einer Erweiterung der C/N-Verhältnisse im Verlauf der ökologischen Bewirtschaftung wird sich auf Dauer aber die Freisetzung an Stickstoff reduzieren. Bei stark positiver Entwicklung der Humusgehalte und berechneten deutlich positiven Humussalden kann es sogar zu einer Festlegung an Stickstoff und anderen Nährstoffen kommen, was dann oft mit einer zwischenzeitlichen Abnahme der Ertragsfähigkeit und sogar mit Mangel an bestimmten Nährstoffen in Verbindung gebracht werden kann (siehe Entwicklungen auf dem Gladbacherhof in Hessen, SOMMER, 2010).

Auch die viehlosen Flächen des Ökofeldes weisen auf diese Zusammenhänge hin:

- deutlich positive Entwicklung der C_{org} -Gehalte und Humusbilanzen
- starke Erweiterung der C/N-Verhältnisse
- stetige Abnahme der N_{min} -Gehalte im Frühjahr
- Tendenz abnehmender Gehalte an Grundnährstoffen (P, K)
- Tendenz zu abnehmenden Erträgen.

Eine stark positive Humusbilanz ist somit nicht immer als günstig zu bezeichnen. Die Aussagen zur Humusbilanz und zur N-Dynamik sind nicht immer deckungsgleich, daher sind beide Merkmale des Nährstoffmanagements im Blickfeld zu behalten.

Den mittleren N-Salden liegen stark streuende Jahreswerte zwischen +250 kg und -90 kg N/ha und Jahr für die gleichen Schläge zugrunde, in denen sich der starke Einfluss der Fruchtarten auf den N-Saldo widerspiegelt. Die höchsten positiven Salden wurden regelmäßig bei Klee gras/Rotklee-Anbau in der viehlosen Fruchtfolge berechnet, wo der Leguminosenaufwuchs nach dem Mulchen auf dem Feld verblieben ist. Hier waren durchaus Bilanzüberschüsse innerhalb eines Anbaujahres von bis zu 250 kg N/ha und Jahr möglich. Wurde der Klee gras aufwuchs hingegen zur Futternutzung abgefahren, sanken die maximalen Salden auf ca. 150 kg N/ha ab.

In solchen Fruchtfolgen kommt es besonders darauf an, den von den Leguminosen gesammelten Stickstoff im Betrieb zu konservieren und möglichst vollständig den nachfolgenden Nichtleguminosen zur Verfügung zu stellen. Neben dem verstärkten Zwischenfruchtbau, könnte hierfür auch ein Transfer zwischen verschiedenen Schlägen innerhalb des Betriebes im Sinne eines „Cut-and-Carry“-Systems als ein geeignetes Mittel angesehen werden (KOLBE et al., 2004, 2006; STUMM & KÖPKE, 2012). Dabei verbleibt der Klee gras aufwuchs nicht gemulcht auf dem Feld, sondern wird geschnitten und auf anderen Schlägen als Mulchschicht, Gründüngung oder als Kompost, beispielsweise zu Getreide, wieder aufgebracht. Durch eine verbesserte Verteilung des gesammelten Stickstoffs innerhalb des Betriebes ließe sich hierdurch auch die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs verbessern, die in Roda bei viehloser Bewirtschaftung lediglich bei 70 % lag, gegenüber guten 85 % in der Fruchtfolge mit Viehhaltung.

Ein weiteres Bewertungskriterium des Stickstoffhaushalts kann aus jährlich im Herbst und Frühjahr durchgeführten N_{min} -Untersuchungen abgeleitet werden. Nachdem im Herbst teilweise auf einigen Flächen noch weit über 100 kg N_{min} /ha im Boden vorhanden waren, sanken die Gehalte bis zum nächsten Frühjahr nahezu durchweg auf Werte unter 100 kg ab. Dies lässt vermuten, dass über die Wintermonate eine Stickstoffverlagerung stattgefunden hat, die bei großem Umfang auf Dauer als Verlust für das Anbausystem angesehen werden können. Diese Mengen waren umso größer, je höher die N_{min} -Gehalte im Herbst noch im Boden vorhanden waren.

Unabhängig von den Herbstgehalten wurden die Böden in den Wintermonaten jährlich bis unter einen Schwellenwert, der im Durchschnitt bei ca. 50 kg N/ha lag, an mineralischem Stickstoff entleert. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch HEROLD et al. (2010) nach Auswertung einer Vielzahl von rund 1.350 Proben, davon die Mehrzahl aus konventionell wirtschaftenden Betrieben. Ziel muss es daher sein, (1) die Rest- N_{min} -Gehalte im Herbst durch eine entsprechende Gestaltung der Fruchtfolge und Anbautechnik so gering wie möglich zu halten und/oder (2) hohe Rest- N_{min} -Mengen im System/Betrieb zu konservieren, um umweltschädliche Verluste zu vermeiden. Hierzu kann der Anbau von Zwischenfrüchten oder auch ein verbessertes Verfahren des Klee gras umbruchs beitragen, wie Ergebnisse von HEß (1989) eindrucksvoll gezeigt haben.

Wesentliche Voraussetzung für eine hohe Stickstoffeffizienz ist auch eine ausreichende Versorgung mit anderen Nährstoffen. Zur Beurteilung der Situation liefern regelmäßige Bodenuntersuchungen wertvolle Informationen. Für Ökobetriebe sind pflanzenverfügbare Bodengehalte der Hauptnährstoffe Phosphor und Kalium im

Bereich der Gehaltsklasse B optimal (KOLBE, 2010a). Bei diesen Bodengehalten ist oft eine P- und K-Zufuhr in Höhe des Pflanzenentzuges (ausgeglichene Salden) ausreichend, um die Kulturen optimal zu versorgen. Bei den Nährstoffen K und Mg ist darüber hinaus die Bodenart zu beachten. So kann bei der Bemessung der Grunddüngung eine gewisse Nachlieferung aus dem Boden berücksichtigt werden, deren Höhe von den vorliegenden Bodeneigenschaften bestimmt wird. Diese Zusammenhänge konnten durch die Auswertung der Ackerschläge des Ökofeldes in Roda bestätigt werden. Für Phosphor bestand hierzu z. B. ein enger statistischer Zusammenhang zwischen den jährlichen P-Salden und der Differenz an verfügbaren P-Gehalten des Bodens im Untersuchungszeitraum.

Nach diesen regressionsanalytischen Auswertungen ist mit einer P-Nachlieferung aus Bodenvorräten und Deposition in Höhe von ungefähr 3 kg P/ha und Jahr zu rechnen. Dieser Wert liegt in der gleichen Größenordnung wie die von KOLBE & KÖHLER (2008) nach Auswertung einer Vielzahl von Feldversuchen experimentell ermittelten P-Mengen. Positive P-Salden führen langfristig zu einer P-Anreicherung im Boden, wie auch an den Parzellen 2, 3 und 4 des Ökofeldes erkennbar ist. Negative Salden verursachen eine Abreicherung der P-Vorräte um den gleichen jährlichen Betrag.

Für Kalium wurden dagegen andere Beziehungen zwischen den K-Salden und der Veränderung der pflanzenverfügbaren K-Gehalte des Bodens gefunden. Bei mittleren jährlichen Salden zwischen -25 kg K/ha und -70 kg K/ha gehen zwar die pflanzenverfügbaren Kalium-Gehalte über die Versuchszeit in etlichen Parzellen langsam zurück, sie können aber durchaus in der Versorgungsklasse B gehalten werden. Nach Literaturangaben kann für den lehmigen Boden mit einer K-Nachlieferung von 40 – 60 kg/ha und Jahr gerechnet werden. Experimentell konnte dieses hohe Nachlieferungspotenzial für den Lößlehm des Rodaer Bodens mit ungefähr 20 – 60 kg K/ha bestätigt werden. Die K-Salden können danach an diesem Standort deutlich negative Werte annehmen, ohne dass die Bodengehalte auf Dauer absinken.

Auch für diesen Nährstoff ist eine genaue Beobachtung der Bodengehalte in regelmäßigen Abständen erforderlich, um ein weiteres Absinken des Versorgungsniveaus zu verhindern. Nach diesen Ergebnissen sollten die K-Salden nicht unter -50 kg/ha und Jahr absinken, um die Bodengehalte auf dem Ausgangsniveau zu halten.

Im Programm BEFU, Teil ökologischer Landbau (KOLBE & KÖHLER, 2008) werden die aufgezeigten Zusammenhänge zwischen den Nährstoffsalden und den Veränderungen der Bodenvorräte zur Bedarfsermittlung für die Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium genutzt. Das Programm vergleicht die gemessenen Bodengehalte mit zuvor festzulegenden Zielgehalten (Versorgungsstufe B) und errechnet anhand gesicherter statistischer Beziehungen anschließend, welchen Wert die mittleren jährlichen Nährstoffsalden annehmen müssen bzw. wie hoch eventuelle Düngungsmaßnahmen anzusetzen sind, um die Zielgehalten innerhalb eines Zeitraums von 10 Jahren zu erreichen. Wie die Ergebnisse gezeigt haben, gleichen sich die BEFU-Düngungsempfehlungen und die tatsächlich gedüngten Nährstoffmengen über den Versuchszeitraum weitestgehend an.

Dem Programm sind Daten einer Vielzahl von Labor- und Felduntersuchungen hinterlegt, die es erlauben, Berechnungen des Nährstoffentzuges oder der Nährstoffzufuhr mit Wirtschaftsdüngern auch ohne aufwendige Analysen durchzuführen. Diese Datengrundlage ist für eine überschlägige Analyse im Allgemeinen ausreichend. Die im Rahmen der Versuchsauswertung durchgeführten Vergleiche zwischen den mit Hilfe der Standarddaten des BEFU berechneten Nährstoff- und Humussalden und den Bilanzen auf Grundlage von Messungen ergaben für die Hauptnährstoffe N, P, K und Mg sowie für die Humusgehalte des Bodens im Mittel gute Übereinstimmungen.

Für einzelne Jahre und Schläge sind jedoch auch Abweichungen zwischen den berechneten Ergebnissen und den „tatsächlichen“ Bilanzen zu erkennen, die bei Stickstoff beispielsweise bis zu 160 kg N/ha und Jahr betragen können. Zur Überprüfung und Absicherung der BEFU-Ergebnisse sollten daher in regelmäßigen Abständen auch eigene Untersuchungen und Erhebungen zur Erfassung der Nährstoffumsätze und ihrer Bilanzierung herangezogen werden.

Möglicherweise lassen sich die Vorhersagen mit dem Programm BEFU durch eine verbesserte Abschätzung des Humusumsatzes und des Beitrages der N-Mineralisierung zur Stickstoffbilanz noch verbessern. Entsprechende Berechnungen mit dem Prozessmodell CCB (CANDY Carbon Balance) zeigten, dass Humusproduktion und N-Umsatz in erheblichem Maße von der Historie des Standortes bzw. den langfristigen Nachwirkungen früherer Bewirtschaftungsmaßnahmen abhängen (KOLBE et al., 2013). Diese Prozesse werden bei der Bilanzierung des Stickstoffumsatzes und folglich der Düngungsbemessung bisher kaum berücksichtigt. Untersuchungen zu ihrer Integration in das Programm BEFU sind in Vorbereitung (MEYER et al., 2019).

Die pH-Werte haben sich auf allen Flächen kaum verändert und blieben im Wesentlichen in der optimalen Versorgungsklasse C über den gesamten Untersuchungszeitraum. Tatsächlich bestand daher kaum ein Kalkbedarf. Aus diesen Ergebnissen ging jedoch hervor, dass eine Diskrepanz zwischen der Düngeempfehlung mit dem Programm BEFU und der Entwicklung der pH-Werte auf den Flächen des Ökofeldes bestand.

Die Berechnung zur Ermittlung des Kalkbedarfs ist als einzige Prozedur direkt aus konventionellen Vorgaben übernommen worden (siehe KERSCHBERGER et al., 2000). Die ökologischen Anbaubedingungen unterscheiden sich doch sehr von diesen konventionellen Vorgaben. So ist der Eintrag säurebildender mineralischer Düngemittel viel geringer und die organischen Düngemittel tragen offenbar nicht zur Versauerung bei, wie dies bisher unterstellt worden ist (KERSCHBERGER & SCHRÖTER, 2015). Außerdem ist die Schwefelbelastung über die Deposition deutlich zurückgegangen. Diese Ergebnisse sind ein weiterer Hinweis darauf, dass eine Überarbeitung der Berechnungsvorgaben zur Kalkdüngung für den ökologischen Landbau vorgenommen werden sollte. Offenbar ist der Kalkbedarf, insbesondere auf schwereren Böden, unter ökologischen Bewirtschaftungsbedingungen als verhältnismäßig gering einzustufen.

Zusammenfassend können für die beiden Fruchtfolgen folgende Aussagen getroffen werden:

- Im Ertragsniveau und im Erhalt der Bodenfruchtbarkeit war das Fruchtfolgesystem mit organischer Düngung dem System ohne Viehhaltung z. T. deutlich überlegen.
- Bewirtschaftungsformen mit Viehhaltung waren weniger anfällig gegenüber ungünstigen Veränderungen einzelner Merkmale des Nährstoffmanagements und waren damit einfacher zu führen als die Fruchtfolgesysteme ohne Vieh.
- Bei viehloser Bewirtschaftung muss ein höherer Aufwand zur Kontrolle der Bodenfruchtbarkeit betrieben werden, damit ggf. rechtzeitig Informationen zur Kurskorrektur in der Ausgestaltung der Fruchtfolgen und der Düngung vorliegen.
- Aus den Ergebnissen des Ökofeldes Roda können noch weitere interessante Erkenntnisse und Ergebnisse abgeleitet werden. Eine Korrelationsmatrix zum Eigenstudium befindet sich hierzu in Anlage 9 im Anhang.

10 Zusammenfassung

Im Freistaat Sachsen wurde auf der Versuchsstation in Roda (ca. 40 km SSO von Leipzig) im Jahr 1995 eine Fläche von 13 Hektar Ackerland auf Anbausysteme des Ökologischen Landbaus umgestellt. Auf einem Lößlehm mit einer Bodenzahl von 68 wurden auf Ackerflächen mit ca. 1 Hektar Größe entsprechend den Bodenverhältnissen zwei Fruchtfolgen realisiert. Zur Repräsentation von Futterbaubetrieben mit einer Zufuhrhöhe an organischen Düngemitteln um 1 GV/ha wurde folgende 6-feldrige Fruchtfolge angelegt: Klee gras, Klee gras, Winterweizen, Kartoffeln, Triticale, Hafer. Ein zweites viehloses Anbausystem hatte folgende Fruchtfolge: Klee gras oder Rotklee, Klee gras oder Rotklee, Winterweizen, Sommergerste oder Hafer, Ackerbohne, Winterroggen.

Diese nach den Grundregeln des Ökolandbaus bewirtschafteten Felder waren die experimentelle Basis für eine intensive Versuchstätigkeit durch Anlage von ca. 50 Feldversuchen und vielen Demonstrationen zur Testung und Weiterentwicklung von ökologischen Anbauverfahren. Darüber hinaus wurden Feldtage und Führungen für Praktiker, Berater, Schüler, Studenten und Mitarbeiter der Agrarverwaltung durchgeführt. In dem vorliegenden Bericht wurde eine Auswertung der Felddokumentation vergleichbar den Ackerschlagkarteien inklusive dem umfangreichen Programm zur Bodenuntersuchung und Nährstoffbilanzierung über den Untersuchungszeitraum von 1995 – 2011 vorgenommen. Bodenuntersuchungen fanden jährlich an Bodenproben der Ackerkrume (0 – 20 cm, N_{\min} -Gehalt bis 90 cm Tiefe) sowie im Jahr 2000 und 2007 auch an Proben bis 4,5 m Bodentiefe statt, um das Nachlieferungs- und Verlagerungspotenzial einschätzen zu können. Folgende Ergebnisse und Erkenntnisse wurden erhalten:

10.1 Erträge und Qualität der Fruchtarten

Der Standort Roda ist durch ein relativ hohes Ertragsniveau für die Wintergetreidearten gekennzeichnet. Auf den viehhaltenden Flächen sind die Erträge über den untersuchten Zeitraum auf gleichem Niveau geblieben oder sie sind noch etwas angestiegen, während sie bei viehloser Bewirtschaftung meistens abgefallen sind. Die Kornerträge bei Winterweizen lagen bei 52 – 54 dt/ha. Das Ertragsniveau von Winterroggen lag mit Viehhaltung bei 54 dt/ha und ohne Viehhaltung bei 46 dt/ha.

Durch die häufige Frühsommertrockenheit, aber auch durch auftretende Staunässe der Böden waren die Sommerkulturen oft im Nachteil. Daher wurden vergleichsweise niedrige Erträge mit einer höheren Variationsbreite erzielt:

- Hafer 43 dt/ha mit und 35 dt/ha ohne Viehhaltung
- Kartoffeln 240 – 250 dt/ha
- Ackerbohnen 31 dt/ha.

Klee gras (Rotklee, Luzerne in Gemenge mit Gräsern) brachte auf den viehrefeichen Flächen im Durchschnitt 475 dt/ha Frischmasse und auf den viehlosen Flächen ca. 380 dt/ha Frischmasse in 2 – 3 Schnitten, die bei viehloser Bewirtschaftung gemulcht worden sind. An Hand der berechneten Erträge in Getreideeinheiten (GE) konnte in der viehhaltenden Fruchtfolge ein geringer Anstieg von 57 dt GE auf 61 dt GE/ha und in der viehlosen Fruchtfolge ein Abfall von 53 dt GE auf 42 dt GE/ha nach 17 Jahren ökologischer Bewirtschaftung ermittelt werden.

10.2 Entwicklung von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit

Die Gehalte an Humus (Gehalt an Humus / 1,724 = C_{org} -Gehalt) sind im Verlauf der ökologischen Bewirtschaftung in der viehhaltenden Fruchtfolge in gleicher Höhe geblieben, auf den viehlosen Varianten sind die C_{org} -Gehalte etwas angestiegen. Da die N_t -Gehalte des Bodens auf allen Feldern abgefallen sind, hat mit der Zeit eine Erweiterung der C/N-Verhältnisse von ausgangs 8 – 9 auf ca. 10 stattgefunden.

Die N_{min} -Gehalte wurden im zeitigen Frühjahr und nach der Ernte im Herbst untersucht. Die ermittelten Mengen (0 – 60 cm Tiefe) waren großen Schwankungen unterworfen. Auf den viehhaltenden Flächen sind die mittleren Werte auf gleichem Niveau geblieben, während auf den viehlosen Flächen die N_{min} -Werte im Frühjahr im Verlaufe der Zeit um ca. 40 kg N/ha abgefallen sind. Parallel zu den Fruchtfolge-Verläufen konnten typische Veränderungen in den N_{min} -Gehalten festgestellt werden.

Im Tiefenprofil gab es zwischen den Untersuchungen der Jahre 2000 und 2007 kaum Veränderungen in den Gehalten an N_{min} . Die Werte lagen weitgehend zwischen 5 – 15 kg N/ha je Schicht von 0,5 m Tiefe. Nur die viehlose Bewirtschaftung wies bis in eine Tiefe von 3 m geringfügig höhere N_{min} -Mengen auf.

Die mittleren pH-Werte der Ackerkrume sind in beiden Fruchtfolgen auf gleich hohem Niveau geblieben (VDLUFA-Klasse C), so dass kein Bedarf zur Kalkung bestand. Die Grundnährstoffe an CAL- bzw. DL-löslichem Phosphat (P) und Kalium (K) sowie an CaCl_2 -löslichem Magnesium (Mg) haben sich im Verlaufe der Zeit unterschiedlich entwickelt. In der viehhaltenden Fruchtfolge wurden nur geringe Veränderungen in den Gehalten registriert (Klasse B). Auf den viehlosen Flächen sind die Gehalte (außer für Mg) abgesunken, ohne jedoch die Klasse B zu unterschreiten.

Nur auf den Flächen 1 – 3 der viehhaltenden Fruchtfolge lag die Versorgung mit Grundnährstoffen schon zu Beginn der Untersuchungen meistens in den Klassen A – B. Auf diesen Flächen wurden keine zusätzlichen Düngungsmaßnahmen ausgeführt, da sie für die Durchführung besonderer Feldversuche zum Nährstoffmanagement vorbehalten waren.

10.3 Humus- und Nährstoffbilanzierung sowie Rückschlüsse zur Anbauoptimierung

Zur Erstellung von Stoffbilanzen aus den experimentell ermittelten Daten (C_{org} , N_t , N, P, K, Mg, S), zum Verhältnis zwischen den Ergebnissen zur Bilanzierung und der Bodenuntersuchung, zur Bewertung der Düngedarfsermittlung und der erreichten Nährstoffeffizienzen wurden umfangreiche Untersuchungen angestellt. Hierzu wurden auch Berechnungen mit dem Programm BEFU zum Nährstoffmanagement durchgeführt.

Im Durchschnitt der Anbauzeit lagen die Humusbilanzen (STAND-Methode) in der viehhaltenden Fruchtfolge lediglich bei durchschnittlich 21 kg Humusäquivalente (HÄQ)/ha und in der viehlosen Folge bei 138 kg HÄQ/ha (Versorgungsklasse C). Zwischen den Ergebnissen der Veränderung der C_{org} -Gehalte im Boden über die Untersuchungszeit und der berechneten Humussalden bestand eine sehr enge Übereinstimmung ($r = 0,86^{***}$). Erstmals konnten auch Vergleiche zwischen den experimentell ermittelten und mit dem Programm BEFU berechneten Nährstoffsalden erstellt werden. Für die Nährstoffe N, P, K und Mg bestanden sehr enge positive Korrelationen ($r = 0,67^{***} - 0,79^{***}$).

Auf den viehreichen Flächen fand im Durchschnitt der Anbauzeit über die organische Düngung eine Zufuhr von 38 kg N/ha, 18 kg P/ha und 53 kg K/ha und Jahr statt. Die Zufuhr über die berechnete symbiotische N-Bindung betrug auf den viehhaltenden Ackerflächen 59 kg N/ha und ohne Viehhaltung 53 kg N/ha. Über die N-Deposition und die asymbiotische N-Bindung mussten zusammen 40 kg N/ha in der Bilanzierung angerechnet werden. Die Nährstoffentzüge über die abgeernteten Feldfrüchte haben folgende Mengen angenommen:

- N: 120 kg/ha mit und 94 kg/ha ohne Viehhaltung
- P: 17 kg/ha mit und 15 kg/ha ohne Viehhaltung
- K: 95 kg/ha mit und 65 kg/ha ohne Viehhaltung.

Folgende Bruttosalden (ohne Boden- N_t) wurden erzielt (Nährstoffeffizienz in %):

- N: +17 kg/ha (88 %) mit und +29 kg/ha (69 %) ohne Viehhaltung
- P: +1 kg/ha mit und -14 kg/ha ohne Viehhaltung
- K: -42 kg/ha mit und -64 kg/ha ohne Viehhaltung.

Nährstoffbilanzen wurden auch für Mg und S durchgeführt. Durch die experimentell ermittelten Humus- und Nährstoffbilanzen konnten die Veränderungen dieser Merkmale im Boden erklärt werden. So konnte z. B. eine K-Nachlieferung des Standortes zwischen 20 – 60 kg K/ha und Jahr ermittelt werden. Die erhaltenen negativen Nährstoffsalden lagen in diesem Bereich, ohne dass Veränderungen in den DL-löslichen Gehalten eingetreten sind. Auch die P-Nachlieferung konnte mit hoher Genauigkeit ermittelt werden, sie liegt um 3 kg P/ha und Jahr. Die Nährstoffsalden lagen jedoch z. B. auf den viehlosen Flächen deutlich unter diesen Werten. Daher sind die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat und an Kalium im Boden entsprechend abgefallen. Auf Grund dieser hohen Übereinstimmung konnte durch diese Ergebnisse auch die Eignung des Programms BEFU als zentrales Instrument zum Nährstoffmanagement bestätigt werden. Nur die Kalkversorgung wurde durch Bemessung eines zu hohen Düngungsbedarfs durch das Programm ungenau ausgewiesen. Hierzu besteht, nicht nur auf Grund der deutlich zurückgegangenen Schwefel-Belastung über die Atmosphäre in den letzten zwei Jahrzehnten, ein Forschungsbedarf zur Verbesserung der Berechnungsgenauigkeit des Programms für den Einsatz im Ökolandbau.

Durch die Untersuchungen konnte die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass eine ordnungsgemäße Führung viehloser Anbauverfahren einen höheren und spezifischeren Aufwand zur Kontrolle und Korrektur der Bodenfruchtbarkeit erfordern als die Systeme mit Viehhaltung.

11 Danksagung

Entsprechend dem Leitungsauftrag zur Erstellung eines Abschlussberichtes über das Ökofeld in Roda wurden zunächst entsprechende Vorlagen erarbeitet. Nach dem Jahr 2016 wurden jedoch entgegen anderslautenden Versicherungen insbesondere Arbeiten des Ökolandbaus nicht mehr zum Abschluss gebracht. Wegen der hohen Bedeutung für die Region und der weitgehenden Verwendung von öffentlichen Mitteln wurde der Bericht schließlich von privater Seite fertig gestellt und einer Veröffentlichung zugeführt.

Wir möchten hiermit allen, die bei der Bewirtschaftung der Flächen des Ökofeldes und der Versuche in Roda mitgewirkt haben, unseren besonderen Dank aussprechen. Dazu gehören die ehemaligen Mitarbeiter der Versuchsstation Roda, die Saisonkräfte, Teilnehmer an Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen (ABM) und des Freiwilligen Ökologischen Jahres (FÖJ) und die zeitlich befristeten Beschäftigten. Unser besonderer Dank gilt:

Herrn Berthold Seidel †

Frau Gisela Hörig

Herrn Harald Bömer

Frau Ilona Fiedler †

Herrn Hermann Bohne.

12 Literaturverzeichnis

- ALBERT, E., H. ERNST, S. BIERMANN & D. MICHEL (1997): Stickstoffbindung durch Leguminosen sowie Möglichkeiten zu ihrer Abschätzung. Infodienst der Sächsischen Agrarverwaltung, Nr. 5, 67-71.
- 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, 1-164.
- BACHINGER, J., R. BLOCH, M. RECKLING & K. STEIN-BACHINGER (2015): 20 Jahre Modellbetrieb für Ökolandbau in Müncheberg. Teil 1: Entwicklung von Humus- und Nährstoffgehalten. In: HÄRING, A.M. et al.: Beiträge zur Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 13, Verlag Dr. Köster, Berlin, 260-261.
- BECKER, J. (1988): Aggregation in landwirtschaftlichen Gesamtrechnungen über physische Maßstäbe: Futtergersteneinheiten als Generalnenner. Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen.
- 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, Umweltforschungszentrum (UFZ), Leipzig.
- 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 25, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- BROCK, CH., M. OLTMANN & A.-K. SPIEGEL (2013): Humusmanagement und Humusbilanz hessischer Öko-Betriebe. Landesbetrieb Landwirtschaft (LLH), Kassel.
- EBERTSEDER, T., C. ENGELS, J. HEYN, K.-J. HÜLSBERGEN, K. ISERMANN, H. KOLBE, G. LEITHOLD, J. REINHOLD, H. SCHMIDT, K. SCHWEITZER, M. WILLMS & J. ZIMMER (2014): Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt, VDLUFA, Speyer.
- GRUBER, H. (2013): Auswirkungen einer langjährigen ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter am Standort Gülzow. Abschlussbericht Forschungs-Nr. 4/02. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Gülzow-Prüzen.
- GRUBER, H. & U. THAMM (2005): Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter. Abschlussbericht, Forschungs-Nr. 22/04, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Acker- und Pflanzenbau, Gülzow.
- HAAS, G. (1995): Auswahl von Feldversuchsflächen auf heterogenem Auenboden: Bestandskartierung - Uniformitätsernten - Luftbildaufnahmen - Exaktvermessung. Dissertation Univ. Bonn, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- HEISIG, W. (1998): Die natürlichen Standortbedingungen der Versuchsstation Roda. Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Martin-Luther-Universität, Halle (unveröffentlicht).
- HEROLD, L., S. WAGNER, E. HÖPFNER, G. KIEBLING & R. SCHMIDT (2010): Untersuchung von N_{\min} -Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{\min} -Monitorings auf Dauertestflächen. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Themenblatt-Nr. 21.13.210, Jena.
- HEß, J. (1989): Klee grasumbbruch im Ökologischen Landbau – Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied „Klee gras – Klee gras – Weizen – Roggen“. Dissertation, Universität, Bonn.
- JOST, B., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER (2007): Kalkulation der N_2 -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen im ökologischen Landbau. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 19, 74-75.
- KERSCHBERGER, M. & H. SCHRÖTER (2015): Von wegen sauer! DLG-Mitteilungen, Nr. 3, 26-29.

- KERSCHBERGER, M., B. DELLER, U. HEGE, J. HEYN, H.-E. KAPE, O. KRAUSE, J. POLLEHN, J.R. MÜHLHEIM & K. SEVERIN (2000): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. Standpunkt, VDLUFA, Darmstadt.
- KÖHLER, B. & H. KOLBE (2005): Formen der Stickstoff-Bilanzierung zur Anwendung in der Praxis des ökologischen Landbaus. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Leipzig.
- KÖHLER, B. & H. KOLBE (2007): Nährstoffgehalte der Fruchtarten im Ökologischen Landbau: In: Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9, 1-21.
- 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. WLV Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig.
- KOLBE, H. (2006): Fruchtfolgegestaltung im ökologischen und extensiven Landbau: Bewertung von Vorfruchtwirkungen. Pflanzenbauwissenschaften 10, 82-89.
- KOLBE, H. (2008): Fruchtfolgegrundsätze im ökologischen Landbau. Faltblatt, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- KOLBE, H. (2009): Vergleich von Methoden zur Berechnung der biologischen N_2 -Fixierung von Leguminosen zum Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis. Pflanzenbauwissenschaften 13, 23-36.
- KOLBE, H. (2010a): Phosphor und Kalium im ökologischen Landbau – aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien. In: Phosphor- und Kaliumdüngung – brauchen wir neue Düngekonzepte? Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), April 2010 in Würzburg. Bundesarbeitskreis Düngung (BAD), Frankfurt/Main, 117-137.
- KOLBE, H. (2010b): Site-adjusted organic matter-balance method for use in arable farming systems. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 678-691.
- KOLBE, H. (2011): Das Ökofeld Roda als Experimentierbasis für den Ökologischen Landbau. Vortrag, Feldtag zu Ökologischen Landbau, 15. 06. 2011, Roda.
<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/20283.htm>
- KOLBE, H. (2012): Zusammenführende Untersuchungen zur Genauigkeit und Anwendung von Methoden der Humusbilanzierung im konventionellen und ökologischen Landbau. In: Bilanzierungsmethoden und Versorgungsniveau für Humus. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Heft 19, 4-85.
- KOLBE, H. (2013): Standortangepasste Humusbilanzierung im ökologischen Landbau – Informationen für Praxis, Beratung und Schulung. Broschüre, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- KOLBE, H. & B. KÖHLER (2008): Programm BEFU – Teil Ökologischer Landbau. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Heft 36, 1 - 256. <http://orgprints.org/15101/>
- KOLBE, H., U. FRANKO, E. THIEL & E. LIEB (2013): Verfahren zur Abschätzung von Humusreproduktion und N-Umsatz im ökologischen und konventionellen Ackerbau. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Heft 1, 1-119.
- KOLBE, H., M. SCHUSTER, M. HÄNSEL, A. GRÜNBECK, I. SCHLIEßER, A. KÖHLER, W. KARALUS, B. KRELLIG, R. POMMER & B. ARP (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KOLBE, H., M. SCHUSTER, M. HÄNSEL, I. SCHLIEßER, B. PÖHLITZ, E. STEFFEN & R. POMMER (2006): Feldfutterbau und Gründüngung im Ökologischen Landbau. Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KÖRSCHENS, M. (1997): Die wichtigsten Dauerfeldversuche der Welt – Übersicht, Bedeutung, Ergebnisse. Arch. Acker- Pfl. Boden. 42, 157-168.

- KÖRSCHENS, M., J. ROGASIK, E. SCHULZ, H. BÖNING, D. EICH, R. ELLERBROCK, U. FRANKO, K.-J. HÜLSBERGEN, D. KÖPPEN, H. KOLBE, G. LEITHOLD, J. MERBACH, H. PESCHKE, W. PRYSTAV, J. REINHOLD & J. ZIMMER (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt Humusbilanzierung, VDLUFA, Bonn.
- LfULG (2013): BEFU Düngungsempfehlungs- und Bilanzierungssystem – Teil ökologischer Landbau. Dresden, 2013.
- 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.
- LOGES, R. & F. TAUBE (2011): Nitratauswaschung, Ertrag und N-Bilanz zweier Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Leguminosenanteil im mehrjährigen Vergleich. In: LEITHOLD, G. et al.: Beiträge zur Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau 11, Verlag Dr. Köster, Berlin, 89-92.
- MEINCK, S. & H. KOLBE (1999a): Ökoversuchsfeld Roda: Zusammenführung von Wissenschaft, Praxis und Beratung im ökologischen Landbau in Sachsen. Infodienst der Sächsischen Agrarverwaltung, Nr. 6, 60-62.
- MEINCK, S. & H. KOLBE (1999b): Fundgrube für Öko-Landwirte. Bauernzeitung, Nr. 46, 17-18.
- 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 des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 15, 1-138.
- PETER, CHR. (2020): Bilanzierungs- und Empfehlungssystem Düngung BESyD – das kostenfreie Programm incl. aller düngerechtlichen Regelungen für den konventionellen und ökologischen Landbau. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden: <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/duengebedarfsermittlung-besyd-20619.html>
- 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.
- SÄCHSISCHER AGRARBERICHT (2013): Sächsischer Agrarbericht 2012. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.
- SÄCHSISCHER AGRARBERICHT (2021): Agrarbericht in Zahlen 2021. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.
- 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 des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Heft 2, 4-41.
- SOMMER, H. (2010): Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Gießener Schriften zum Ökologischen Landbau 3, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- STUMM, C. & U. KÖPKE (2012): Nährstoffversorgung durch Klee-grastransfer im viehlosen Acker- und Gemüsebau. Vortrag zur 14. Fachtagung Ökologischer Landbau, Bad Kreuznach.
- 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 Norddeutschland. Berichte über Landwirtschaft 83, 165-176.
- URBATZKA, P., K. CAIS, A. REHM & R. RIPPEL (2011): Status Quo Analyse von Dauerversuchen: Bestimmung des Forschungsbedarfs für den ökologischen Landbau. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Freising. <http://orgprints.org/19317/>

13 Anlagen

- Anlage 1: Anlage von Exakt-Feldversuchen
- Anlage 2: Anlage von Demonstrationen
- Anlage 3: Ergebnisse der Bodenuntersuchung im Jahr 2009
- Anlage 4: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: Grundnährstoffe, Humus, pH-Wert
- Anlage 5: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: N_{min} Frühjahr
- Anlage 6: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: N_{min} Herbst
- Anlage 7.1: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S1
- Anlage 7.2: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S2
- Anlage 7.3: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S3
- Anlage 7.4: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S4
- Anlage 7.5: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S5
- Anlage 7.6: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S6
- Anlage 7.7: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S7
- Anlage 7.8: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S8
- Anlage 7.9: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S9
- Anlage 7.10: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S10
- Anlage 8: Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Schwefel auf den viehrefeichen (S1 – S6) und viehreflosen Ackerschlügen (S7 – S10)
- Anlage 9: Korrelationen (r) zwischen den ermittelten Merkmalen der 10 Ackerschlügen (einseitiger Test)

Anlage 1: Anlage von Exakt-Feldversuchen

Versuchsnummer	Versuchszeitraum	Thema	Pflanzenart	Sortenversuch	Fruchtfolge, Düngung und Nährstoffversorgung	Bodenbearbeitung, Unkrautregulierung, Pflanzenschutz
RO 1	1995 – 1996	Qualität und Ertragsleistung in Abhängigkeit von Fruchtfolgestellung und Sortenwahl von Feldkulturen	Kartoffel, Sonnenblume, Zuckerrüben, S.-Weizen		x	
RO 2	1996 – 1998	Anbaueignung von Dill	Dill		x	
RO 3	1995 – 1997	Eignung verschiedener Kartoffelsorten	Kartoffel	Eignung früher bis mittelspäter Sorten		
RO 4	1995 – 1997	Einfluss alternativer und Cu-haltiger Mittel gegen <i>Phytophthora infestans</i> bei Kartoffeln (Phytophthoraprophylaxe)	Kartoffel	x		
RO 5	1996 – 1999	Optimierung von Anbaumaßnahmen zur Verbesserung der Qualität von Weizenformen	W.-Weizen, S.-Weizen, Dinkel, Hartweizen (Durum)		x	x
RO 6, B 41	1996 – 2006	Strategien zur Grundbodenbearbeitung und Beikrautregulierung	6-feldrige Fruchtfolge, Ackerbohne, S.-Weizen, S.-Gerste, Feldfutter, Kartoffeln, Hafer		x	Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung
RO 7	1997 – 1999	Verbesserung des Anbaus von Mais durch Variation der Saatzeit, Gülleapplikation und Beikrautregulierung	Mais		organische Düngung	x
RO 8	1998 – 2001	Zwischenfrucht- Vorfruchtwirkungen im Maisanbau	Mais		Gründüngung	
RO 9	1998 – 2000	Unkrautregulierung im Maisanbau	Mais			Mechanische und thermische Vorauf- und Nachaufverfahren bei unterschiedlichen Aussatterminen auf Unkrautentwicklung
RO 10	seit 1998	Landessortenversuch	Mais	x		
RO 11	seit 1999	Einfluss organischer und mineralischer P- und K-Grunddüngung auf Boden, Ertrag und Qualität der Früchte	Kleegras, W.-Weizen, Kartoffeln, Ackerbohne, W.-Gerste		P-K-Grunddüngung, organische Düngung	
RO 12	1999 – 2002	Pflanzgutbehandlung von Kartoffeln mit <i>Bacillus subtilis</i> gegen <i>Rhizoctonia solani</i> und <i>Streptomyces scabies</i>	Kartoffel			x
RO 13	seit 1998	Landessortenversuch	W.-Weizen	x		
RO 14	seit 1999	Landessortenversuch	Kartoffel	x		
RO 15	1999 – 2001	Einfluss des Pflanzenstärkungsmittels „Bioalgen“ auf Krankheitsbefall und Ertrag	S.-Gerste		x	x
RO 16	2000 – 2002	Optimierung des Erbsenanbaus durch Gemengeanbau mit Getreide	Körnererbse, S.-Gerste, S.-Weizen			Unkrautregulierung
RO 17	2000 – 2004	Landessortenversuch	W.-Gerste	x		
RO 18	seit 2000	Landessortenversuch	Triticale	x		
RO 19	seit 2001	Landessortenversuch	W.-Roggen	x		
RO 20	2002 – 2008	Landessortenversuch	S.-Gerste	x		
RO 21	seit 2002	Landessortenversuch	Hafer	x		
RO 22	2002 – 2004	Artenvergleich Öl- und Eiweißpflanzen	Erbsen, Lupine, Soja, Leindotter, W.-Raps, S.-Blume, Ölein, Weißer Senf		x	x
RO 23	2001 – 2004	Einfluss von Zwischenfrüchte als Vorfrüchte für Kartoffeln	Kartoffel		Gründüngung	
RO 24	2001 – 2009	Einfluss des Z.-Fruchtanbaus auf das Nachwirkungsvermögen organischer Düngemittel in einer Fruchtfolge	Kartoffeln, Triticale, W.-Gerste, S.-Mais, Kleegras, Ackerbohne		organische Düngemittel, Gründüngung	
RO 26	2003 – 2005	Optimierung der Unkrautregulierung bei Körnererbse durch Erhöhung der Aussaat und Einsatz von Hackgeräten	Erbse			Unkrautregulierung
RO 28	2002 – 2005	Prüfung von Stroh- und Leguminosenmulch-Düngung auf Ertrags- und Qualität von viehlosen Anbauverfahren	Hafer		Strohdüngung, Gründüngung	
RO 30	2003 – 2005	Optimierung der Saatgutproduktion bei Gräsern mit und ohne organische Düngung	Deutsches Weidelgras, Wiesenschwingel		x	
RO 31	2003 – 2005	Qualitätssteigernde Düngungsmaßnahmen von Heil- und Gewürzpflanzen	Zitronenmelisse		x	
RO 32	2003 – 2007	Anwendung von Pflanzenstärkungs- und Pflanzenschutzmitteln als Saatgutbeize und im Pflanzenbestand zur Prophylaxe der Rotwelkekrankung bei Johanniskraut	Johanniskraut			x
RO 33	2003 – 2004	Regulierung von Steinbrand an W.-Weizen	Winterweizen			x
RO 34	2003 – 2006	Einfluss mineralischer und organischer Düngemittel auf die K-Verfügbarkeit, Ertrag	Kartoffel		K-Düngung, organische Dünge-	

Anlage 1: Anlage von Exakt-Feldversuchen

Versuchsnummer	Versuchszeitraum	Thema	Pflanzenart	Sortenversuch	Fruchtfolge, Düngung und Nährstoffversorgung	Bodenbearbeitung, Unkrautregulierung, Pflanzenschutz
		und Qualität von Kartoffeln			mittel	
RO 35	2004	Wirkung von Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung auf Humusgehalt verschiedener Böden (nicht angelegt)				
RO 36	2003 – 2005	Wirkung des Striegels im Weizenanbau	Winterweizen			Wirkung physikalischer Unkrautregulierung auf Ertrag und Qualität
RO 37	2004 – 2006	Prüfung anbautechnischer Maßnahmen auf Ertrag und Qualität von W.- und S.-Raps	Winterraps, Sommerraps		x	x
RO 38	seit 2004	Landessortenversuch	Körnererbse	x		
RO 39	2005 – 2006	Anbau der Referenzpflanze Hafer zur Ermittlung der N-Bodenaufnahme von Körnerleguminosen	Hafer		Anbau als Referenzpflanze zur Ermittlung der Stickstofffixierung von Körnerleguminosen	
RO 40	seit 2006	Landessortenversuch	Sommerweizen	x		
RO 41	2007 – 2011	Prüfung des Einsatzes von Wirtschaftsdünger und organ. Handelsdünger auf Ertrag und Qualität von W.-Raps nach Vorfrucht Getreide	Winterraps		Organische Stickstoffdünger	
Ro 42	2007 - 2009	Prüfung des Einsatzes von Wirtschaftsdünger und organ. Handelsdünger auf Ertrag und Qualität von W.-Raps nach Vorfrucht Klee bzw. Klee gras	W.-Raps		Organische Stickstoffdünger	
Ro 43	2007 – 2009	Eignung verschieden alter Z.-Fruchtaufwüchsen als Vorfrüchte (nicht angelegt)	Zwischenfrüchte, W.-Weizen, S.-Mais, S.-Gerste			
RO 44	2007 – 2011	Wirkung einjährig durchgeführter Mulchsaat auf W.-Getreide im Vergleich zur Pflugfurche	Winterroggen			konservierende Bodenbearbeitung
Ro 45	2007 – 2009	Einfluss von zusätzlichen, abfrierenden Saaten in W.-Weizen auf Bodenbedeckung im Herbst und Winter zum Erosionsschutz	W.-Weizen			x
RO 46	2011	Erfassung der Distelpopulation im ehemaligen Parzellenversuch Ro 6 über die Ausgleichsbewirtschaftung				x
RO 47	2007	Beizung mit Tillecur	W.-Weizen			x

Anlage 2: Anlage von Demonstrationen

Nummer	Versuchszeitraum	Bezeichnung
Demo S1 – S6	1996 – 2011	Ausweisung der Ackerschläge der viehhaltenden Fruchtfolge
Demo S7 – S10	1996 – 2011	Ausweisung der Ackerschläge der viehlosen Fruchtfolge
	1998	Regulierungserfolg der Bügelhacke (Arbeitsgeschwindigkeit, Modellunkraut)
Demo 1	1998	Ackerbohne, Erbse, Soja, Lupine
Demo 2	1999	Körnererbsen
Demo 3	2001 – 2002	Winterrapsanbau in verschiedenen Reihenweiten
Demo 4	2001 – 2003	Winterweizenanbau in Weiter Reihe
Demo 5	2002	Erprobung Pneumat-Unkrautregulierungsgerät
Demo 6	2007	Weizensteinbrandbefall an W.-Weizen und Beizung mit Tillecur
Demo 7	2010 – 2011	Prüfung der regionalen Anbaueignung von Winterackerbohnen und Winterfuttererbsen
		Winterweizensorten
		Einsatz Zwei-Schichten-Pflug
		Grundbodenbearbeitung

Anlage 3: Ergebnisse der Bodenuntersuchung im Jahr 2009

Schlag	C _{org} (% TM)	N _t (% TM)	S _t (% TM)	P _t (% TM)	K _t (% TM)	P (CAL) (mg/100 g)	K (CAL) (mg/100 g)	Cu (pflanzen- verfüg.) (mg/kg)	B (heißwl.) (mg/kg)	Mo (heißwl.) (mg/kg)	Mn (pflanzen- verf.) (mg/kg)	Zn (pflanzen- verf.) (mg/kg)
S1	1,13	0,10	0,02	0,05	0,18	1,1	3,6	3,63	0,42	0,003	129	1,71
S2	1,20	0,12	0,02	0,05	0,19	2,1	6,5	5,91	0,46	0,005	112	2,16
S3	1,22	0,10	0,02	0,05	0,20	2,2	3,6	4,59	0,37	0,006	142	2,80
S4	1,08	0,14	0,02	0,04	0,21	1,7	3,1	5,62	0,54	0,017	144	3,04
S5	1,19	0,15	0,02	0,05	0,20	2,8	4,1	4,22	0,51	0,026	112	1,87
S6	1,29	0,15	0,02	0,05	0,21	2,2	4,3	4,44	0,47	0,032	155	2,47
S7	1,27	0,14	0,03	0,05	0,24	2,6	3,9	5,61	0,90	0,030	142	2,98
S8	1,29	0,15	0,02	0,05	0,20	3,2	3,7	4,39	0,64	0,026	100	2,10
S9	1,20	0,15	0,02	0,05	0,19	2,7	4,8	4,79	0,59	0,038	118	2,47
S10	1,26	0,14	0,02	0,05	0,19	2,5	2,5	5,42	0,57	0,023	155	2,73

Anlage 4: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: Grundnährstoffe, Humus, pH-Wert

Schlag	Merkmal		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
S1	P (DL)	mg/100g	1,0	0,9	0,8	1,1	1,9	1,9	1,6	2,4	2,0	0,8	0,9	2,1	2,2		1,7	1,5	0,5
	K (DL)	mg/100g	7,3	7,1	6,9	8,6	6,8	6,0	7,0	7,6	5,6	3,2	4,3	7,1	1,9		5,0	9,5	4,5
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	12,4	13,2	13,9	8,2	12,5	10,9	8,7	10,9	9,2	12,0	9,9	10,9	10,4	10,0	11,7	14,1	9,9
	Humus	%	2,2	2,1	2,0		1,7							1,8	1,9	2,0	1,9	1,9	1,8
	pH		5,6	5,7	5,8	5,7	6,9	5,9	6,1	6,1	5,9	6,9	5,4	5,7	5,7	5,6	5,3	5,8	5,7
	N _t	%	0,1	0,1	0,2		0,1							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	C _{org}	%	1,28	1,22	1,16		0,99							1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1
S2	P (DL)	mg/100g	0,9	0,7	0,6	3,2	2,4	2,1	1,5	2,1	2,4	2,6	2,7	2,4	2,5		3,4	2,0	4,1
	K (DL)	mg/100g	8,9	6,5	4,1	8,4	7,1	8,0	6,0	9,4	8,0	7,8	7,4	8,1	11,2		9,0	7,5	6,4
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	11,6	11,2	10,8	8,2	9,6	8,5	10,2	9,1	9,8	9,1	7,7	11,7	10,6	9,3	11,2	14,0	9,0
	Humus	%	1,9	1,8	1,7		1,7							1,9	1,9	2,1	2,1	2,1	2,2
	pH		5,3	5,3	5,3	6,4	6,3	5,8	6,3	5,8	5,8	6,8	6,3	5,8	6,0	5,9	6,2	5,8	5,6
	N _t	%	0,1	0,1	0,2		0,1	0,3						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	C _{org}	%	1,1	1,05	0,99		0,99							1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3
S3	P (DL)	mg/100g	1,9	1,6	1,2	2,3	2,9	2,5	2,0	5,1	2,6	6,1	5,2	3,2	3,7	5,0	4,9	3,6	7,5
	K (DL)	mg/100g	11,0	8,8	6,6	9,1	6,7	12,0	5,0	7,6	6,4	8,5	10,9	8,9	10,4	13,8	4,9	7,9	5,3
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	10,6	8,8	6,9	9,6	10,5	11,0	11,4	9,2	11,4	13,6	12,6	13,8	12,7	12,5	13,4	15,9	11,8
	Humus	%	1,7	1,9	2,0		1,7							1,9	1,9	2,2	2,1	2,1	1,9
	pH		5,6	5,8	5,9	6,3	6,5	6,4	6,1	6,4	6,1	5,7	6,1	5,8	6,3	6,4	6,2	6,2	5,6
	N _t	%	0,2	0,2	0,2		0,1							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	C _{org}	%	0,99	1,08	1,16		0,99							1,1	1,1	1,3	1,2	1,2	1,1
S4	P (DL)	mg/100g	3,2	2,7	2,1	3,3		2,3	4,3	5,2	8,2	4,0	3,7	3,3	4,7	4,1	3,4	3,6	3,6
	K (DL)	mg/100g	7,8	7,0	6,1	12,0		10,0	6,0	2,9	10,9	5,5	10,5	9,5	9,1	8,8	4,6	8,5	7,9
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	12,5	12,2	11,9	11,4		12,4	12,0	11,9	12,7	13,6	14,1	13,4	11,3	12,5	15,4	16,1	11,7
	Humus	%	2,2	2,1	2,1									2,0	2,0	2,1	1,9	2,0	2,0
	pH		6,0	6,1	6,1	6,5		6,5	6,3	6,1	6,8	6,4	6,4	6,2	6,4	6,4	6,4	6,3	5,9
	N _t	%	0,1	0,1	0,2			0,7						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	C _{org}	%	1,28	1,24	1,19									1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2
S5	P (DL)	mg/100g	6,3	6,2	6,0	4,5		2,4	3,3	2,3	4,6	4,9	4,2	4,7	4,2		4,5	5,6	4,8
	K (DL)	mg/100g	9,3	7,0	4,6	9,1		6,0	5,0	4,7	5,7	4,0	5,7	8,6	6,7		5,6	7,5	5,5
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	8,8	7,7	6,5	20,3		12,2	10,1	11,3	10,2	10,4	12,1	11,8	12,2	14,5	16,0	16,1	13,1
	Humus	%	2,1	2,1	2,1									1,9	0,8	2,3	2,1	1,9	2,2
	pH		5,8	6,2	6,6	6,7		6,7	6,2	6,2	6,5	6,3	6,4	6,9	6,5	6,5	6,6	6,5	6,3
	N _t	%	0,1	0,1	0,2			0,6						0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2
	C _{org}	%	1,22	1,22	1,22									1,1	0,5	1,3	1,2	1,1	1,3
S6	P (DL)	mg/100g	4,7	5,6	6,4	4,5		3,9	3,4	3,6	4,0	3,7	5,9	5,1	3,2	3,9	4,1	3,7	2,9
	K (DL)	mg/100g	8,0	9,5	10,9	10,2		9,0	8,0	11,3	6,4	8,1	9,1	7,3	8,3	8,3	6,4	9,4	5,8

Anlage 4: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: Grundnährstoffe, Humus, pH-Wert

Schlag	Merkmal		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	5,8	5,8	5,8	18,1		10,3	9,3	12,0	11,3	15,5	12,9	11,6	14,2	13,6	15,8	16,0	13,4	
	Humus	%	2,1	2,1	2,1									2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	1,9	
	pH		6,4	6,6	6,7	6,8			6,7	6,4	6,5	6,8	6,5	6,6	6,8	6,6	6,6	6,7	6,6	6,4
	N _t	%	0,1	0,1	0,2				3,4						0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
	C _{org}	%	1,22	1,22	1,22										1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1
S7	P (DL)	mg/100g	5,3	5,2	5,1	5,0		3,6	3,7	2,9	4,1	4,3	5,7	4,7	3,8		4,3	4,6	2,5	
	K (DL)	mg/100g	7,4	6,7	5,9	8,2		9,0	8,0	7,8	5,2	4,9	8,7	9,3	8,0		5,6	9,1	6,1	
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	11,8	9,5	7,1	11,9		9,7	10,5	11,7	11,0	10,7	10,7	13,6	11,3	20,9	13,5	13,6	7,4	
	Humus	%	1,6	1,8	2,0										2,0	1,9	2,4	2,2	2,0	2,3
	pH		6,6	6,7	6,8	6,9		6,8	6,3	5,8	6,7	6,4	6,6	6,6	6,6	6,5	6,1	6,5	6,5	6,7
	N _t	%	0,1	0,1	0,2				2,4						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	C _{org}	%	0,93	1,05	1,16										1,2	1,1	1,4	1,3	1,2	1,3
S8	P (DL)	mg/100g	6,2	6,2	6,2	5,8		7,2	4,4	4,6	5,2	3,2	4,5	3,7	4,4		5,0	4,5	2,4	
	K (DL)	mg/100g	8,7	8,0	7,3	9,2		8,0	6,0	8,0	6,8	4,3	5,9	8,2	8,3		5,4	7,5	6,5	
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	6,7	6,7	6,6	11,1		7,9	8,2	7,3	10,3	9,2	7,7	6,5	8,3	10,6	9,3	10,6	9,0	
	Humus	%	2,0	2,0	1,9										2,1	2,0	2,2	2,2	2,4	2,4
	pH		6,1	6,4	6,6	6,8		6,8	6,5	6,6	6,8	6,7	6,5	6,9	6,7	6,6	6,8	6,8	6,6	6,8
	N _t	%	0,1	0,1	0,1										0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
	C _{org}	%	1,16	1,13	1,1										1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4
S9	P (DL)	mg/100g	5,9	5,8	5,6	6,3		5,1	5,2	4,4	5,0	5,5	5,5	4,8	5,4	4,8	5,1	5,8	3,3	
	K (DL)	mg/100g	8,6	9,0	9,4	8,8		7,0	6,0	5,8	7,8	7,1	9,5	10,8	9,1	7,4	6,3	7,5	8,0	
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	11,2	10,8	10,3	13,2		8,7	8,2	7,1	10,4	10,1	9,9	10,4	9,9	7,2	12,5	11,9	10,8	
	Humus	%	2,0	2,1	2,1										2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,3
	pH		5,9	6,3	6,7	6,9		6,8	6,4	6,3	6,7	6,9	6,7	6,7	6,6	6,6	6,6	6,5	6,6	6,6
	N _t	%	0,1	0,1	0,2										0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
	C _{org}	%	1,16	1,19	1,22										1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4
S10	P (DL)	mg/100g	7,2	6,7	6,2	5,9		5,2	4,7	3,4	4,4	3,8	4,2	4,0	4,4	4,6	4,1	4,8	2,3	
	K (DL)	mg/100g	9,6	8,5	7,3	7,5		6,0	6,0	5,7	5,3	3,3	5,0	7,4	6,5	6,0	3,8	6,4	5,1	
	Mg (CaCl ₂)	mg/100g	9,3	8,6	7,9	15,9		7,8	8,2	7,4	9,4	9,4	10,0	8,8	11,0	9,7	9,0	10,9	12,4	9,7
	Humus	%	1,9	1,9	1,8										1,9	2,1	2,3	2,2	2,6	2,2
	pH		6,7	6,8	6,8	6,8		6,8	6,6	6,6	6,8	6,8	6,8	6,5	6,5	6,6	6,6	6,4	6,5	6,5
	N _t	%	0,2	0,1	0,1				0,3						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	C _{org}	%	1,1	1,08	1,05										1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,3

Anlage 5: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: N_{min} Frühjahr (kg N/ha)

Schlag	Bodentiefe	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
S1	0 – 30 cm			30	27	19	16	29	47	25	17	13	16,6	83,9	32,5	15,0	26,7	22,5
	30 – 60 cm			44	7	6	4	25	24	32	19	8	6,8	77,1	29,3	9,0	10,6	6,5
	60 – 90 cm							39	31	45	45	11	3,8	14,7	35,3	16,4	7,1	15,7
	0 – 60 cm			74	34	25	20	54	71	52	36	21	23,4	161,0	61,8	24,0	37,3	29,0
	0 – 90 cm							94	102	102	81	32	27,2	175,7	97,1	40,4	44,4	44,7
S2	0 – 30 cm			53	22	27	21	32	19	21	15	5	25,1	14,4	39,5	29,5	31,0	9,5
	30 – 60 cm			31	4	3	12	64	28	22	24	14	25,9	55,9	49,9	20,0	7,4	18,2
	60 – 90 cm							44	35	16	23	4	22,6	50,3	44,4	20,5	4,7	11,4
	0 – 60 cm			84	26	30	33	96	47	43	39	19	51,0	70,3	89,4	49,5	38,4	27,7
	0 – 90 cm							140	83	59	62	23	73,6	120,6	133,8	70,0	43,1	39,1
S3	0 – 30 cm			61	33	51	22	20	12	8	11	22	32,0	10,6	100,4	14,7	16,6	21,3
	30 – 60 cm			34	13	40	26	6	10	9	3	11	56,3	1,6	41,7	2,3	5,8	5,7
	60 – 90 cm							3	11	11	3	9	22,5	2,4	17,9	3,0	3,2	18,0
	0 – 60 cm			95	46	91	48	26	22	17	14	33	88,3	12,2	142,1	17,0	22,4	27,0
	0 – 90 cm							30	33	28	17	42	110,8	14,6	160	20,0	25,6	45,0
S4	0 – 30 cm			52	45	50	16	20	10	18	26	17	21,5	33,5	34,0	18,1	55,2	5,7
	30 – 60 cm			25	87	36	7	5	4	6	55	22	83,3	39,7	16,0	4,5	48,7	15,9
	60 – 90 cm							1	4	4	54	23	83,5	13,0	11,3	2,1	39,9	5,8
	0 – 60 cm			77	132	86	23	25	14	24	81	39	104,8	73,2	50,0	22,6	103,9	21,6
	0 – 90 cm							26	19	28	135	62	188,3	86,2	61,3	24,7	143,8	27,4
S5	0 – 30 cm			60	53	22	20	16	6	29	30	15	22,9	7,8	30,7	38,7	48,0	9,4
	30 – 60 cm			47	48	20	19	7	17	27	34	26	11,1	0,0	39,3	32,5	44,4	4,4
	60 – 90 cm							1	4	17	34	29	12,7	0,0	41,8	14,2	43,5	13,6
	0 – 60 cm			107	101	42	39	23	23	56	64	41	34,0	7,8	70,0	71,2	92,4	13,8
	0 – 90 cm							24	27	73	98	70	46,7	7,8	111,8	85,4	135,9	27,4
S6	0 – 30 cm			48	21	25	12	25	23	38	22	28	20,0	13,1	86,5	15,7	29,3	4,6
	30 – 60 cm			31	22	5	6	2	30	23	15	24	14,4	6,9	52,1	15,8	13,2	5,2
	60 – 90 cm							2	43	14	13	14	10,7	0,0	45,3	37,8	25,5	11,8
	0 – 60 cm			79	43	30	18	27	53	61	37	52	34,4	20	138,6	31,5	42,5	9,8
	0 – 90 cm							30	96	75	50	66	45,1	20	183,9	69,3	68,0	21,6
S7	0 – 30 cm			58	49	27	26	46	40	63	13	14	22,0	24,1	29,5	6,9	28,7	3,0
	30 – 60 cm			32	33	5	6	72	21	27	11	8	21,0	12,3	17,2	11,2	26,1	2,7
	60 – 90 cm							72	20	16	23	4	10,8	3,9	22,7	4,8	28,5	22,8
	0 – 60 cm			90	82	32	32	118	61	90	24	22	43,0	36,4	46,7	18,1	54,8	5,7
	0 – 90 cm							189	81	106	47	26	53,8	40,3	69,4	22,9	83,3	28,5
S8	0 – 30 cm			27	37	42	20	30	21	33	33	22	23,4	11,7	55,4	13,2	27,6	22,5
	30 – 60 cm			15	19	37	7	13	9	25	48	16	13,3	0,0	24,3	3,1	9,0	3,2

Anlage 5: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: N_{min} Frühjahr (kg N/ha)

Schlag	Bodentiefe	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	60 – 90 cm							11	17	26	38	18	4,1	0,0	9,3	3,4	3,3	14,0
	0 – 60 cm			42	56	79	27	43	30	58	81	38	36,7	11,7	79,7	16,3	36,6	25,7
	0 – 90 cm							53	46	84	119	56	40,8	11,7	89,0	19,7	39,9	39,7
S9	0 – 30 cm			79	44	70	22	30	21	30	24	23	13,4	10,9	36,1	30,1	15,3	7,3
	30 – 60 cm			35	34	50	16	33	11	35	24	12	13,8	0,2	17,8	11,4	1,4	4,1
	60 – 90 cm							20	9	24	20	6	11,7	0,0	30,5	7,9	8,7	13,9
	0 – 60 cm			114	78	120	38	63	32	65	48	35	27,2	11,1	53,9	41,5	16,7	11,4
	0 – 90 cm							84	41	89	68	41	38,9	11,1	84,4	49,4	25,4	25,3
S10	0 – 30 cm			54	24	19	19	112	56	17	19	20	19,7	17,2	27,4	16,1	38,3	8,3
	30 – 60 cm			34	21	10	18	88	51	21	7	11	64,4	48,9	77,9	15,3	24,0	7,0
	60 – 90 cm							40	37	24	3	7	36,6	28,3	23,6	75,2	24,4	7,9
	0 – 60 cm			88	45	29	37	200	107	38	26	31	84,1	66,1	105,3	31,4	62,3	15,3
	0 – 90 cm							240	143	62	29	38	120,7	94,4	128,9	106,6	86,7	23,2

Anlage 6: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: N_{min} Herbst (kg N/ha)

Schlag	Bodentiefe	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
S1	0 – 30 cm	39		66	39	18	67	28	26	36	37	11	70,4	39,3	61,5	56,1	12,3	76,0
	30 – 60 cm	59		21	9	5	11	16	30	16	7	3	19,2	34,3	11,2	14,3	4,3	7,4
	60 – 90 cm	39						41	13	13	5	7	10,7	30,2	6,2	11,4	1,9	0,0
	0 – 60 cm	98		87	48	23	78	44	56	52	44	14	89,6	73,6	72,7	70,4	16,6	83,4
	0 – 90 cm	137						84	69	65	49	21	100,3	103,8	78,9	81,8	18,5	83,4
S2	0 – 30 cm	35		24	41	96	42	74	14	68	20	18	305,7	70,7	34,2	29,3	20,2	78,6
	30 – 60 cm	58		7	9	124	22	69	14	23	2	5	67,9	43,8	9,9	7,0	1,7	11,9
	60 – 90 cm	70						28	16	7	1	4	22,3	24,3	2,8	3,0	0,7	0,0
	0 – 60 cm	93		31	50	220	64	143	28	91	22	23	373,6	114,5	44,1	36,3	21,9	90,5
	0 – 90 cm	163						171	44	98	23	27	395,9	138,8	46,9	39,3	22,6	90,5
S3	0 – 30 cm	23		26	69	49	62	37	18	18	118	69	49,4	29,1	30,8	10,2	13,8	110,8
	30 – 60 cm	23		8	137	14	42	21	57	3	33	17	40,1	10,2	10,4	2,1	0,7	107,7
	60 – 90 cm	24						7	20	2	6	8	6,6	5,7	0,7	2,0	0,0	41,7
	0 – 60 cm	46		34	206	63	104	58	75	21	151	86	89,5	39,3	41,2	12,3	14,5	218,5
	0 – 90 cm	70						65	95	23	157	94	96,1	45,0	41,9	14,3	14,5	260,2
S4	0 – 30 cm	38		158	45	61	28	19	10	93	115	59	35,8	8,9	21,0	78,0	22,9	40,3
	30 – 60 cm	33		30	52	33	18	31	3	9	33	18	5,2	28,7	4,3	11,4	12,5	15,3
	60 – 90 cm	24						10	3	5	6	7	2,5	23,1	2,9	3,7	10,0	7,4
	0 – 60 cm	71		188	97	94	46	50	13	102	148	77	41,0	37,6	25,3	89,4	35,4	55,6
	0 – 90 cm	95						59	15	107	154	84	43,5	60,7	28,2	93,1	45,4	63,0
S5	0 – 30 cm	34		29	40	27	9	26	17	39	70	15	17,0	33,6	27,3	107,1	20,5	32,0
	30 – 60 cm	2		9	28	11	11	4	41	17	35	10	14,7	5,3	2,4	43,9	39,5	19,0
	60 – 90 cm	1						3	6	5	34	5	1,8	3,7	1,5	35,9	36,5	0,7
	0 – 60 cm	36		38	68	38	20	30	58	56	105	25	31,7	38,9	29,7	151,0	60,0	51,0
	0 – 90 cm	37						34	64	61	175	30	33,5	42,6	31,2	186,9	96,5	51,7
S6	0 – 30 cm	34		77	36	22	14	71	22	124	25	41	23,4	50,6	102,1	91,4	11,1	27,6
	30 – 60 cm	31		31	48	11	4	76	31	42	21	26	4,9	122,3	36,7	19,8	4,4	9,5
	60 – 90 cm	3						15	13	14	9	10	0,4	19,6	18,9	14,0	1,5	0,0
	0 – 60 cm	65		108	84	33	18	147	53	166	46	67	28,3	172,9	138,8	111,2	15,5	37,1
	0 – 90 cm	68						162	66	180	55	77	28,7	192,5	157,7	125,2	17,0	37,1
S7	0 – 30 cm	21		38	29	63	111	44	19	100	21	28	53,1	51,4	25,3	75,0	15,8	121,6
	30 – 60 cm	13		10	7	4	22	30	19	40	13	9	33,9	25,8	7,0	22,0	8,6	66,0
	60 – 90 cm	3						21	9	20	5	4	6,8	9,9	1,3	4,3	1,8	19,6
	0 – 60 cm	34		48	36	67	133	74	38	140	34	37	87	77,2	32,3	97,0	24,4	187,6
	0 – 90 cm	37						95	47	160	39	41	93,8	87,1	33,6	101,3	26,2	207,2
S8	0 – 30 cm	55		25	49	42	39	75	22	34	62	26	38,3	35,0	44,1	14,2	20,8	99,8
	30 – 60 cm	23		4	41	16	7	20	42	6	36	11	23,9	13,8	6,0	7,1	2,7	40,4

Anlage 6: Ergebnisse der Bodenuntersuchung: N_{min} Herbst (kg N/ha)

Schlag	Bodentiefe	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	60 – 90 cm	11						6	24	3	23	6	6,5	10,0	1,2	2,6	0,2	9,2
	0 – 60 cm	78		29	90	58	46	95	64	40	98	37	62,2	48,8	50,1	21,3	23,5	140,2
	0 – 90 cm	89						100	88	43	121	43	68,7	58,8	51,3	23,9	23,7	149,4
S9	0 – 30 cm	64		3	51	34	31	22	46	34	25	52	27,1	91,2	26,7	61,3	10,2	32,4
	30 – 60 cm	15		9	58	9	16	12	82	21	10	14	6,6	56,7	2,7	9,1	6,4	10,7
	60 – 90 cm	3						8	17	4	3	45	2,4	9,6	16,5	3,3	3,4	0,0
	0 – 60 cm	79		12	109	43	47	34	128	55	35	66	33,7	147,9	29,4	70,4	16,6	43,1
	0 – 90 cm	82						42	145	59	38	111	36,1	157,5	45,9	73,7	20	43,1
S10	0 – 30 cm	33		56	9	105	15	27	42	32	22	114	110,1	51,2	36,1	50,8	19,6	72,0
	30 – 60 cm	33		20	3	23	7	18	56	13	4	9	26,9	20,6	12,9	8,1	2,7	29,9
	60 – 90 cm	17						11	21	5	2	3	4,5	19,5	7,8	6,8	9,4	2,4
	0 – 60 cm	66		76	12	128	22	45	98	45	26	123	137	71,8	49	58,9	22,3	101,9
	0 – 90 cm	83						56	118	50	28	126	141,5	91,3	56,8	65,7	31,7	104,3

Anlage 7.1: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S1

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	W.-Weizen	Kartoffel	S.-Weizen	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel
Fruchtart	Kartoffel	S.-Weizen	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale
Stoppelbearbeitung						11.09.00 Mulchen 11.09.00 Grubber	15.08.01 Grubber 16.08.01 Pflug 13.11.01 Mulchen ZF	
Untersaat/ Zwischenfrucht	Aussaat ZF	25.04.97 Untersaat				17.08.01 Aussaat ZF		
Düngung	14.03.96 Stallmist					18.05.01 Gülle		
Grundboden- bearbeitung	16.04.96 Grubber 19.04.96 Pflug		03.09.97 Pflug	23.07.98 Pflug		09.10. Pflug	14.11.01 Pflug	23.09.02 Pflug
Saatbettbereitung	03.05.96 Grubber 06.05.96 Grubber	11.03.97 Grubber 12.03.97 Kompaktor	08.09.97 Kompaktor 16.09.97 Kompaktor	24.07.98 Kompaktor		09.10.00 Kompaktor	12.04.02 Kompaktor 22.04.02 Grubber 23.04.02 Grubber	24.09.02 Kompaktor 10.10.02 Grubber
Aussaat	06.05.96 Legen	12.03.97 Drillen	17.09.97 Drillen	24.07.98 Drillen		09.10.00 Drillen	23.04.02 Legen	10.10.02 Drillen
Pflege	10.06.96 Häufeln 25.06.96 Novodor spritzen			09.09.98 Mulchen 23.10.98 Mulchen 04.10.99 Mulchen 28.10.99 Mulchen	10.04.00 Ampfer stechen 11.09.00 Mulchen	03.05.01 Striegel	13.05.02 Blindstriegel 21.05.02 Hacken, Häufeln 03.06.02 Hacken, Häufeln 18.06.02 Häufeln 01.07.02 Novotor, Humin 11.07.02 Novotor, Humin 26.08.02 Kraut schlagen	22.04.03 Striegel 06.05.03 Striegel
Ernte	10.10.96 Roden	14.08.97 Mähdrusch	17.07.98 Mähdrusch	01.06.99 1. Schnitt 20.07.99 2. Schnitt	15.05.00 1. Schnitt 18.07.00 2. Schnitt	14.08.01 Mähdrusch	27.08.02 Roden	21.07.03 Mähdrusch

Fortsetzung Anlage 7.1: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S1

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer
Fruchtart	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras
Stoppelbearbeitung						22.08.08 Grubber 11.09.08 Kreiselegge	24.08.09 Stoppelbearb.	03.09.10 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht							24.08.09 Aussaat ZF	
Düngung				25.10.06 Stallmist	07.05.08 Gülle		24.08.09 Stallmist	
Grundbodenbearbeitung	05.04.04 Pflug	24.08.04 Pflug mit Packer		01.11.06 Pflug	17.10.07 Grubber 17.01.07 Pflug mit Packer	16.09.08 Pflug mit Packer	06.11.09 Pflug	08.09.10 Pflug mit Walze
Saatbettbereitung	06.04.04 Kombinator	24.08.04 Kompaktor		10.04.07 Grubber/Egge 16.04.07 Kreiselegge 24.04.07 Kompaktor	29.10.07 Kompaktor	18.09.08 Kompaktor 29.09.08 Kompaktor		11.08.10 Kreiselegge 11.09.10 Kompaktor
Aussaat	06.04.04 Drillen	26.08.04 Drillen		25.04.07 Legen	29.10.07 Drillen	30.09.08 Drillen	03.04.10 Drillen	12.09.10 Drillen
Pflege	04.05.04 Striegel	26.08.04 Walze 14.04.05 Striegel 14.04.05 Nachsaat 27.05.05 Mulchen		25.04.07 Häufeln 04.06.07 Rollhacke 05.06.07 Striegel 07.06.07 Rollhacke 15.06.07 Novodor spritzen 03.07.07 Novodor spritzen	07.05.08 Striegel	01.04.09 Striegel	17.05.10 Striegel	11.05.11 Mulchen
Ernte	25.08.04 Mähdrusch	26.07.05 1. Schnitt 13.10.05 2. Schnitt	13.06.06 1. Schnitt 26.07.06 2. Schnitt 19.09.06 3. Schnitt	27.09.07 Roden	05.08.08 Mähdrusch	06.08.09 Mähdrusch	11.08.10 Mähdrusch	26.07.11 1. Schnitt

Anlage 7.2: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S2

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	Luzernegras	Hafer	W.-Weizen	Klee gras	Klee gras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale
Fruchtart	Hafer	W.-Weizen mit Untersaat	Klee gras	Klee gras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste
Stoppelbearbeitung	06.11.96 Scheibenegge				20.07.99 Mulchen 17.08.99 Grubber	18.08.00 Grubber 24.08.00 Kompaktor		
Untersaat/ Zwischenfrucht	Aussaat ZF	25.04.97 Untersaat			28.08.00 Aussaat ZF	28.08.00 Aussaat ZF		
Düngung	10.05.96 Jauche				10.05.00 Gülle	02.11.00 Stallmist		04.09.02 Dolophos 06.09.02 Stallmist
Grundbodenbearbeitung		06.11.96 Pflug			04.10.99 Pflug	03.11.00 Pflug	12.10.01 Grubber, Pflug	12.09.02 Pflug
Saatbettbereitung	16.04.96 Grubber 17.04.96 Feingrubber	06.11.96 Kreiselegge			20.09.99 Kreiselegge 05.10.99 Kompaktor 06.10.99 Kompaktor	23.04.01 Schleppe 24.04.01 Grubber 02.05.01 Grubber		13.09.02 Grubber 19.09.02 Grubber
Aussaat	17.04.96 Drillen	06.11.96 Drillen	25.04.97 Untersaat		06.10.99 Drillen	02.05.01 Legen	15.10.01 Drillen	19.09.02 Drillen
Pflege	05.06.96 Striegel		06.11.98 Mulchen Nov. Sitzkrücken	30.03.99 Ampfer stechen	13.04.00 Striegel	11.05.01 Striegel 22.05.01 Hacke, Häufeln 30.05.01 Hacke, Häufeln 14.06.01 Hacke, Häufeln 29.06.01 Novodor, Humin 28.08.01 Kraut schlagen	26.04.02 Striegel 14.05.02 Striegel 21.05.02 Striegel	24.09.02 Blindstriegel 01.10.02 Striegel, Walze 23.04.03 Striegel
Ernte	03.09.96 Mähdrusch	14.08.97 Mähdrusch	02.06.98 1. Schnitt 06.08.98 2. Schnitt	01.06.99 1. Schnitt	10.08.00 Mähdrusch	09.08.01 Roden	21.08.02 Mähdrusch	14.07.03 Mähdrusch

Fortsetzung Anlage 7.2: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S2

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras
Fruchtart	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras
Stoppelbearbeitung			18.10.05 Mulchen 24.10.05 Grubber		31.08.07 Grubber	22.08.08 Stoppelbearb.	21.08.09 Grubber	
Untersaat/ Zwischenfrucht						22.08.08 Aussaat ZF		
Düngung		14.04.05 Stallmist	01.11.05 Stallmist	02.04.07 Min. Grunddüng 18.04.07 Gülle	31.08.07 Stallmist	10.11.08 Stallmist		
Grundbodenbearbeitung	05.08.03 Pflug		02.11.05 Pflug mit Packer	11.10.06 Pflug	31.08.07 Pflug mit Packer	12.11.08 Pflug	25.08.09 Plug mit Packer	
Saatbettbereitung			02.05.06 Kompaktor 04.05.06 Kompaktor 04.05.06 Grubber	11.10.06 Kompaktor 12.10.06 Kompaktor	24.09.07 Kompaktor 08.10.07 Kompaktor	03.04.09 Schleppe 03.04.09 Kompaktor	25.08.09 Kompaktor	
Aussaat	06.08.03 Drillen		04.05.06 Legen	12.10.06 Drillen	10.10.07 Drillen	03.04.08 Drillen	25.08.09 Drillen	25.08.09 Drillen
Pflege	07.04.04 1. Schröpfschnitt 26.04.04 2. Schröpfschnitt 20.10.04 Mulchen		24.05.06 Striegel, Hacke 12.06.06 Striegel, Häufeln 03.07.06 Hacke, Häufeln 06.07.06 PSM Novodor	03.04.07 Striegel 05.04.07 Striegel		07.04.09 Striegel	04.10.10 Mulchen	
Ernte	06.07.04 1. Schnitt 30.08.04 2. Schnitt	30.05.05 1. Schnitt 26.07.05 2. Schnitt 13.10.05 3. Schnitt	14.09.06 Roden	27.07.07 Mähdrusch	05.08.08 Mähdrusch	06.08.09 Mähdrusch	08.06.10 1. Schnitt 12.07.10 2. Schnitt 21.09.10 3. Schnitt	31.05.11 1. Schnitt 26.07.11 2. Schnitt

Anlage 7.3: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S3

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	W.-Roggen	Silomais	Hafer mit Untersaat	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste
Fruchtart	Silomais	Hafer mit Untersaat	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste	Kleegras
Stoppelbearbeitung		05.11.96 Mulchen		20.08.98 Grubber	17.08.99 Grubber 25.08.99 Grubber	21.09.00 Grubber		01.08.02 Stoppelbearb.
Untersaat/ Zwischenfrucht	Aussaat ZF 24.05.96 Untersaat	15.05.97 Untersaat		26.08.99 Aussaat ZF	26.08.99 Aussaat ZF		29.08.01 Stallmist 30.08.01 Dolophos	
Düngung	14.03.96 Stallmist			20.05.09 Gülle	22.09.99 Dolophos 27.10.99 Stallmist	21.09.00 Dolophos	29.08.01 Stallmist 30.08.01 Dolophos	27.08.02 Dolophos
Grundbodenbearbeitung	15.04.96 Pflug und Walze			09.10.98 Pflug und Walze	28.10.99 Grubber 16.11.99 Pflug	25.09.00 Pflug	31.08.01 Grubber 03.09.01 Pflug	22.08.02 Pflug
Saatbettbereitung	23.04.96 Kreiselegge	02.04.97 Feingrubber 03.04.97 Kompaktor		19.10.98 Kompaktor	10.04.00 Abschleppen 11.04.00 Grubbern 18.04.00 Grubbern	27.09.00 Kompaktor	05.10.01 Kompaktor	27.08.02 Kompaktor, Egge
Aussaat	26.04.96 Drillen	03.04.97 Drillen	15.05.97 Untersaat	20.10.98 Drillen	20.04.00 Legen	27.09.00 Drillen	06.10.01 Drillen	27.08.02 Drillen
Pflege	06.06.96 Striegel 10.06.96 Hackstriegel			25.03.99 Striegel 01.04.99 Striegel	02.05.00 Hacken, Häufeln 16.05.00 Striegel, Häufeln 13.06.00 Novodor, Humin 23.06.00 Novodor, Humin 24.08.00 Kraut schlagen		26.04.02 Striegel	28.08.02 Walzen 07.05.03 Schröpfungsschnitt
Ernte		14.08.97 Mähdrusch	02.06.98 1. Schnitt 06.08.98 2. Schnitt	10.08.99 Mähdrusch		31.07.01 Mähdrusch	22.07.02 Mähdrusch	12.06.03 1. Schnitt 16.10.03 2. Schnitt

Fortsetzung Anlage 7.3: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S3

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras
Fruchtart	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel
Stoppelbearbeitung						15.08.08 Grubber		13.10.10 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht					25.02.08 Aussaat ZF Mulchen ZF			
Düngung		19.08.04 Dolophos 19.08.04 Patentkali	11.05.06 Rindergülle					28.10.10 Stallmist
Grundbodenbearbeitung		08.11.04 Pflug 13.04.05 Kreiselegge 15.04.05 Pflug	30.09.05 Grubber 06.10.05 Pflug mit Packer	22.09.06 Pflug	02.04.08 Pflug mit Packer	20.08.08 Pflug mit Packer		28.10.10 Pflug
Saatbettbereitung		15.04.05 Kompaktor 18.04.05 Grubber	06.10.05 Kompaktor 10.10.06 Kompaktor	22.09.06 Kompaktor 25.09.06 Kompaktor	21.04.08 Kompaktor 23.04.08 Kompaktor	20.08.08 Kompaktor 26.08.08 Kompaktor		29.03.11 Kompaktor 18.04.11 Grubber 19.04.11 Kompaktor
Aussaat		18.04.05 Legen	11.10.05 Drillen	26.09.06 Drillen	24.04.08 Drillen	26.08.08 Drillen		19.04.11 Legen
Pflege		13.05.05 Striegel 26.05.05 Hacke	11.10.05 Walze 02.05.06 Striegel	03.04.07 Striegel	26.04.08 Walze 26.04.08 Striegel 19.05.08 Striegel	14.04.09 Mulchen		05.05.11 Striegel 10.05.11 Striegel 13.05.11 Häufeln 26.05.11 Hacke
Ernte	09.06.04 1. Schnitt 06.08.04 2. Schnitt 05.11.04 3. Schnitt	12.09.05 Roden	26.07.06 Mähdrusch	27.07.07 Mähdrusch	05.08.08 Mähdrusch	09.06.09 1. Schnitt 03.08.09 2. Schnitt	08.06.10 1. Schnitt 12.07.10 2. Schnitt	

Anlage 7.4: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S4

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	W.-Roggen	W.-Roggen	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste	Kleegras
Fruchtart	W.-Roggen	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras
Stoppelbearbeitung			25.08.97 Schwergrubber	31.08.98 Grubber		18.08.00 Grubber	25.07.01 Stoppelbearb.	
Untersaat/ Zwischenfrucht	30.04.96 Untersaat						13.08.01 Ansaat Kleegras	
Düngung				19.04.99 Thomasphosph.	22.09.99 Dolophos	17.08.00 Dolophos 22.08.00 Stallmist	30.08.01 Dolophos	04.09.02 Patentkali
Grundbodenbearbeitung	14.09.95 Pflug		23.09.97 Pflug und Walze	09.11.98 Pflug		24.08.00 Pflug, Kompaktor	10.08.01 Pflug	
Saatbettbereitung	18.09.95 Kreiselegge 25.09.95 Feingrubber		23.09.97 Dutzi 20.10.97 Kompaktor	12.04.99 Abschleppen 13.04.99 Feingrubber 28.04.99 Feingrubber	30.09.99 Grubber, Pflug 01.10.99 Kompaktor	21.09.00 Kompaktor	10.08.01 Kompaktor 13.08.01 Kompaktor	
Aussaat	26.09.95 Drillen	30.04.96 Untersaat	20.10.97 Drillen	29.04.99 Legen	01.10.99 Drillen	21.09.00 Drillen	13.08.01 Drillen	
Pflege	30.04.96 Striegel	05.06.96 Mulchen	23.04.98 Striegel	17.05.99 Striegel 18.05.99 Häufeln 07.06.99 Striegel, Hacken 16.08.99 Kraut schlagen	13.04.00 Striegeln		14.08.01 Walzen 29.10.01 Mulchen	
Ernte			17.08.98 Mähdrusch	24.09.99 Roden	10.08.00 Mähdrusch	13.07.01 Mähdrusch	31.05.02 1. Schnitt 25.07.02 2. Schnitt 02.09.02 3. Schnitt	03.06.03 1. Schnitt 25.07.03 2. Schnitt

Fortsetzung Anlage 7.4: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S4

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	Kleegras	W.-Weizen	W.-Roggen	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel
Fruchtart	W.-Weizen	W.-Roggen	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen
Stoppelbearbeitung	08.09.03 Mulchen						07.09.09 Mulchen 07.09.09 Grubber	24.09.10 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht					Aussaat ZF 25.02.08 Mulchen ZF 30.04.08 Mulchen ZF			
Düngung	18.05.04 Gülle							28.04.11 Rindergülle
Grundbodenbearbeitung	29.09.03 Pflug	04.10.04 Pflug	08.09.05 Grubber 29.09.05 Pflug mit Packer	06.11.06 Pflug	09.05.08 Grubber 12.05.08 Pflug		06.11.09 Pflug	05.10.10 Pflug mit Walze
Saatbettbereitung	13.10.03 Kompaktor	04.10.04 Kompaktor 05.10.04 Kompaktor	29.09.05 Kompaktor	13.03.07 Grubber 14.03.07 Kompaktor	12.05.08 Kompaktor 14.05.08 Kompaktor			06.10.10 Kompaktor
Aussaat	13.10.03 Drillen	05.10.04 Drillen	29.09.05 Drillen	15.03.07 Drillen	15.05.08 Drillen			11.10.10 Drillen
Pflege	01.04.04 Striegel 16.04.04 Striegel 27.04.04 Striegel	05.10.04 Walze		16.03.07 Striegel 26.04.07 Walze 26.04.07 Striegel	30.06.08 Mulchen		17.05.10 Striegel	21.04.11 Walze u. Striegel
Ernte	25.08.04 Mähdrusch	01.08.05 Mähdrusch	26.07.06 Mähdrusch	27.07.07 Mähdrusch	01.10.08 Schröpfschnitt	13.05.09 1. Schnitt 13.07.09 2. Schnitt	07.09.10 Roden	26.07.11 Mähdrusch

Anlage 7.5: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S5

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	S.-Gerste	Kleegras	Kleegras
Fruchtart	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	S.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen
Stoppelbearbeitung		09.09.96 Scheibenegge	25.08.97 Grubber		17.08.99 Grubber 25.08.99 Grubber 27.10.99 Mulchen ZF			24.09.02 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht					26.08.99 Ansaat ZF			14.08.03 Aussaat ZF Walzen
Düngung			06.11.97 Stallmist		22.09.99 Patentkali 27.10.99 Stallmist	20.08.00 Patentkali	22.08.01 Patentkali	
Grundbodenbearbeitung		12.09.96 Pflug und Walze	10.11.97 Pflug	09.10.98 Pflug	18.11.99 Pflug	22.08.00 Grubber 30.08.00 Pflug, Kompaktor		04.10.02 Pflug
Saatbettbereitung		16.10.96 Feingrubber	02.04.98 Kompaktor 20.04.98 Kompaktor 27.04.98 Grubber	19.10.98 Kompaktor	03.04.00 Grubber 11.04.00 Grubber			09.10.02 Kompaktor 10.10.02 Kompaktor
Aussaat		16.10.96 Drillen	27.04.98 Legen	19.10.98 Drillen	14.04.00 Drillen	01.09.00 Drillen		17.10.02 Drillen
Pflege			04.05.98 Abstriegeln 13.05.98 Häufeln 05.06.98 Abstriegeln 10.09.98 Krautschlagen	25.03.99 Striegel 01.04.99 Striegel	03.05.00 Striegel	10.05.01 Schröpfschnitt		25.04.03 Striegel 06.05.03 Striegel
Ernte	10.06.96 1. Schnitt 25.09.96 2. Schnitt	15.08.97 Mähdrusch	28.09.98 Roden	09.08.99 Mähdrusch	17.08.00 Mähdrusch	04.07.01 1. Schnitt 21.08.01 2. Schnitt	31.05.02 1. Schnitt 25.07.02 2. Schnitt 02.09.02 3. Schnitt	21.07.03 Mähdrusch

Fortsetzung Anlage 7.5: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S5

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	W.-Weizen	Kartoffel	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen
Fruchtart	Kartoffel	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	W.-Roggen
Stoppelbearbeitung			06.09.05 Grubber 07.09.05 Grubber				09.09.09 Grubber	06.09.10 Grubber 07.09.10 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht			07.09.05 Aussaat ZF					
Düngung	13.08.03 Stallmist		03.11.05 Stallmist			10.11.08 Stallmist	26.04.10 Rindergülle	
Grundbodenbearbeitung	27.10.03 Pflug	22.09.04 Pflug mit Packer	07.11.05 Pflug	17.08.06 Pflug		12.11.08 Pflug	16.09.09 Pflug mit Packer	06.10.10 Pflug mit Walze
Saatbettbereitung	31.03.04 Kompaktor 20.04.04 Kompaktor	04.10.04 Kompaktor 05.10.04 Kompaktor	25.04.06 Egge 26.04.06 Kompaktor	18.08.06 Kompaktor		13.04.09 Striegel 19.04.09 Grubber 20.04.09 Kompaktor	21.09.09 Kompaktor 05.10.09 Kompaktor	07.10.10 Kompaktor
Aussaat	21.04.04 Legen	05.10.04 Drillen	26.04.06 Drillen	19.08.06 Drillen		22.04.09 Legen	07.10.09 Drillen	11.10.10 Drillen
Pflege	28.05.04 Striegel 04.06.04 Hackstriegel 29.06.04 Novodor, Humin 29.06.04 Rollhacke 17.08.04 Krautschlagen	05.10.04 Walze	15.05.06 Walze 22.05.06 Striegel 06.06.06 Striegel	19.08.07 Walze		28.04.09 Striegel 20.05.09 Striegel 20.05.09 Hacke 26.05.09 Hacke	26.04.10 Striegel	30.03.11 Striegel
Ernte	20.09.04 Roden	01.08.05 Mähdrusch	16.08.06 Mähdrusch	21.05.07 1. Schnitt 12.07.07 2. Schnitt 16.10.07 3. Schnitt	02.06.08 1. Schnitt 24.07.08 2. Schnitt	27.08.09 Roden	11.08.10 Mähdrusch	26.07.11 Mähdrusch

Anlage 7.6: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S6

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	Kleegras	Winterweizen	Kartoffel	Winterroggen	Wintergerste	Kleegras	Kleegras	Kleegras
Fruchtart	W.-Weizen	Kartoffel	W.-Roggen	W.-Gerste	Kleegras	Kleegras	W.-Weizen	Kartoffel
Stoppelbearbeitung		07.11.96 Scheibenegge		13.08.98 Pflug, Grubber	17.08.99 Grubber		06.08.01 Grubber 07.08.01 Grubber	05.09.02 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht				14.08.98 Aussaat ZF				07.09.02 Aussaat ZF
Düngung	10.05.96 Jauche	05.12.96 Stallmist						
Grundbodenbearbeitung	10.10.95 Pflug	06.12.96 Pflug	22.09.97 Dutzi 23.09.97 Pflug	31.08.98 Pflug	25.08.99 Pflug		17.08.01 Pflug	07.11.02 Pflug
Saatbettbereitung	11.10.95 Kreiselegge 19.10.95 Kreiselegge		29.09.97 Kompaktor	25.09.98 Kompaktor	26.08.99 Kompaktor		17.08.01 Kompaktor 10.10.01 Kompaktor	15.04.03 Schleppen 22.04.03 Grubber
Aussaat	20.10.95 Drillen		29.09.97 Drillen	25.09.98 Drillen	26.08.99 Drillen		10.10.01 Drillen	23.04.03 Legen
Pflege				26.03.99 Striegel WG 01.04.99 Striegel WG 17.06.99 Disteln schneid.	27.10.99 Mulchen		26.04.02 Striegel 30.04.02 Hacke	05.05.03 Striegel 21.05.03 Striegel 10.06.03 Häufeln 23.06.03 Novotur spritzen
Ernte		10.09.97 Roden	05.08.98 Mähdrusch	12.07.99 Mähdrusch	15.05.00 1.Schnitt 18.07.00 2.Schnitt	30.05.01 1.Schnitt 20.07.01 2.Schnitt	21.08.02 Mähdrusch	10.09.03 Roden

Fortsetzung Anlage 7.6: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S6

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	Kartoffel	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale
Fruchtart	Triticale	Hafer	Kleegras	Kleegras	Kartoffel	W.-Weizen	Triticale	Hafer
Stoppelbearbeitung		01.09.04 Stoppelbearb.			08.11.07 Grubber	22.09.08 Grubber	21.08.09 Grubber	
Untersaat/ Zwischenfrucht		01.09.04 Aussaat ZF 02.09.04 Walze						
Düngung	08.09.03 Dolophos 08.09.03 Patentkali			06.11.07 Stallmist		22.04.09 Rindergülle		
Grundbodenbearbeitung	15.09.03 Pflug	04.11.04 Pflug	22.08.05 Pflug mit Packer		19.11.07 Pflug	26.09.08 Pflug	17.09.09 Pflug mit Packer	
Saatbettbereitung	15.09.03 Kompaktor	04.04.05 Kompaktor	25.08.05 Kompaktor 26.08.05 Kompaktor		24.04.08 Schleppe 05.05.08 Grubber 06.05.08 Kompaktor	26.09.08 Kompaktor 09.10.08 Kompaktor	21.09.09 Kompaktor 25.09.09 Kompaktor	23.03.11 Kompaktor
Aussaat	15.09.03 Drillen	05.04.05 Drillen	29.08.05 Drillen		06.05.08 Legen	09.10.09 Drillen	25.09.09 Drillen	24.03.11 Drillen
Pflege	01.04.04 Striegel 07.04.04 Striegel	04.05.05 Striegel 20.05.05 Striegel			14.05.08 Striegel 30.05.08 Striegel 04.06.08 Rollhacke 19.06.08 Rollhacke 30.06.08 Hacke, Häufeln 03.09.08 Kraut schlagen		28.09.09 Walzen	19.04.11 Striegel
Ernte	16.08.04 Mähdrusch	18.08.05 Mähdrusch	13.06.06 1. Schnitt 26.07.06 2. Schnitt 19.09.06 3. Schnitt	21.05.07 1. Schnitt 12.07.07 2. Schnitt 16.10.07 3. Schnitt	19.09.08 Roden	06.08.09 Mähdrusch	11.08.10 Mähdrusch	09.08.11 Mähdrusch

Anlage 7.7: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S7

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	Kartoffel	Ackerbohne	Grünhafer mit Klee gras	W.-Weizen	Klee gras	Klee gras	W.-Weizen	S.-Gerste
Fruchtart	Ackerbohne	Grünhafer mit Klee gras	W.-Weizen	Klee gras	Klee gras	W.-Weizen	S.-Gerste	Ackerbohne
Stoppelbearbeitung			08.10.97 Mulchen Klee 08.10.97 Kreiselegge			18.09.00 Grubber		30.08.02 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht		15.05.97 Untersaat						07.09.02 Aussaat ZF
Düngung								
Grundbodenbearbeitung	25.10.95 Pflug	11.11.96 Pflug	10.10.97 Pflug			28.09.00 Pflug	06.03.02 Pflug	13.11.02 Pflug
Saatbettbereitung	17.04.96 Feingrubber 18.04.96 Feingrubber 18.04.96 Kreiselegge		28.10.97 Kompaktor			12.10.00 Kompaktor	13.03.02 Kompaktor	24.03.03 Grubber 25.03.03 Grubber
Aussaat	18.04.96 Drillen	03.04.97 Drillen	28.10.97 Drillen	29.06.98 Drillen		13.10.00 Drillen	13.03.02 Drillen	31.03.03 Drillen
Pflege	31.05.96 Enviripel 05.06.96 Striegel		23.04.98 Striegel 29.06.98 Pflug, Umbruch	18.08.98 Mulchen 23.10.98 Mulchen 22.06.99 Mulchen 25.08.99 Mulchen	27.10.99 Mulchen 11.09.00 Mulchen		22.04.02 Striegel	01.04.03 Walzen 21.05.03 Striegel 27.07.03 Umbruch
Ernte	25.08.96 Mähdrusch	14.07.97 1. Schnitt		07.05.99 1. Schnitt 21.07.99 2. Schnitt	05.05.00 1. Schnitt 04.07.00 2. Schnitt	13.08.01 Mähdrusch	29.07.02 Mähdrusch	

Fortsetzung Anlage 7.7: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S7

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	Ackerbohne	W.-Roggen	Rotklee	W.-Weizen	Ackerbohne	W.-Roggen	Rotklee	W.-Weizen
Fruchtart	W.-Roggen	Rotklee	W.-Weizen	Ackerbohne	W.-Roggen	Rotklee	W.-Weizen	Ackerbohne
Stoppelbearbeitung			13.07.05 Grubber 02.08.05 Kompaktor			15.08.08 Grubber	07.09.09 Grubber	
Untersaat/ Zwischenfrucht	07.04.04 Kleeuntersaat		04.08.05 Aussaat ZF					
Düngung	08.09.03 Dolophos							
Grundbodenbearbeitung	29.09.03 Pflug	13.04.05 Umbruch Klee	10.10.05 Pflug mit Packer	27.03.07 Gruber 27.03.07 Pflug	10.09.07 Pflug	28.08.08 Pflug	28.09.09 Pflug mit Packer	
Saatbettbereitung	29.09.03 Kompaktor	04.05.05 Kreiselegge	11.10.05 Kompaktor	29.03.07 Kreiselegge	08.10.07 Kompaktor 12.10.07 Kompaktor	28.08.08 Kompaktor	28.09.09 Kompaktor	23.03.11 Kompaktor
Aussaat	30.09.03 Drillen	04.05.05 Drillen	11.10.05 Drillen	29.03.07 Drillen	15.01.07 Drillen	29.08.08 Drillen	29.09.09 Drillen	24.03.11 Drillen
Pflege	01.04.04 Striegel		04.05.06 Striegel	30.03.07 Walze/Striegel 07.05.07 Striegel		14.04.09 Mulchen	26.04.10 Striegel	19.04.11 Striegel
Ernte	16.08.04 Mähdrusch	kein verwertbarer Aufwuchs	26.07.06 Mähdrusch	06.08.07 Mähdrusch	05.08.08 Mähdrusch	09.06.09 1. Schnitt	11.08.10 Mähdrusch	09.08.11 Mähdrusch

Anlage 7.8: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S8

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	Ackerbohne	Dinkel mit Untersaat	W.-Roggen	S.-Gerste	Wickroggen	Rotklee	Rotklee	W.-Weizen
Fruchtart	Dinkel mit Untersaat	W.-Roggen	S.-Gerste	Wickroggen	Rotklee	Rotklee	W.-Weizen	S.-Gerste
Stoppelbearbeitung		09.09.96 Stoppelbearb.	14.08.97 Stoppelbearb. 29.10.97 Kreiselegge	10.08.98 Grubber 29.08.98 Grubber 28.09.98 Grubber	08.06.99 Mulchen			05.09.02 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht	Untersaat	30.04.96 Untersaat	14.08.97 Aussaat ZF					07.09.02 Aussaat ZF
Grundbodenbearbeitung		11.09.96 Pflug und Walze	30.10.97 Pflug	05.10.98 Pflug und Walze	20.07.99 Schwergrubber 23.07.99 Pflug		27.09.01 Pflug mit Packer	07.11.02 Pflug
Saatbettbereitung	04.10.95 Sch.-Egge, Pflug 09.10.95 Kreiselegge 20.10.95 Kreiselegge	17.09.96 Feingrubber 18.09.96 Feingrubber 19.09.96 Kreiselegge	29.03.98 Feingrubber 30.03.98 Kompaktor		25.07.99 Kompaktor		29.09.01 Kompaktor	24.03.03 Grubber 25.03.03 Grubber
Aussaat	20.10.95 Drillen	19.09.96 Drillen	30.03.98 Drillen	06.10.98 1. Saat 26.03.99 Nachsaat	26.07.99 Drillen		29.09.01 Drillen	31.03.03 Drillen
Pflege			06.04.98 Blindstriegeln 04.05.98 Striegel 10.06.98 Disteln schneid.		27.10.99 Mulchen 26.10.00 Mähen 02.11.00 Schwade verteil.	08.08.01 Ampfer stechen		01.04.03 Walzen, Striegel 06.05.03 Striegel 21.05.03 Striegel
Ernte		04.08.97 Mähdrusch	08.08.98 Mähdrusch	08.06.99 1. Schnitt	15.05.00 1. Schnitt 25.08.00 Mähdrusch	30.05.01 1. Schnitt	30.07.02 Mähdrusch	21.07.03 Drusch

Fortsetzung Anlage 7.8: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S8

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	S.-Gerste	Ackerbohne	W.-Weizen	Leguminosen-Gras	W.-Roggen	Hafer	W.-Roggen	Rotklee
Fruchtart	Ackerbohne	W.-Weizen	Rotklee	W.-Roggen	Hafer	W.-Roggen	Rotklee	Rotklee
Stoppelbearbeitung		07.09.04 Grubber	05.09.05 Grubber 23.06.06 Mulchen	25.08.06 Grubber		13.08.08 Kreiselegge	21.08.09 Grubber	
Untersaat/ Zwischenfrucht	19.05.04 Klee gras Unters.		05.09.05 Aussaat ZF 21.11.05 Mulchen ZF					
Düngung								
Grundbodenbearbeitung	29.10.03 Pflug	11.10.04 Pflug	06.12.05 Pflug	04.09.06 Pflug	07.12.07 Pflug	17.09.08 Pflug	26.08.09 Pflug	
Saatbettbereitung	30.03.04 Kreiselegge	11.10.04 Kompaktor	25.04.06 Egge 02.05.06 Striegel 03.05.06 Kompakter	25.09.06 Kompaktor 26.09.06 Kompaktor	29.02.08 Egge 11.03.08 Striegel 31.03.08 Kompaktor	17.09.08 Kompaktor 29.09.08 Kompaktor	26.08.09 Kompaktor	
Aussaat	01.04.04 Drillen	12.10.04 Drillen	03.05.06 Drillen	26.09.06 Drillen	31.03.08 Drillen	29.09.09 Drillen	28.08.09 Drillen	
Pflege	23.04.04 Striegel 19.05.04 Striegel	19.04.05 Striegel			01.04.08 Walze 01.04.08 Striegel 08.05.08 Striegel 19.05.08 Striegel 28.05.08 Mulchen	13.04.09 Striegel	28.08.09 Walzen	
Ernte	02.09.04 Mähdrusch	18.08.05 Mähdrusch	kein verwertbarer Bestand	06.08.07 Mähdrusch	05.08.08 Mähdrusch	06.08.09 Mähdrusch	08.06.10 1. Schnitt 12.07.10 2. Schnitt	26.07.11 1. Schnitt

Anlage 7.9: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S9

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	S.-Weizen/Durum	Sonnenblume	S.-Gerste	Ackerbohne	W.-Roggen	Silomais	Rotklee	Rotklee
Fruchtart	Sonnenblume	S.-Gerste	Ackerbohne	W.-Roggen	Silomais	Rotklee	Rotklee	W.-Weizen
Stoppelbearbeitung			14.08.97 Stoppelumbruch 29.10.97 Kreiselegge	24.08.98 Grubber 23.09.98 Grubber 28.09.98 Grubber	29.07.99 Schwergrubber 17.08.99 Grubber 15.11.99 Mulchen ZF	19.10.00 Mulchen		30.08.02 Grubber 11.09.02 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht	14.06.95 Untersaat		14.08.97 Aussaat ZF		26.08.99 Aussaat ZF			
Düngung					Gülle			
Grundbodenbearbeitung	01.11.95 Pflug		30.10.97 Pflug	05.10.98 Pflug und Walze	23.11.99 Pflug	24.11.00 Pflug		24.09.02 Pflug
Saatbettbereitung	18.04.96 Feingrubber 23.04.96 Kreiselegge	12.03.97 Feingrubber 13.03.97 Kompaktor	29.03.98 Feingrubber		18.04.00 Grubber, Egge 25.04.00 Kompaktor 04.05.00 Kompaktor	14.04.01 Abschleppen 02.05.01 Kompaktor 22.05.01 Kompaktor		25.09.02 Kompaktor 10.10.02 Kompaktor
Aussaat	26.04.96 Drillen	13.03.97 Drillen	30.03.98 Drillen	06.10.98 Drillen	10.05.00 Drillen	23.05.01 Drillen		11.10.02 Drillen
Pflege	10.06.96 Hackstriegel	12.05.97 Striegel	30.04.98 Striegel 12.05.98 Striegel 15.06.98 Neem spritzen	17.06.99 Disteln schneid.	30.05.00 Hackstriegel	03.07.01 Mulchen 13.07.01 Mulchen	15.07.02 Disteln stechen 18.08.02 Klee schwaden	23.04.03 Striegel 05.05.03 Striegel
Ernte		07.08.97 Mähdrusch	17.08.98 Drusch Parzellen 20.08.98 Mulchen Fläche	26.07.99 Mähdrusch	27.09.00 Hächseln	21.08.01 1. Schnitt	20.08.02 Mähdrusch	21.07.03 Mähdrusch

Fortsetzung Anlage 7.9: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S9

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	W.-Weizen	Hafer	Ackerbohne	W.-Roggen	Leguminosengras, Erbse	W.-Weizen	Ackerbohne	W.-Roggen
Fruchtart	Hafer	Ackerbohne	W.-Roggen	Leguminosengras, Erbse	W.-Weizen	Ackerbohne	W.-Roggen	Hafer
Stoppelbearbeitung			06.09.05 Grubber			22.08.08 Stoppelbearb.	21.08.09 Grubber	08.10.10 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht		03.05.05 Grasuntersaat				22.08.08 Aussaat ZF		
Düngung								
Grundbodenbearbeitung	28.10.03 Pflug	04.11.04 Pflug	30.09.05 Pflug	05.09.06 Pflug	23.08.07 Pflug	24.11.08 Pflug	23.09.09 Pflug	09.10.10 Pflug mit Walze
Saatbettbereitung	30.03.04 Kreiselegge	04.04.05 Kompaktor 05.04.05 Kompaktor	30.09.05 Kompaktor	05.09.06 Kompaktor 06.09.06 Kompaktor	16.09.07 Striegel 08.10.07 Kompaktor 12.10.07 Kompaktor	03.04.09 Kompaktor	23.09.09 Kompaktor	23.03.11 Kompaktor
Aussaat	01.04.04 Drillen	05.04.05 Drillen	04.10.05 Drillen	06.09.06 Drillen Leg.-Gras 11.05.07 Drillen Erbse	15.10.07 Drillen	03.04.09 Drillen	23.09.09 Drillen	24.03.11 Drillen
Pflege	05.04.04 Walze 06.04.04 Striegel 13.04.04 Striegel 04.05.04 Striegel	12.04.05 Walze 22.04.05 Striegel 03.05.05 Striegel		06.09.06 Walze 10.05.07 Mulchen 10.05.07 Grubber, Umbr. 10.05.07 Kreiselegge 11.05.07 Walze 01.06.07 Rototiller 20.08.07 Grubber, Umbr.		07.04.09 Striegel 21.04.09 Striegel		30.03.11 Striegel
Ernte	25.08.04 Mähdrusch	30.08.05 Mähdrusch	26.07.06 Mähdrusch			05.08.08 Mähdrusch kein verwertbarer Bestand	11.08.10 Mähdrusch	26.07.11 Mähdrusch

Anlage 7.10: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S10

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vorfrucht	Kartoffel	S.-Gerste	Ackerbohne	Triticale	Kleegras	W.-Weizen	S.-Gerste	Ackerbohne
Fruchtart	S.-Gerste	Ackerbohne	Triticale	Kleegras	W.-Weizen	S.-Gerste	Ackerbohne	W.-Roggen
Stoppelbearbeitung			28.08.97 Stoppelbearb. 08.09.97 Grubber	10.08.98 Stoppelbearb.	25.08.99 Mulchen 30.08.99 Grubber	11.08.00 Grubber 18.08.00 Walzen 17.11.00 Mulchen	16.08.01 Grubber	04.08.03 Stoppelbearb.
Untersaat/ Zwischenfrucht			26.05.97 Aussaat W.-Gras			11.08.00 Aussaat ZF	17.08.01 Aussaat ZF	08.08.03 Aussaat Rootklee
Düngung								
Grundbodenbearbeitung	26.10.95 Pflug		22.09.97 Pflug	24.08.98 Pflug	20.09.99 Pflug mit Packer	23.11.00 Pflug mit Packer	14.11.01 Pflug	23.09.02 Pflug
Saatbettbereitung	17.04.96 Grubber 18.04.96 Feingrubber	14.03.97 Feingrubber	30.09.97 Kompaktor	25.08.98 Kompaktor	05.10.99 Kompaktor 06.10.99 Kompaktor	03.04.01 Kompaktor		30.09.02 Kompaktor
Aussaat	18.04.96 Drillen	14.03.97 Drillen	30.09.97 Drillen	25.08.98 Drillen	06.10.99 Drillen	03.04.01 Drillen	05.04.02 Drillen	01.10.02 Drillen
Pflege	05.06.96 Striegel		Juni Disteln schneid.	22.06.99 Mulchen		10.05.01 Striegel		05.05.03 Striegel
Ernte	03.09.96 Mähdrusch	27.08.97 Mähdrusch	05.08.98 Mähdrusch	10.05.99 1. Schnitt 21.07.99 2. Schnitt	10.08.00 Mähdrusch	14.08.01 Mähdrusch	23.08.02 Mähdrusch	21.07.03 Mähdrusch

Fortsetzung Anlage 7.10: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen – Schlag S10

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vorfrucht	W.-Roggen	Rotklee	Rotklee	W.-Raps, W.-Weizen	W.-Weizen	Ackerbohne	Rotklee	Rotklee
Fruchtart	Rotklee	Rotklee	W.-Raps, W.-Weizen	S.-Weizen	Ackerbohne	Rotklee	Rotklee	W.-Weizen
Stoppelbearbeitung			31.08.05 Kombinator			21.08.08 Kreiselegge 18.11.08 Mulchen		08.10.10 Grubber
Untersaat/ Zwischenfrucht								
Düngung	19.04.04 Patentkali							
Grundbodenbearbeitung	07.08.03 Pflug		01.09.05 Pflug	28.03.07 Grubber, Umbr. W-Weizen 02.04.07 Pflug	06.12.07 Pflug	27.08.08 Pflug	22.04.09 Pflug	09.10.10 Pflug mit Walze
Saatbettbereitung	07.08.03 Grubber 07.08.03 Walze		01.09.05 Kompaktor Raps 14.10.05 Kompaktor WW	02.04.07 Kompaktor 03.04.07 Kreiselegge	11.03.08 Striegel 31.03.08 Kompaktor 23.04.08 Kompaktor	27.08.08 Kreiselegge 27.08.08 Kompaktor		11.10.10 Kompaktor
Aussaat	08.08.03 Drillen		02.09.05 Drillen Raps 14.10.05 Drillen WW	03.04.07 Drillen	24.04.08 Drillen	28.08.08 Drillen	23.04.09 Neuansaat	11.10.10 Drillen
Pflege	07.04.04 Mulchen 27.04.04 Mulchen 27.05.04 Schröpschnitt	24.05.05 Schröpschnitt	05.09.05 Walze 12.10.05 Teilumbr. Raps 02.05.06 Striegel	03.04.07 Walze 03.04.07 Striegel 07.05.07 Striegel	26.04.08 Striegel 03.05.08 Striegel 08.05.08 Striegel 19.05.08 Striegel 28.05.08 Rotary Hoe 30.05.08 Striegel	14.04.09 Mulchen 21.04.09 Mulchen	23.04.09 Walzen	30.03.11 Striegel 21.04.11 Walze u. Striegel
Ernte	20.07.04 1. Schnitt 30.08.04 2. Schnitt	24.05.05 Mähdrusch	25.07.06 Drusch Raps 26.07.06 Drusch WW	06.08.07 Mähdrusch	19.08.08 Mähdrusch	09.06.09 1. Schnitt 09.09.09 Mähdrusch		26.07.11 Mähdrusch

Anlage 8: Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Schwefel auf den viehrefeichen (S1 – S6) und viehlosen Ackerschlügen (S7 – S10)

Nährstoff	Bilanz-Komponente		S1	S2	S3	S4	S5	S6	MW Viehrefeich	S7	S8	S9	S10	MW Viehlos
N-Schlagbilanz(brutto)	N-Düngung	kg/ha	39,3	68,3	30,6	26,7	40,1	22,5	37,9	0,0	0,0	3,2	0,0	0,8
	N-Bindung symbiotisch	kg/ha	40,6	60,0	59,9	56,5	67,3	66,4	58,5	56,5	60,7	52,8	42,7	53,2
	N-Bindung asymbiotisch	kg/ha	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	N-Deposition	kg/ha	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	N-Zufuhr (gesamt)	kg/ha	119,9	168,3	130,5	123,3	147,3	128,9	136,4	96,5	100,7	96,0	82,7	94,0
	N-Entzug gesamt	kg/ha	105,5	118,7	117,3	118,1	124,2	134,4	119,7	67,5	52,9	75,4	64,1	65,0
	N-Bilanz	kg/ha	14,3	49,6	13,2	5,1	23,2	-5,5	16,7	29,0	47,9	20,6	18,6	29,0
	N-Effizienz	% (Zufuhr = 100)	88,0	70,5	89,9	95,8	84,3	104,2	87,8	69,9	52,5	78,5	77,5	69,1
N-Schlagbilanz (brutto, inkl. Boden-N)	N-Düngung	kg/ha	39,3	68,3	30,6	26,7	40,1	22,5	37,9	0,0	0,0	3,2	0,0	0,8
	N-Bindung symbiotisch	kg/ha	40,6	60,0	59,9	56,5	67,3	66,4	58,5	56,5	60,7	52,8	42,7	53,2
	N-Bindung asymbiotisch	kg/ha	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	N-Deposition	kg/ha	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	N ₂ -Bodenbilanz	kg/ha	77,3	12,9	115,9	12,9	-7,7	-18,0	38,6	12,9	-7,7	25,8	25,8	18,0
	N-Zufuhr (gesamt)	kg/ha	197,2	181,2	246,4	136,2	139,6	110,9	175,0	109,4	93,0	121,8	108,5	112,0
	N-Entzug gesamt	kg/ha	105,5	118,7	117,3	118,1	124,2	134,4	119,7	67,5	52,9	75,4	64,1	65,0
	N-Saldo	kg/ha	91,6	62,5	129,1	18,0	15,5	-23,5	55,3	41,9	40,2	46,4	44,4	47,0
	N-Effizienz	% (Zufuhr = 100)	53,5	65,5	47,6	86,8	88,9	121,2	68,4	61,7	56,8	61,9	59,1	58,0
P-Bilanz	P-Düngung	kg/ha	15,6	25,5	25,1	18,9	12,1	7,7	17,5	3,5	0,0	0,5	0,0	1,0
	P-Entzug	kg/ha	14,6	16,2	15,5	17,4	17,9	20,2	17,0	13,7	15,0	17,4	15,3	15,3
	P-Bilanz	kg/ha	1,0	9,3	9,7	1,5	-5,8	-12,5	0,5	-10,1	-15,0	-16,9	-15,3	-14,3
K-Bilanz	K-Düngung	kg/ha	50,7	77,3	68,6	28,5	59,7	31,3	52,7	0,0	0,0	2,1	2,9	1,3
	K-Entzug	kg/ha	80,4	102,0	96,7	95,1	91,5	103,6	94,9	54,4	69,8	70,0	64,7	64,7
	K-Bilanz	kg/ha	-29,7	-24,7	-28,1	-66,6	-31,9	-72,3	-42,2	-54,4	-69,8	-67,9	-61,7	-63,5
Mg-Bilanz	Mg-Düngung	kg/ha	10,3	16,0	19,2	12,6	9,8	6,5	12,4	2,4	0,0	0,6	0,7	0,9
	Mg-Entzug	kg/ha	11,5	13,2	12,7	14,6	13,7	14,2	13,3	8,7	10,7	10,3	10,7	10,1
	Mg-Bilanz	kg/ha	-1,1	2,8	6,5	-1,9	-3,9	-7,7	-0,9	-6,3	-10,7	-9,7	-10,0	-9,2
S-Bilanz (BEFU-Berechnung)	S-Düngung	kg/ha	5,2	10,8	9,0	3,4	7,3	4,1	6,6	0,6	0,0	0,0	0,1	0,2
	S-Deposition	kg/ha	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	S-Zufuhr (gesamt)	kg/ha	13,2	17,8	17,0	11,4	15,3	12,1	14,6	8,6	8,0	8,0	8,1	8,2
	S-Entzug	kg/ha	10,5	12,1	11,1	12,0	12,6	13,5	12,0	2,1	3,0	4,6	2,4	3,0
	S-Saldo	kg/ha	2,7	5,7	5,9	-0,6	2,7	-1,4	2,6	6,5	5,0	3,4	5,7	5,2

Anlage 9: Korrelationen¹⁾ (r) zwischen den ermittelten Merkmalen der 10 Ackerschläge (einseitiger Test)

	GE-Ertrag	N-Bindung	N-Zufuhr	N-Saldo1	N-Effizienz1	N-Saldo2	N-Effizienz2	P-Saldo	K-Saldo	N-Mineralis.	N _{min} -Frühj.	N _{min} -Herbst	C _{org} -Diff.	N _t -Diff.	P-DL	K-DL	Mg-CaCl ₂	pH-Wert	Humus-Saldo	Hu.-Saldo-C _{org}	C/N-Diff.	P-Diff.-Boden	K-Diff.-Boden	
GE-Ertrag	-																							
N-Bindung	0,515*	-																						
N-Zufuhr	0,667**	0,552*	-																					
N-Saldo1	-0,546*	0,056	0,050	-																				
N-Effizienz1	0,764**	0,102	0,342	0,916***	-																			
N-Saldo2	-0,412	-0,413	0,051	0,218	-0,167	-																		
N-Effizienz2	0,779**	0,568*	0,326	-0,528*	0,604*	-0,835***	-																	
P-Saldo	0,440	0,132	0,779**	-0,018	0,333	0,544*	-0,129	-																
K-Saldo	0,143	0,014	0,680**	0,208	0,091	0,624*	-0,319	0,802***	-															
N-Mineralis.	-0,097	0,033	-0,572*	-0,287	0,019	-0,206	0,149	-0,495	-0,713**	-														
N _{min} -Frühj.	-0,164	-0,467	-0,318	-0,169	0,080	-0,162	-0,034	-0,160	-0,175	-0,237	-													
N _{min} -Herbst	0,411	0,317	0,431	-0,021	0,207	0,058	0,195	0,489	0,140	0,250	-0,117	-												
C _{org} -Diff.	-0,705**	-0,104	-0,424	0,641*	-0,753**	0,194	-0,505*	-0,328	-0,127	0,273	0,103	0,200	-											
N _t -Diff.	0,189	0,436	-0,031	0,194	-0,210	-0,915***	0,620*	-0,553*	-0,546*	0,091	0,099	-0,059	0,072	-										
P-DL	-0,250	0,299	-0,523*	-0,019	-0,215	-0,494	0,209	-0,773**	-0,682**	0,440	0,130	-0,233	0,370	0,490	-									
K-DL	0,221	0,420	0,029	-0,213	0,194	0,006	0,174	0,000	-0,308	0,614*	-0,506*	0,469	0,036	-0,089	0,341	-								
Mg-CaCl ₂	0,811***	0,279	0,524*	-0,591*	0,756**	-0,092	0,451	0,525*	0,381	-0,317	0,022	0,114	-0,704**	-0,155	-0,276	0,000	-							
pH-Wert	-0,095	0,327	-0,464	-0,300	0,039	-0,362	0,218	-0,529*	-0,610*	0,488	0,181	-0,162	0,150	0,241	0,826***	0,316	-0,031	-						
Humus-Saldo	-0,697**	-0,207	-0,212	0,873***	-0,873***	0,239	-0,604*	-0,163	0,133	-0,190	0,185	0,017	0,858***	0,122	0,104	-0,320	-0,642*	-0,185	-					
Hu.-Saldo-C _{org}	0,157	0,002	0,210	-0,226	0,286	0,246	-0,131	0,304	0,305	-0,544*	0,132	-0,436	-0,530*	-0,342	-0,025	-0,044	0,530*	0,112	-0,337	-				
C/N-Diff.	-0,452	-0,462	-0,239	0,297	-0,379	0,431	-0,592*	-0,097	0,067	-0,103	-0,280	-0,489	-0,039	-0,310	-0,189	-0,089	-0,360	-0,263	0,151	0,257	-			
P-Diff.-Boden	0,105	-0,203	0,309	-0,002	0,109	0,358	-0,252	0,573*	0,339	-0,420	0,232	0,080	-0,320	-0,354	-0,555*	-0,292	0,168	-0,223	-0,097	0,386	0,323	-		
K-Diff.-Boden	0,465	-0,121	0,194	-0,117	0,241	-0,112	0,179	0,342	0,077	-0,039	0,290	0,537*	-0,070	0,071	-0,309	0,000	0,423	-0,342	-0,003	-0,101	-0,327	0,148	-	
Mg-Diff.-Boden	-0,383	0,017	-0,213	0,287	-0,336	-0,129	-0,077	-0,252	-0,225	0,116	0,408	0,236	0,606*	0,251	0,307	-0,070	-0,484	0,244	0,499*	-0,451	-0,442	-0,281	-0,169	

1) Signifikante Korrelationen gelb hervorgehoben

IMPRESSUM

Herausgeber:

Dr. Hartmut Kolbe, Altes Dorf 19, D-04435 Schkeuditz

E-Mail: hartmutkolbe@yahoo.de

Autoren:

Dr. Dietmar Meyer, G.U.B. Ingenieur AG, Niederlassung Dresden

Dr. Hartmut Kolbe, Schkeuditz

Martina Schuster, LfULG, Abteilung 3, Informations- und Servicestelle, Rötha

Bildnachweis:

Titelfoto: LfULG

Redaktionsschluss:

November, 2021

Hinweis:

Der Bericht steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden.