

Berichte aus dem Ökolandbau 2022

Nachwirkungsvermögen von Zwischenfrüchten und organischer Düngung



Einfluss des Zwischenfruchtanbaus auf das
Nachwirkungsvermögen organischer
Düngemittel beim Anbau von Kartoffeln,
Weizen und Mais auf einem Lehmboden im
ökologischen Landbau
Ergebnisse aus Feld- und Gefäßversuchen

Peter Müller, Dr. Wilfried Schliephake & Dr. Hartmut Kolbe

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
2	Material und Methoden.....	12
2.1	Gefäßversuch	12
2.2	Feldversuch	16
2.2.1	Standortbeschreibung	16
2.2.2	Versuchsaufbau.....	17
2.2.3	Versuchsauswertung	21
2.3	Untersuchungsmethoden.....	22
3	Ergebnisse und Diskussion.....	23
3.1	Gefäßversuch	23
3.1.1	Versuchsjahr 2000/2001.....	23
3.1.2	Versuchsjahr 2001/2002.....	35
3.1.3	Versuchsjahr 2002/2003.....	46
3.1.4	Erträge und Nährstoffentzüge im Verlauf der drei Versuchsjahre.....	51
3.1.5	Auswirkungen der dreijährigen Versuchsausführung auf den Boden	64
3.1.6	Schlussfolgerungen zum Gefäßversuch	71
3.2	Feldversuch	74
3.2.1	Grundnährstoffgehalte im Boden und Nährstoffentzüge der Hauptfrüchte	74
3.2.2	Zwischenfruchtanbau und N _{min} -Gehalt des Bodens.....	83
3.2.3	Erträge der Hauptfrüchte in den einzelnen Untersuchungsjahren	98
3.2.4	Nährstoffbilanzen.....	105
3.2.5	Qualitätsparameter	110
3.2.6	Schlussfolgerungen zum Feldversuch	114
4	Fazit	120
5	Literaturverzeichnis	122
6	Anhang	123
6.1	Gefäßversuche	123
6.2	Feldversuche	124

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gebildete Frischmasse der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von den organischen Düngern im Herbst des Jahres 2000 in den Gefäßversuchen.....	23
Abbildung 2: Knollenansatz bei Kartoffeln in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten im Gefäßversuch	26
Abbildung 3: Beziehungen zwischen den Gehalten an Chlorophyll der Blätter von Kartoffeln und den angesetzten Knollen im Gefäßversuch	26
Abbildung 4: Beziehungen zwischen den während der Vegetation an zwei Terminen gemessenen N-Testerwerten und dem N-Entzug durch die Kartoffeln im Gefäßversuch	29
Abbildung 5: Beziehung zwischen den N-Gehalten und den Stärkegehalten in der Knollen-TM der Gefäßversuche	30
Abbildung 6: Einfluss der organischen Düngung auf den P _{DL} -Gehalt des Bodens (Mittelwerte über alle Varianten der Zwischenfrüchte).....	31
Abbildung 7: Wirkung der organischen Düngung in den Gefäßen ohne Zwischenfrüchte auf den P _{DL} -Gehalt des Bodens.....	32
Abbildung 8: Einfluss der Zwischenfrüchte auf den P _{DL} -Gehalt des Bodens (Mittelwert über die Varianten der organischen Düngung).....	32
Abbildung 9: pH-Werte nach der Kartoffelernte in den Zwischenfruchtprüfgliedern im Gefäßversuch (Durchschnitt der Düngungsvarianten).....	33
Abbildung 10: Einfluss der organischen Düngung auf den K _{DL} -Gehalt des Bodens (Mittelwerte über alle Varianten der Zwischenfrüchte).....	33
Abbildung 11: Einfluss der organischen Düngung auf den K _{DL} -Gehalt des Bodens im Durchschnitt der Gefäße ohne Zwischenfruchtanbau	34
Abbildung 12: Einfluss des Zwischenfruchtanbaus auf die K _{DL} -Gehalte im Boden im Durchschnitt der Gefäße der Prüfglieder der organischen Düngung.....	34
Abbildung 13: Einfluss der organischen Dünger auf den Mg-Gehalt im Boden der Gefäßversuche	35
Abbildung 14: Wirkung der Zwischenfrüchte auf den Mg-Gehalt im Boden der Gefäßversuche im ersten Anbaujahr	35
Abbildung 15: Beziehungen zwischen den N-Testerwerten und der Wuchshöhe des Sommerweizens in den Gefäßversuchen des Jahres 2002	37
Abbildung 16: Beziehungen zwischen der gebildeten Frischmasse der Zwischenfrüchte und der Korn trockenmasse des Sommerweizens.....	38
Abbildung 17: TKM des Sommerweizens in den einzelnen Prüfgliedern des Gefäßversuches.....	40
Abbildung 18: P _{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr 2002 in den Varianten der organischen Düngung mit Zwischenfrüchten	42
Abbildung 19: P _{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern der organischen Düngung ohne Zwischenfruchtanbau	42
Abbildung 20: P _{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern des Zwischenfruchtanbaus	43
Abbildung 21: K _{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Varianten der organischen Düngung mit Zwischenfrüchten	43
Abbildung 22: K _{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern mit organischer Düngung ohne Zwischenfrüchte	44
Abbildung 23: K _{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr der Prüfglieder mit Zwischenfruchtanbau	44
Abbildung 24: Mg-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr der Prüfglieder mit organischer Düngung mit Zwischenfrüchten	45
Abbildung 25: Mg-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern mit organischer Düngung ohne Zwischenfrüchte	45
Abbildung 26: Mg-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr der Varianten mit Zwischenfruchtanbau	46
Abbildung 27: Der pH-Wert im Boden im zweiten Versuchsjahr der Prüfglieder mit Zwischenfruchtanbau.....	46
Abbildung 28: Maispflanzen in den Gefäßen mit Gülledüngung nach den verschiedenen Zwischenfrüchten	48
Abbildung 29: Darstellung des Ertragsverlaufs an Mais-TM in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten im dritten Versuchsjahr (2003).....	49

Abbildung 30: Relative Veränderung der TM-Erträge (oben) und der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel im Durchschnitt der Varianten ohne Zwischenfrüchte (Variante ohne Düngung = 100 %)	56
Abbildung 31: Relative Veränderung der TM-Erträge (oben) und der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel im Durchschnitt der Varianten mit und ohne Zwischenfrüchte (Variante ohne Düngung = 100 %)	57
Abbildung 32: Relative Veränderung der TM-Erträge (oben) und der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel in den Varianten mit Zottelwicke (Variante ohne Düngung = 100 %)	59
Abbildung 33: Relative Veränderung der Summe der PKMg-Entzüge der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel in den Varianten mit Zottelwicke (Variante ohne Düngung = 100 %)	60
Abbildung 34: Relative Veränderung der TM-Erträge der Hauptfrüchte in den Jahren 2001 – 2003 durch wiederholten Anbau von Zwischenfrüchten in den Varianten ohne organische Düngung (oben) und im Durchschnitt der Varianten ohne und mit organischer Düngung (unten) (Varianten ohne Zwischenfrüchte = 100 %)	61
Abbildung 35: Relative Veränderung der NPKMg-Entzüge (oben) bzw. der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den Jahren 2001 – 2003 durch wiederholten Anbau von Zwischenfrüchten im Durchschnitt der Varianten mit und ohne organische Düngung (Varianten ohne Zwischenfrüchte = 100 %)	63
Abbildung 36: Entwicklung der P_{DL} -Gehalte des Bodens im Verlauf von drei Versuchsjahren von 2001 nach Kartoffeln bis nach Mais in 2003 in den Prüfgliedern der organischen Düngung im Durchschnitt der Varianten mit und ohne Zwischenfrüchte	64
Abbildung 37: Entwicklung der P_{DL} -Gehalte des Bodens in Folge von drei Versuchsjahren in den Prüfgliedern der organischen Düngung im Durchschnitt der Varianten ohne Zwischenfruchtanbau	65
Abbildung 38: Entwicklung der P_{DL} -Gehalte des Bodens im Verlauf von drei Versuchsjahren in den Zwischenfrucht-Varianten	65
Abbildung 39: Entwicklung der K_{DL} -Gehalte des Bodens in den Prüfgliedern mit organischen Düngern im Verlauf der Versuchsjahre nach Kartoffeln in 2001 bis nach Mais in 2003	66
Abbildung 40: Entwicklung der K_{DL} -Gehalte des Bodens in Folge von drei Versuchsjahren in den Varianten mit unterschiedlichem Zwischenfruchtanbau	66
Abbildung 41: Entwicklung der Mg-Gehalte des Bodens nach drei Versuchsjahren in den Prüfgliedern mit organischen Düngern	67
Abbildung 42: Entwicklung der Mg-Gehalte des Bodens in Folge von drei Versuchsjahren in den Zwischenfrucht-Varianten	67
Abbildung 43: Entwicklung der pH-Werte im Boden im Verlauf von drei Versuchsjahren nach Kartoffeln in 2001 bis nach Mais in 2003 in den Prüfgliedern mit Zwischenfruchtanbau	68
Abbildung 44: Entwicklung der pH-Werte in den Düngevarianten des Feldversuchs	74
Abbildung 45: Entwicklung des pflanzenverfügbaren Magnesiums in den organischen Düngevarianten	75
Abbildung 46: Entwicklung des laktatlöslichen Phosphors in den organischen Düngevarianten	75
Abbildung 47: Entwicklung des laktatlöslichen Kaliums in den organischen Düngevarianten	76
Abbildung 48: Entwicklung der N_T -Gehalte in den Düngevarianten	76
Abbildung 49: Entwicklung der C_{org} -Gehalte in den Düngevarianten	77
Abbildung 50: Entwicklung der mittleren C:N-Verhältnisse in den Düngevarianten	77
Abbildung 51: P_{CAL} -Gehalte in der Variante ohne organische Dünger	78
Abbildung 52: Zusammenhang zwischen dem K_{CAL} -Gehalt des Bodens und dem K-Entzug der Hauptfrüchte im Jahr 2003/2004	82
Abbildung 53: Zusammenhang zwischen dem K_{CAL} -Gehalt des Bodens und dem K-Entzug der Hauptfrüchte im Jahr 2008/2009	82
Abbildung 54: Zusammenhang zwischen dem P_{CAL} -Gehalt im Boden und dem P-Entzug durch die angebauten Hauptfrüchte im Jahr 2008/2009	83
Abbildung 55: Trockenmasseertrag und C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002	86
Abbildung 56: N-Entzug und N-Gehalt der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002	86

Abbildung 57: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N-Verhältnis in den Zwischenfrüchten im Versuchsjahr 2001/2002	87
Abbildung 58: N_{min} -Gehalt in 0 – 90 cm Bodentiefe im Herbst in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002.....	88
Abbildung 59: N_{min} -Gehalt im Frühjahr in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002	88
Abbildung 60: Trockenmasseertrag und C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004	89
Abbildung 61: N-Entzug und N-Gehalt der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004.....	89
Abbildung 62: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004	90
Abbildung 63: N-Aufnahme der Zwischenfrüchte und N_{min} -Gehalt des Bodens im Herbst des Versuchsjahres 2003/2004.	90
Abbildung 64: N_{min} -Gehalt im Frühjahr in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004	91
Abbildung 65: Trockenmasseertrag und C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006	91
Abbildung 66: N-Entzug und N-Gehalt der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006.....	92
Abbildung 67: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006	92
Abbildung 68: Zusammenhang zwischen N_{min} -Gehalt im Frühjahr und der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006.....	93
Abbildung 69: Regression zwischen N-Gehalt und C:N-Verhältnis der angebauten Zwischenfrüchte in der gesamten Versuchsreihe	94
Abbildung 70: Beziehung zwischen den N_{min} -Gehalten im Herbst und im Frühjahr – 2001/2002.....	94
Abbildung 71: Beziehung zwischen den N_{min} -Werten im Frühjahr und nach der Ernte – 2001/2002.....	96
Abbildung 72: Beziehung zwischen den N_{min} -Gehalten in der Vegetation und nach der Ernte – 2005/2006.....	96
Abbildung 73: Beziehung zwischen dem N_{min} -Gehalt in der Vegetation (0 – 60 cm Bodentiefe) und dem Ertrag an Kartoffeln im Anbaujahr 2003/2004	98
Abbildung 74: Erträge der Hauptfrüchte in Getreideeinheiten der Düngungsvarianten über den Versuchszeitraum	102
Abbildung 75: Relativerträge der Hauptfrüchte der Düngungsvarianten über den Versuchszeitraum (Varianten ohne Düngung = 100 %)	103
Abbildung 76: Erträge der Hauptfrüchte in Getreideeinheiten der Zwischenfruchtvarianten über den Versuchszeitraum ..	104
Abbildung 77: Relativerträge der Hauptfrüchte in Abhängigkeit von den angebauten Zwischenfrüchten im Versuchszeitraum (Variante ohne Zwischenfrüchte = 100 %).....	104
Abbildung 78: Beziehungen zwischen den N-Salden und der jährlichen Veränderung der C_{org} -Gehalte des Bodens in Folge acht Versuchsjahren.....	109
Abbildung 79: Beziehungen zwischen den K-Salden und der jährlichen Veränderung der CAL-löslichen K-Gehalte im Boden	110
Abbildung 80: Beziehung zwischen dem Bedeckungsgrad und dem Kartoffelertrag im Versuchsjahr 2003/2004	112
Abbildung 81: Beziehung zwischen der Wuchshöhe und dem Bedeckungsgrad des Kartoffelkrautes im Versuchsjahr 2003/2004	112
Abbildung 82: Beziehung zwischen dem Kornertag und der Wuchshöhe bei Winterweizen	113
Abbildung 83: Beziehung zwischen dem Kornertag und der TKM von Winterweizen	114
Abbildung 84: Relative Veränderung der GE-Erträge der Hauptfrüchte im Versuchsverlauf durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel im Durchschnitt der Zwischenfrucht-Varianten im Feldversuch (Variante ohne Düngung = 100 %)	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zu den Prüfgliedern des Gefäßversuches.....	12
Tabelle 2: Eingesetzte organische Dünger mit ihren Nährstoffgehalten.....	13
Tabelle 3: Mit den organischen Düngern eingesetzte Nährstoffmengen (g/Gefäß).....	14
Tabelle 4: Übersicht zu den durchgeführten Maßnahmen.....	15
Tabelle 5: Standortfaktoren der Versuchsstation Roda.....	16
Tabelle 6: Monatstemperaturen sowie Monatsniederschläge der Versuchsjahre – Wetterstation Roda.....	17
Tabelle 7: Prüfglieder mit den entsprechenden Prüffaktoren.....	18
Tabelle 8: Fruchtfolge im Versuchszeitraum und Angaben zum Zwischenfruchtanbau und der organischen Düngung.....	18
Tabelle 9: Saattermine, Saatstärke und Saattiefe der Zwischenfrüchte.....	19
Tabelle 10: Ausgebrachte Mengen an organischen Düngern.....	19
Tabelle 11: Inhaltsstoffe der organischen Dünger im Versuch Ro 24.....	19
Tabelle 12: Ausgebrachte Nährstoffmengen in den Applikationsjahren.....	20
Tabelle 13: Größe der Anlage- und Ernteparzellen.....	20
Tabelle 14: Versuchsjahre und Parzellen in denen es zu Problemen bei der Erfassung kam.....	21
Tabelle 15: Frischmasse der Zwischenfrüchte (g/Gefäß) in Abhängigkeit von den eingesetzten Düngemitteln im Herbst des Jahres 2000.....	24
Tabelle 16: Gehalte an Chlorophyll (Relativwerte) am 20.08.2000 von Buchweizen und Örettich in Abhängigkeit von der organischen Düngung.....	24
Tabelle 17: Ergebnisse der Chlorophyllmessung (Relativwerte) an Kartoffelblättern zu zwei Terminen im Jahr 2001.....	25
Tabelle 18: TM-Erträge (g/Gefäß) der Kartoffeln in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten im Gefäßversuch.....	27
Tabelle 19: N-Entzug der Kartoffeln (g/Gefäß; Spross u. Knollen) in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den Zwischenfrüchten im Gefäßversuch.....	28
Tabelle 20: Relativer Mehr- bzw. Minderentzug an Nährstoffen durch die Kartoffeln im Durchschnitt der organischen Düngung nach Zwischenfruchtanbau im Gefäßversuch (Ohne Zwischenfrucht = 100 %)......	28
Tabelle 21: Nährstoffentzug von P, K und Mg durch die Kartoffeln (Spross u. Knollen; g/Gefäß) in Abhängigkeit von der organischen Düngung und dem Zwischenfruchtanbau im Gefäßversuch.....	29
Tabelle 22: Übersicht zu den Stärkegehalten (% i.d. TM) in den Kartoffelknollen.....	30
Tabelle 23: Nach der Kartoffelernte ermittelte N _{min} -Gehalte (mg N/Gefäß) im Boden der Gefäßversuche.....	31
Tabelle 24: Frischmasseerträge (g/Gefäß) der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von den eingesetzten organischen Düngern im Herbst 2001.....	36
Tabelle 25: Ergebnisse der N- und C-Bestimmung (% i.d. TM) an Mischproben von Buchweizen- und Örettich-Aufwüchsen im Jahr 2001.....	36
Tabelle 26: Kornenerträge (g TM/Gefäß) des Sommerweizens in den Gefäßversuchen.....	37
Tabelle 27: Erträge an Stroh (g TM/Gefäß) des Sommerweizens in den Gefäßversuchen.....	38
Tabelle 28: Nährstoffentzug (g/Gefäß; Korn u. Stroh) durch den Sommerweizen.....	39
Tabelle 29: Relativer Mehr- bzw. Minderentzug an Nährstoffen durch den Sommerweizen in den Zwischenfruchtvarianten (Ohne Zwischenfrucht = 100 %)......	39
Tabelle 30: Rohproteingehalt (% i.d. Korn-TM) des Sommerweizens in den Gefäßversuchen.....	40
Tabelle 31: Nach der Ernte des Sommerweizens ermittelte N _{min} -Gehalte im Boden (mg N/Gefäß).....	41
Tabelle 32: Frischmasse (g/Gefäß) der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von den eingesetzten organischen Düngern im Herbst 2002 der Gefäßversuche.....	47
Tabelle 33: Ergebnisse der N- und C-Bestimmung (% i.d. TM) an Mischproben von Buchweizen- und Örettich-Aufwüchsen im Jahr 2002.....	47
Tabelle 34: Sprosserträge (g TM/Gefäß) des angebauten Mais im Jahr 2003 der Gefäßversuche.....	48
Tabelle 35: Berechnete Nährstoffentzüge (g Reinnährstoff/Gefäß) durch die Sprossaufwüchse an Mais.....	49
Tabelle 36: Relativer Mehr- bzw. Minderentzug an Nährstoffen durch den angebauten Mais in den Zwischenfrucht-Varianten (Ohne Zwischenfrucht = 100 %)......	50

Tabelle 37: Einfluss der organischen Düngung und des Anbaus von Zwischenfrüchten auf Qualitätsmerkmale der Sprossaufwüchse von Mais (3. Versuchsjahr 2003).....	51
Tabelle 38: Relativerträge an Hauptprodukt-TM (Kartoffeln, Sommerweizen, Mais) in den jeweiligen Prüfgliedern im Durchschnitt der drei Versuchsjahre (Variante Stallung ohne Zwischenfrucht = 100%).....	52
Tabelle 39: Nährstoffentzüge (g Reinnährstoff/Gefäß) durch die angebauten Hauptfrüchte im Durchschnitt der dreijährigen Versuchsdurchführung	53
Tabelle 40: Scheinbare relative Ausnutzung der mit den organischen Düngern über die drei Versuchsjahre zugeführten Nährstoffe (Gesamtzufuhr je Nährstoff = 100 %).....	54
Tabelle 41: Im letzten Versuchsjahr 2003 nach der Ernte des Mais ermittelte N_{min} -Gehalte im Boden (mg N/Gefäß).....	64
Tabelle 42: Gehalte an C_{org} , N_t und weiteren Makronährstoffen (% i.d. TM) nach dreijähriger Versuchsdurchführung im Boden der Gefäßversuche	69
Tabelle 43: C:N-Verhältnisse im Boden ($N = 1$) in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten	71
Tabelle 44: Mittlere jährliche Entwicklung der Nährstoffe und anderer Merkmale im Boden der Düngevarianten über den Versuchszeitraum von 2001 - 2009.....	78
Tabelle 45: Mittlere Bodenuntersuchungsergebnisse der Zwischenfruchtvarianten über den Versuchszeitraum 2001 – 2009	79
Tabelle 46: Zusammenfassende Ergebnisse über die Veränderung der Nährstoffgehalte und der pH-Werte des Bodens in Folge fortgesetzter organischer Düngung und Zwischenfruchtanbau im Durchschnitt der Anbaujahre 2002 – 2009.....	81
Tabelle 47: Korrelationskoeffizienten zwischen den Bodengehalten und den Nährstoffentzügen der Hauptfrüchte	83
Tabelle 48: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002.....	84
Tabelle 49: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004	84
Tabelle 50: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006.....	85
Tabelle 51: Korrelationskoeffizienten zwischen den Herbst- und den Frühjahrs- N_{min} -Werten.....	94
Tabelle 52: N-Aufnahme vor Winter durch die Zwischenfrüchte, Veränderung der N_{min} -Gehalte über Winter sowie Relation zwischen der N-Aufnahme und den N_{min} -Werten in den Jahren 2001/2002 und 2003/2004	95
Tabelle 53: Übersicht über die ermittelten Korrelationskoeffizienten der N_{min} -Untersuchungen.....	96
Tabelle 54: Zusammenfassende Ergebnisse über die Veränderung der N_{min} -Werte (kg N/ha) im Frühjahr, in der Vegetationsmitte und nach der Ernte im ersten Abschnitt (2001/2002 – 2004/2005) und im zweiten Versuchsabschnitt (2005/2006 – 2008/2009).....	97
Tabelle 55: Knollenerträge (dt FM/ha) bei Kartoffeln der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2001/2002.....	99
Tabelle 56: Knollenerträge (dt FM/ha) von Kartoffeln der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2003/2004.....	99
Tabelle 57: Knollenerträge (dt FM/ha) bei Kartoffeln der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2006/2007.....	99
Tabelle 58: Kernerträge (dt FM/ha) von Wintertriticale der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2002/2003.....	100
Tabelle 59: Kernerträge (dt FM/ha) bei Wintergerste der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2004/2005	100
Tabelle 60: Kernerträge (dt FM/ha) von Winterweizen der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2007/2008	101
Tabelle 61: Kernerträge (dt FM/ha) von Wintertriticale der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2008/2009.....	101
Tabelle 62: Silomaiserträge (dt FM/ha) der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2005/2006	102
Tabelle 63: Zusammenfassende Ergebnisse an Getreideeinheiten (dt GE/ha) der Varianten ohne und mit Düngung in der ersten und zweiten Versuchshälfte (ohne Düngung = 100 %).....	103
Tabelle 64: Zusammenfassende Ergebnisse der GE-Erträge der Hauptfrüchte (dt/ha) durch den Zwischenfruchtanbau in der ersten und zweiten Versuchshälfte (ohne Zwischenfrüchte = 100 %).....	105
Tabelle 65: Zufuhr*, Entzug, Saldo und Ausnutzung an Stickstoff in den Prüfgliedern über den Versuchszeitraum von acht Jahren	106
Tabelle 66: Düngung, Entzug, Saldo und Ausnutzung an Phosphor in den Prüfgliedern über den Versuchszeitraum von acht Jahren.....	107
Tabelle 67: Düngung, Entzug, Saldo und Ausnutzung von Kalium in den Prüfgliedern über den Versuchszeitraum von acht Jahren	108
Tabelle 68: Chlorophyll-, Stärke- und N-Gehalt in den Prüfgliedern über die Versuchsjahre bei den Kartoffeln	111
Tabelle 69: Korrelationen zwischen einigen Ertragskomponenten und Inhaltsstoffen bei den angebauten Getreidearten und Silomais.....	113

Tabelle 70: Zusammenfassende Ergebnisse über die Relativerträge der Hauptfrüchte in Abhängigkeit von Düngung und Zwischenfruchtanbau im Mittel der Jahre (Kombination Ohne Düngung u. Ohne Zwischenfruchtanbau = 100 %)	118
Tabelle A 1: Gehalte an pflanzenverfügbaren Spurennährstoffen (mg/kg Boden) nach dreijähriger Versuchsdurchführung im Versuchsboden der jeweiligen Prüfglieder des Gefäßversuches	123
Tabelle A 2: Trockenmasseerträge, Nährstoffgehalte sowie –entzüge der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002	124
Tabelle A 3: Trockenmasseerträge, Nährstoffgehalte sowie –entzüge der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004	125
Tabelle A 4: Trockenmasseerträge, Nährstoffgehalte sowie –entzüge der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006	126
Tabelle A 5: N _{min} -Gehalte vor und nach Winter (kg N/ha, 0 – 90 cm Tiefe) und N-Aufnahmen in den Jahren des Zwischenfruchtanbaus	127
Tabelle A 6: N _{min} -Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm, Veg. 0 – 60 cm Tiefe) nach Winter und Ernte der Hauptfrucht in den Jahren des Zwischenfruchtanbaus	128
Tabelle A 7: N _{min} -Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm, Veg.: 0 – 60 cm Tiefe) im Jahr 2002/2003 nach erfolgter organischer Düngung	129
Tabelle A 8: N _{min} -Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm Tiefe) im ersten Jahr nach der Düngung und dem Zwischenfruchtanbau (2004/2005) u. 2006/2007)	130
Tabelle A 9: Veränderung der N _{min} -Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm, Veg. 0 – 60 cm Tiefe) in den drei Nachlieferungsjahren 2006 – 2008	131
Tabelle A 10: Relativerträge der Hauptfrüchte der Versuchsvarianten in den einzelnen Anbaujahren (Prüfglieder ohne Düngung und ohne Zwischenfruchtanbau = 100 %)	132
Tabelle A 11: Erträge der Hauptfrüchte in Getreideeinheiten (dt GE/ha) der Düngungsvarianten über den Versuchszeitraum	133
Tabelle A 12: Auswirkungen der angebauten Zwischenfrüchte auf den GE-Ertrag der Hauptfrüchte (dt/ha) im Versuchszeitraum	133
Tabelle A 13: Knolleneigenschaften der Kartoffeln im Versuchsjahr 2003/2004	134
Tabelle A 14: Anzahl Ähren (je laufenden Meter) bei Wintergerste im Anbaujahr 2004/2005	135
Tabelle A 15: Wuchshöhe (cm) der Wintergerste im Jahr 2004/2005	135
Tabelle A 16: Tausendkornmasse (TKG in g) der Wintergerste im Versuchsjahr 2004/2005	135
Tabelle A 17: Ährenanzahl (je laufenden Meter) von Winterweizen im Jahr 2007/2008	136
Tabelle A 18: Wuchshöhe (cm) des Winterweizens im Versuchsjahr 2007/2008	136
Tabelle A 19: Ährenanzahl (je laufenden Meter) bei Wintertriticale des Jahres 2008/2009	136
Tabelle A 20: Wuchshöhe (cm) bei Wintertriticale im Versuchsjahr 2008/2009	137
Tabelle A 21: Tausendkornmasse (g) der Wintertriticale im Versuchsjahr 2008/2009	137

Abkürzungsverzeichnis

B	Bor
BfUL	Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
C _{org} , C _t	Gesamtkohlenstoff
Cu	Kupfer
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
FJ	Frühjahr
FM	Frischmasse
hwI	Heißwasserlöslich
K _{CAL}	Calciumacetat-lösliches Kalium
K _(DL)	Doppellaktat-lösliches Kalium
K _t	Gesamt-Kalium
lfd. m.	Laufender Meter
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Mg _{CaCl2}	Calciumchlorid-lösliches Magnesium
Mo	Molybdän
n.b.	Nicht bestimmt
n.E.	Nach der Ernte
N _t	Gesamt-Stickstoff
OS	Originalsubstanz
org.	Organisch
P _{CAL}	Calciumacetat-lösliches Phosphat
P _(DL)	Doppellaktat-lösliches Phosphat
P _t	Gesamtphosphor
pfvb	Pflanzenverfügbar
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WH	Wuchshöhe
Zn	Zink

1 Einleitung

Die Nährstoffversorgung der Pflanzenbestände im ökologischen Landbau fußt auf den Säulen der organischen Düngung und der Luftstickstoffbindung der Leguminosen. Der Anbau von Zwischenfrüchten kann zur Nährstoffmobilisierung beitragen. Der Einsatz von wirtschaftseigenen bzw. zugekauften Düngern im Frühjahr stellt oft den für den Ertrag optimalen Zeitpunkt dar. Besonders trifft das natürlich bei Anwendung von Gülle bzw. Gärresten zu. Bei unzureichender Lagerkapazität bzw. bei Zukauf von Düngern kann die Anwendung nach der Ernte der Hauptfrüchte im Spätsommer angezeigt sein. Eine Möglichkeit, den bereits im Herbst freigesetzten pflanzenverfügbaren Stickstoff zu konservieren, bietet vor Sommerungen der Anbau von Zwischenfrüchten. Mit ihnen werden vor allem eine hohe Stickstofffixierung in Verbindung mit einer Nährstoffkonservierung über den Winter sowie eine gute Unkrautunterdrückung angestrebt (KOLBE et al., 2004).

Von Interesse ist somit die Frage nach dem Leistungsvermögen verschiedener Zwischenfrüchte sowohl zur N-Bindung und Nährstoffaufnahme als auch zur Freisetzung und Nährstoffbereitstellung für die nachgebauten Früchte. Beeinflusst wird dieses Mobilisierungspotenzial auch von der gebildeten Biomasse und den C:N-Verhältnissen in den Zwischenfrüchten. Oft kann beobachtet werden, dass die Wiederfreisetzung der in den Zwischenfrüchten eingebundenen Nährstoffe bei intensivem Wachstum und hohem Nährstoffbedarf der nachfolgend angebauten Kultur eher verhalten und begrenzt ist.

Der direkte Einfluss von Zwischenfrüchten auf die Nachfrüchte Kartoffeln und Mais wurde u.a. in Gefäß- und Feldversuchen von SCHLIEßER et al. (2010) ausführlich beschrieben. Doch wie verändert sich das Angebot an Nährstoffen und das Ertragspotenzial der Fruchtarten unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus, wenn die Nachwirkung nicht nur auf einem Jahr, sondern auf dem mehrfachen Anbau spezifischer Zwischenfrüchte und Düngungsmaßnahmen zurückliegender Anbaujahre beruht?

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurden eine dreijährige Gefäßversuchsreihe und ein Dauerfeldversuch durchgeführt. Durch den Einsatz unterschiedlicher organischer Dünger in Kombination mit verschiedenen Zwischenfrüchten sollte im Gefäßversuch geklärt werden, wie die nachgebauten Hauptfrüchte mit ihren Erträgen und Nährstoffentzügen reagieren. Von Interesse dabei war, welche grundlegenden Reaktionen durch die unterschiedlichen Kombinationen an organischen Stoffen auf die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe im Boden eingetreten sind.

In dem Feldversuch auf einem Lehm Boden (Ökofeld Roda, MEYER et al., 2021) wurden die gleichen organischen Dünger mit weitgehend denselben Zwischenfruchtarten geprüft. Die Feldversuchsreihe war dabei so angelegt, dass die Auswirkung der Düngemittel in Kombination mit den Zwischenfrüchten auf den Ertrag der angebauten Hauptfrüchte und den Boden in den nachfolgenden Jahren überprüft werden konnten. Aus dieser Versuchsreihe liegen daher insgesamt Ergebnisse aus 8 Jahren vor.

Als Zielstellung wurde darüber hinaus in beiden Versuchsanstellungen geprüft, welche Wechselwirkungen bei fortgesetztem Zwischenfruchtanbau und organischer Düngung auf den Nährstoffumsatz im Boden sowie auf Ertrag und Qualität der nachgebauten Hauptfrüchte sich entwickelt haben. Die Versuche werden detailliert dargestellt, da sehr interessante und aktuelle Ergebnisse ermittelt werden konnten. Die Veröffentlichung richtet sich an Einrichtungen zur Beratung und Forschung zum ökologischen Landbau.

2 Material und Methoden

2.1 Gefäßversuch

Die Untersuchungen wurden in der Gefäßstation des LfULG in Leipzig durchgeführt. Die Prüffaktoren mit den jeweiligen Varianten sind in Tabelle 1 zusammengestellt worden. Als Boden wurde ein nährstoffverarmerter Lehm Boden aus Löss verwendet. Für die Versuchsdurchführung wurde der Boden mit Quarzsand im Verhältnis 1:1 gemischt. Die verwendeten MITSCHERLICH-Gefäße wurden mit 5 kg dieses Boden-Sand-Gemisches befüllt. Im Sommer 2000 begann die Versuchsserie in Form eines dreijährigen Dauerversuches mit der Zugabe der organischen Dünger einschließlich der mineralischen Grunddüngung und dem Anbau der Zwischenfrüchte. Die mit den organischen Düngern ausgebrachten Nährstoffmengen stehen in Tabelle 2. Grundlage der Bemessung von Grüngutkompost, Stallmist und Gülle war die Gesamt-N-Menge. Die zugeführte organische Substanz wurde einheitlich je Gefäß mit 2,5 g Gesamtstickstoff bemessen. Die insgesamt damit ausgebrachten Makronährstoffe finden sich in Tabelle 3. Als Grunddünger wurden zusätzlich zu allen Gefäßen (auch Varianten ohne Zwischenfrüchte) jeweils 0,2 g/Gefäß P als $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 1,0 g/Gefäß K als K_2SO_4 und 0,15 g/Gefäß Mg als MgSO_4 zum Zeitpunkt vor Aussaat der Zwischenfrüchte gegeben und gleichmäßig in den Boden eingemischt.

Tabelle 1: Übersicht zu den Prüfgliedern des Gefäßversuches

Variante	Gefäßnummer/Wiederholung				Prüffaktor A: Organische Dünger	Prüffaktor B: Zwischenfrüchte
	1	2	3	4		
1.1	1	2	3	4	ohne	ohne
1.2	5	6	7	8	ohne	Buchweizen
1.3	9	10	11	12	ohne	Ölrettich
1.4	13	14	15	16	ohne	Welsches Weidelgras
1.5	17	18	19	20	ohne	Zottelwicke
2.1	21	22	23	24	Grüngutkompost	ohne
2.2	25	26	27	28	Grüngutkompost	Buchweizen
2.3	29	30	31	32	Grüngutkompost	Ölrettich
2.4	33	34	35	36	Grüngutkompost	Welsches Weidelgras
2.5	37	38	39	40	Grüngutkompost	Zottelwicke
3.1	41	42	43	44	Stallmist	ohne
3.2	45	46	47	48	Stallmist	Buchweizen
3.3	49	50	51	52	Stallmist	Ölrettich
3.4	53	54	55	56	Stallmist	Welsches Weidelgras
3.5	57	58	59	60	Stallmist	Zottelwicke
4.1	61	62	63	64	Gülle	ohne
4.2	65	66	67	68	Gülle	Buchweizen
4.3	69	70	71	72	Gülle	Ölrettich
4.4	73	74	75	76	Gülle	Welsches Weidelgras
4.5	77	78	79	80	Gülle	Zottelwicke

Die Zwischenfrüchte wurden mit Saatüberschuss ausgesät und nach dem Auflaufen auf 19 Buchweizen- und Zottelwickenpflanzen, auf 5 Ölrettich- und auf 10 Welsche Weidelgras-Pflanzen vereinzelt. Zum Höhepunkt ihrer Entwicklung wurde geerntet und die gewachsene Frischmasse bestimmt. Von Buchweizen und Ölrettich wurde im zweiten und dritten Anbaujahr eine Mischprobe über alle Prüfglieder zur Bestimmung des C/N-Verhältnisses entnommen. Nach der Frischmassebestimmung wurden die Zwischenfrüchte gehäckselt und umgehend wieder in den Boden des jeweiligen Versuchsgefäßes eingemischt. Über Winter blieb der Boden feucht und abgedeckt. Im Frühjahr erfolgte der Anbau der jeweils vorgesehenen Hauptfrüchte. Nach deren Ernte erfolgten erneut die Ausbringung der Dünger und der Anbau der Zwischenfrüchte. Als Hauptfrüchte kamen im Jahr 2001 Kartoffeln, 2002 Sommerweizen und im Jahr 2003 Mais zum Anbau. Zur Hauptfrucht selbst erfolgte keine Düngung. Angaben zu den einzelnen Maßnahmen der Versuchsdurchführung finden sich in Tabelle 4: Übersicht zu den durchgeführten Maßnahmen.

Von den angebauten Früchten wurden die Haupt- und Nebenprodukte je Gefäß geerntet und die Frisch- und Trockenmasse ermittelt. An Mischproben der jeweiligen vier Wiederholungen je Prüfglied wurden die Nährstoffgehalte zur Berechnung der Entzüge bestimmt. Zusätzlich wurden verschiedene Qualitätsmerkmale der Ernteprodukte festgestellt. Bei den Kartoffeln betraf das den Stärkegehalt, beim Weizen neben dem Rohproteingehalt die erzielte Tausendkornmasse und beim Mais die Rohasche, Rohfaser und die Enzymlöslichkeit der gebildeten organischen Substanz.

Nach der Ernte erfolgte an Bodenmischproben der jeweiligen Prüfglieder die Ermittlung der verbliebenen N_{\min} -Reste, der pH-Werte sowie der pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte im DL-Extrakt bzw. der Mg-Gehalte in der $CaCl_2$ -Lösung. Zum Abschluss der dreijährigen Versuchsreihe wurde der Boden darüber hinaus auf den Gehalt an Gesamtstickstoff, -kohlenstoff, -phosphor, -kalium und -magnesium sowie den Spurenelementen Bor, Zink, Kupfer, Mangan und Molybdän untersucht. Die Laboruntersuchungen wurden im BfUL in Leipzig durchgeführt. Der relative Chlorophyllwert grüner Pflanzenmaterialien wurde mit MINOLTA SPAD 502 ermittelt (N-Tester).

Tabelle 2: Eingesetzte organische Dünger mit ihren Nährstoffgehalten

Jahr	Organischer Dünger	TM (%)	pH-Wert	N	lös. N	P	K	Mg	C	C/N-Verhältnis
				(% i.d. OS)	(% i.d. TM)					
2000	Grüngutkompost	62,1	7,4	0,75	0,033	0,23	1,00	0,38	17,5	14,5
	Stallmist	22,1	8,2	0,55	0,130	0,76	3,37	0,60	40,6	16,3
	Gülle	9,0	7,5	0,31	0,120	1,04	2,83	0,70	n.b.	n.b.
2001	Grüngutkompost	72,7	7,6	1,13	0,021	0,30	1,23	n.b.	17,9	11,5
	Stallmist	22,1	8,2	0,55	0,130	0,76	3,37	0,60	40,6	16,3
	Gülle	9,3	6,9	0,43	0,200	0,71	4,11	0,89	n.b.	n.b.
2002	Grüngutkompost	57,9	7,5	0,82	0,007	0,32	1,20	0,42	17,5	12,3
	Stallmist	18,8	8,2	0,49	0,071	0,57	3,31	0,53	66,6	25,5
	Gülle	9,6	7,8	0,38	0,150	0,89	2,54	0,51	n.b.	n.b.

n.b = nicht bestimmt

Tabelle 3: Mit den organischen Düngern eingesetzte Nährstoffmengen (g/Gefäß)

Jahr	Organischer Dünger	Dünger-FM	N	P	K	Mg
2000	Grüngutkompost	333	2,5	0,48	2,06	0,78
	Stallmist	455	2,5	0,76	3,39	0,60
	Gülle	806	2,5	0,75	2,05	0,51
2001	Grüngutkompost	220	2,5	0,48	1,97	n.b.
	Stallmist	455	2,5	0,76	3,39	0,60
	Gülle	581	2,5	0,38	2,22	0,48
2002	Grüngutkompost	304	2,5	0,57	2,10	0,74
	Stallmist	510	2,5	0,55	3,17	0,51
	Gülle	658	2,5	0,56	1,60	0,32
Summe	Grüngutkompost	857	7,5	1,53	6,13	1,52*
2000 -	Stallmist	1420	7,5	2,07	9,95	1,71
2002	Gülle	2045	7,5	1,69	5,87	1,31

*2001 nicht bestimmt!

Tabelle 4: Übersicht zu den durchgeführten Maßnahmen

Versuchsjahr	Datum der Maßnahme	Maßnahme
2000/2001	28.06.2000	Versuchsansatz mit mineralischer Grunddüngung und Einarbeitung der organischen Dünger
	03.07.2000	Aussaat der Zwischenfrüchte
	07.07.2000	Aufgang der Zwischenfrüchte
	25.08.2000	Ernte und Einarbeitung von Buchweizen und Örettich
	26.08.2000	Ernte und Einarbeitung der Zottelwicke
	28.08.2000	Ernte und Einarbeitung von Welschem Weidelgras
	24.04.2001	Kartoffeln gepflanzt (vier Augenstecklinge)
	01.05.2001	Aufgang Kartoffeln
	11.05.2001	Kartoffeln auf drei Stängel/Gefäß vereinzelt
	09.06. und 20.06.2001	Chlorophyllmessung mit N-Tester
09.08.2001	Ernte der Kartoffeln	
2001/2002	14.08.2001	Zugabe der mineralischen Grunddüngung und Einarbeitung der organischen Dünger
	17.08.2001	Aussaat der Zwischenfrüchte
	19.08.2001	Aufgang Buchweizen und Örettich, kein Aufgang von Zottelwicke und Weidelgras
	27.08.2001	Nachpflanzen von Zottelwicke und Weidelgras
	17.10.2001	Ernte und Einarbeitung der Zwischenfrüchte
	19.03.2002	Aussaat des Sommerweizens
	11.04.2002	Sommerweizen auf 21 Pflanzen je Gefäß vereinzelt
13.06.2002	Chlorophyllmessung mit N-Tester	
20.07.2002	Ernte Sommerweizen und Bodenprobenahme	
2002/2003	23.07.2002	Zugabe der mineralischen Grunddüngung und Einarbeitung der organischen Dünger
	08.08.2002	Aussaat von Buchweizen und Örettich
	15.08.2002	vorher angezogene Zottelwicke und Weidelgras wurden ausgepflanzt
	31.08.2002	Vereinzeln der Zwischenfrüchte auf vorgesehene Pflanzenzahl
	14.10.2002	Ernte und Einarbeitung der Zwischenfrüchte
	25.04.2003	Aussaat Mais
	04.05.2003	Aufgang Mais
	27.06.2003	Chlorophyllmessung mit N-Tester
16.07.2003	Ernte Mais und Abschlussbeprobung des Bodens	

2.2 Feldversuch

2.2.1 Standortbeschreibung

Der Feldversuch wurde auf dem Ökofeld der Versuchsstation Roda des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) durchgeführt. Der ökologisch bewirtschaftete Teil der Versuchsstation bestand aus 10 Feldern mit zwei Fruchtfolgen, die zum einen für einen Gemischtbetrieb und zum anderen für einen Marktfurchtbetrieb der Region repräsentativ waren (siehe MEYER et al., 2021). Der Versuch wurde auf dem Schlag Nr. 1 der viehrefolgen Fruchtfolge direkt nach zweijährigem Klee gras angelegt. In der Vorbewirtschaftung betrug der Klee grasanteil in der Fruchtfolge 33 % mit einer N-Bindung von 41 kg/ha und einer organischen Düngung von durchschnittlich 39 kg N/ha und Jahr. Die Gehalte an löslichem P mit ca. 1 mg/100 g und an K mit 5 – 6 mg/100 g Boden lagen in Versorgungsklasse A.

Im Mittelsächsischen Hügelland gelegen, ist der Boden aus Löss entstanden. In Tabelle 5 sind die prägenden Standortfaktoren zusammengestellt. In Tabelle 6 wurden die langjährigen Durchschnittswerte sowie die aktuellen Monatswerte an Temperatur und Niederschlag der Versuchsperiode von 2001 – 2009 auf dem Ökofeld Roda dokumentiert.

Tabelle 5: Standortfaktoren der Versuchsstation Roda

Merkmal	Ausprägung
Leitbodenform:	Löss – Braunstaugley
Bodentyp:	Lö 4b, Fahlerde – Pseudogley
Bodenart:	Lehm
Ackerzahl:	im Mittel 68
Humus:	im Mittel 2,1 %
Feinanteil:	im Mittel 22,5 %
Höhenlage:	224 m
Klima:	mäßig trockenes, mäßig warmes Klima des Hügellandes, schwach maritim beeinflusst
Mittlerer Jahresniederschlag (mm)	632 mm (Mittel der Jahre 1994 - 2014)
Mittlere Jahrestemperatur (°C)	9,8 °C (Mittel der Jahre 1994 - 2014)

Tabelle 6: Monatstemperaturen sowie Monatsniederschläge der Versuchsjahre – Wetterstation Roda

	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.
Temperatur (°C)												
Mittel der Jahre 1994 – 2014	14,8	10,3	5,1	1,7	0,9	1,9	4,9	9,8	14,1	17,1	19,5	19,0
2001/2002	12,6	13,4	4,3	-0,4	1,2	5,7	5,7	8,1	15,0	17,6	19,2	19,9
2002/2003	13,8	8,9	5,6	-0,6	-0,3	-2,3	5,4	8,9	15,3	19,8	19,8	21,3
2003/2004	21,3	14,9	6,4	6,8	2,1	-0,8	2,7	4,6	9,8	11,6	15,6	17,3
2004/2005	14,5	10,7	4,4	1,5	2,4	-1,4	3,4	10,0	13,5	16,4	18,8	16,7
2005/2006	15,9	11,6	4,5	1,1	-3,2	-0,8	1,8	8,9	13,7	17,1	22,8	16,3
2006/2007	17,7	12,5	7,7	5,1	5,1	4,6	6,7	11,3	15,1	18,5	18,6	17,7
2007/2008	13,1	8,5	3,5	1,7	4,4	4,5	4,8	8,0	14,6	17,8	18,9	18,6
2008/2009	13,0	9,9	5,4	1,3	-2,5	0,8	4,9	12,8	14,0	14,7	19,1	19,9
Niederschlag (l/m²)												
Mittel der Jahre 1994 – 2014	62	41	51	42	39	31	44	37	67	66	90	64
2001/2002	128	39	77	35	46	49	26	44	60	46	28	147
2002/2003	45	73	117	50	49	6	22	30	32	33	59	18
2003/2004	18	44	44	9	24	67	42	28	31	116	61	153
2004/2005	55	33	80	25	39	36	19	11	52	54	96	79
2005/2006	25	27	41	57	18	36	59	34	64	19	27	119
2006/2007	20	66	33	26	49	39	50	3	110	81	108	85
2007/2008	108	16	74	32	69	15	40	95	15	63	78	60
2008/2009	50	63	23	38	22	43	53	16	95	78	101	44

2.2.2 Versuchsaufbau

In einer vierfach wiederholten zweifaktoriellen Blockanlage wurde in dem Dauerversuch Ro24 die Wirkung der organischen Düngung und des Zwischenfruchtanbaus auf die folgenden Hauptfrüchte sowie die Nachwirkung der einzelnen Prüffaktoren untersucht. Wie aus Tabelle 7 hervorgeht, wurden insgesamt 24 verschiedene Prüfglieder angelegt, wobei die vier Prüffaktoren der organischen Dünger (Faktor A) mit sechs Zwischenfruchtkulturen (Faktor B) kombiniert wurden.

In den ersten 5 Untersuchungsjahren wurden aller 2 Jahre Zwischenfrüchte angebaut und in den ersten 3 Jahren sowie im fünften Jahr organische Dünger appliziert. Im dritten Versuchsjahr wurden die Zwischenfrüchte erst nach dem Winter umgebrochen. Ein vorheriges Mulchen vor Winter wurde nicht durchgeführt, weil die Zwischenfrüchte aufgrund der Trockenheit sich nur zögerlich entwickelten. In den anderen beiden Zwischenfruchtjahren wurden die Kulturen vor Winter in den Boden eingearbeitet. Hierdurch sollte einer ungewollten Samenreife des Buchweizens vorgebeugt und eine zu üppige Entwicklung aller Kulturen über Winter verhindert werden. Nach den Zwischenfrüchten wurden Kartoffeln bzw. Silomais angebaut. Generell war die Fruchtfolge der Hauptkulturen so gewählt worden, dass der Halmfruchtanteil 50 % nicht überstieg und der Hackfruchtanteil durch den Kartoffelanbau und den Mais ebenfalls 50 % betrug (Tabelle 8). Auf die fünfjährige Hauptversuchszeit mit Düngung und Zwischenfruchtanbau schloss sich eine dreijährige Nachwirkungszeit an.

Tabelle 7: Prüfglieder mit den entsprechenden Prüffaktoren

Prüfglieder	Prüffaktor A	Prüffaktor B
	organische Düngung	Zwischenfrucht
1.1	ohne	ohne
1.2	ohne	Zottelwicke
1.3	ohne	Futtererbse
1.4	ohne	Weidelgras
1.5	ohne	Ölrettich
1.6	ohne	Buchweizen
2.1	Grüngutkompost	ohne
2.2	Grüngutkompost	Zottelwicke
2.3	Grüngutkompost	Futtererbse
2.4	Grüngutkompost	Weidelgras
2.5	Grüngutkompost	Ölrettich
2.6	Grüngutkompost	Buchweizen
3.1	Stallmist	ohne
3.2	Stallmist	Zottelwicke
3.3	Stallmist	Futtererbse
3.4	Stallmist	Weidelgras
3.5	Stallmist	Ölrettich
3.6	Stallmist	Buchweizen
4.1	Gülle	ohne
4.2	Gülle	Zottelwicke
4.3	Gülle	Futtererbse
4.4	Gülle	Weidelgras
4.5	Gülle	Ölrettich
4.6	Gülle	Buchweizen

Tabelle 8: Fruchtfolge im Versuchszeitraum und Angaben zum Zwischenfruchtanbau und der organischen Düngung

Versuchsjahr	Kulturart	Sorte	Saatstärke (Pfl/m ²)	Zwischenfrucht-anbau	Zwischenfrucht-umbruch	organische Düngung
2001/2002	Kartoffeln	Agria	4	2001	Nov 01	2001
2002/2003	Wintertriticale	Lamberto	300	-	-	2002
2003/2004	Kartoffeln	Agria	4	2003	Apr 04	2003
2004/2005	Wintergerste	Theresa	330	-	-	-
2005/2006	Silomais	Romario	14	2005	Okt 05	2005
2006/2007	Kartoffeln	Ditta	4	-	-	-
2007/2008	Winterweizen	Akteur	-	-	-	-
2008/2009	Wintertriticale	Benetto	300	-	-	-

Bei den Zwischenfrüchten wurde ein differenzierter Saattermin mit einer angepassten Saatstärke und Saattiefe angestrebt (Tabelle 9). Im Aussaatjahr 2001 konnten die frühen Termine durch den spät räumenden Winterweizen nicht realisiert werden. Im Aussaatjahr 2003 war es sehr trocken und alle Zwischenfrüchte wurden wie im Jahr 2001 und 2005 zum gleichen Zeitpunkt Mitte August etabliert.

Tabelle 9: Saattermine, Saatstärke und Saattiefe der Zwischenfrüchte

Zwischenfrucht	Angestrebter Saattermin	Saatstärke (kg/ha)	Saattiefe (cm)
Zottelwicke	Mitte – Ende Juli	80	5
Futtererbse	Mitte – Ende Juli	130	5
Weidelgras	Mitte – Ende Juli	50	2
Ölrettich	Anfang – Mitte August	20	2
Buchweizen	Anfang – Mitte August	90	2

Vor der Saat der Zwischenfrüchte wurden in den jeweiligen Jahren die organischen Dünger appliziert. Hierbei richteten sich die gedüngten Mengen an den in Tabelle 10 dargestellten vorgegebenen Werten. Eine Analyse der Inhaltsstoffe fand im Nachgang der Düngung statt, wodurch sich die ausgebrachten Nährstoffmengen des Prüffaktors A z.T. deutlich unterscheiden (Tabelle 11 u. Tabelle 12). Mit der Anlage sollten in jedem Düngungsjahr in etwa 160 kg N/ha ausgebracht werden. Meistens wurde auf der Versuchstation Roda organischer Dünger von den gleichen Stallanlagen aus Betrieben in der näheren Umgebung bezogen. Durch ein ähnliches Fütterungsregime bei gleicher Leistung der tierischen Erzeugung sind ähnliche Werte zu den Vorjahren wahrscheinlich, Abweichungen aber auch nicht auszuschließen.

Tabelle 10: Ausgebrachte Mengen an organischen Düngern

Organischer Dünger	Ausgebrachte Düngermenge
Grüngutkompost	230 dt/ha
Stallmist	300 dt/ha
Gülle	45 m ³ /ha

Tabelle 11: Inhaltsstoffe der organischen Dünger im Versuch Ro 24

Jahr	Organischer Dünger	TM (%)	N	NH ₄ -N	P	K	Mg
			(% i.d. OS)	(% i.d. TM)			
2001/2002*	Grüngutkompost	58,8	0,88	n.b.	0,12	0,42	n.b.
	Stallmist	24,9	0,76	0,08	0,95	3,46	0,71
	Gülle	5,8	0,34	0,19	1,00	4,09	0,88
2002/2003**	Grüngutkompost	76,3	0,42	0,05	0,25	0,46	0,42
	Stallmist	24,9	0,76	0,08	0,95	3,46	0,71
	Gülle	5,8	0,34	0,19	1,00	4,09	0,88
2003/2004	Grüngutkompost	76,3	0,42	0,05	0,25	0,46	0,42
	Stallmist	24,9	0,76	0,08	0,95	3,46	0,71
	Gülle	5,8	0,34	0,19	1,00	4,09	0,88
2005/2006	Grüngutkompost	49,3	1,28	0,05	0,38	0,79	0,55
	Stallmist	23,7	0,44	0,04	1,01	2,91	0,81
	Gülle	2,5	0,29	0,22	1,24	4,67	0,86

n.b. = nicht bestimmt

*Werte für Stallmist und Gülle aus dem Jahr 2003/2004 übernommen

** Werte für Grüngutkompost, Stallmist und Gülle aus dem Jahr 2003/2004 übernommen

Tabelle 12: Ausgebrachte Nährstoffmengen in den Applikationsjahren

Jahr	Organischer Dünger	N	NH ₄ -N	P	K	Mg
		ausgebrachte Nährstoffmengen (kg/ha)				
2001/2002*	Grüngutkompost	202	n.b.	16	57	n.b.
	Stallmist	228	24	71	258	53
	Gülle	153	86	26	107	23
2002/2003**	Grüngutkompost	97	12	44	81	74
	Stallmist	228	24	71	258	53
	Gülle	153	86	26	107	23
2003/2004	Grüngutkompost	97	12	44	81	74
	Stallmist	228	24	71	258	53
	Gülle	153	86	26	107	23
2005/2006	Grüngutkompost	145	12	43	90	62
	Stallmist	132	12	72	207	58
	Gülle	131	99	14	53	10
Mittelwert	Grüngutkompost	135	9	37	77	53
	Stallmist	204	21	71	245	54
	Gülle	148	89	23	94	20

n.b. = nicht bestimmt

*Werte für Stallmist und Gülle aus dem Jahr 2003/2004 übernommen

** Werte für Grüngutkompost, Stallmist und Gülle aus dem Jahr 2003/2004 übernommen

Im Laufe der Versuchsjahre veränderte sich die Ernteparzellengröße nicht aber die Parzellengröße. Für die Versuchsjahre 2001 – 2007 betrug die Ernteparzelle in der Regel 12 m², in den Jahren 2007 – 2009 war die Ernteparzellengröße auf 16 m² bemessen (Tabelle 13).

Tabelle 13: Größe der Anlage- und Ernteparzellen

Jahr	Parzelle	Ernteparzelle
	(m ²)	
2001/2002	24	12
2002/2003	24	12
2003/2004	24	12
2004/2005	24	12*
2005/2006	24	12
2006/2007	24	12
2007/2008	24	16
2008/2009	24	16

*möglicherweise betrug die Parzellengröße aber auch 16 m²

Alle pflanzenbaulichen und ackerbaulichen Maßnahmen erfolgten unter den üblichen Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus (ANON., 2007). Je nach Kulturart wurden die jeweiligen Maßnahmen unter Beachtung der Bodenbedingungen und der Pflanzenentwicklung durchgeführt.

2.2.3 Versuchsauswertung

Im Frühjahr tritt am Standort Roda häufig eine Vorsommertrockenheit in den Monaten von März bis Juni auf. In Kombination mit hohen Temperaturen im Jahr 2003 verursachte sie Ertragsausfälle der angebauten Triticale und führte zusätzlich zu einem schlechten Feldaufgang der in diesem Jahr zum Anbau gekommenen Zwischenfrüchte. Ein weiteres markantes Jahr ist 2002 mit den hohen Niederschlägen im August, die zu extremen Hochwasserereignissen führten, jedoch nicht das Ertragsgeschehen der angebauten Kartoffel maßgeblich beeinflussten (siehe Tabelle 6). Hingegen führten die ungewöhnlich hohen Niederschläge im Juni 2004 zu Überschwemmungen innerhalb einzelner Parzellen. Gleiches traf auch für das Versuchsjahr 2007/2008 zu, in dem die Kartoffelrodung unter feuchten Bodenbedingungen durchgeführt wurde und die nachfolgende Bodenbearbeitung eine schlechte Bodenstruktur für die Aussaat des Winterweizens hinterließ. Weitere Niederschläge nach der Winterweizensaat führten, bedingt durch den pseudo-vergleyten Boden, zu extrem feuchten Bodenbedingungen. An den Stellen, wo das Wasser nicht versickern konnte, erfroren Pflanzen in den betroffenen Parzellen. Für die Versuchsauswertung sind daher die Jahre 2003/2004 und 2007/2008 insofern hervorzuheben, da in diesen Zeiträumen die erwähnten Parzellen nicht geerntet werden konnten.

Durch diese Witterungsextreme konnte im Jahr 2003/2004 aufgrund der Trockenheit kein Aufwuchs für die Zwischenfrüchte Futtererbse und Buchweizen bestimmt werden. Ferner kam es im Frühjahr 2004 zu hohen Niederschlägen, wodurch in einzelnen Kartoffelparzellen in den Zwischenreihen Wasser stand und die Kartoffeln in den Dämmen folglich verfaulten. In diesem Fall wie auch im Anbaujahr 2007/2008, in dem einzelne Winterweizenparzellen stark vernässt waren und leichter Frost zu Pflanzenausfällen führte, wurden die fehlenden Werte durch einen Mittelwert der geernteten Parzellen des jeweiligen Prüfgebietes ersetzt. Weiterhin wurden im Erntejahr 2006 für die Auswertung fehlende Werte bei den Pflanzeninhaltsstoffen für den Silomais durch allgemeine Richtwerte des ökologischen Landbaus ergänzt (ALBERT et al., 2007). Eine Laboranalyse des Erntematerials dieser Portion fand nicht statt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Versuchsjahre und Parzellen in denen es zu Problemen bei der Erfassung kam

Jahr	Zwischenfrucht	Hauptfrucht
		Parzelle
2003/2004	Futtererbse, Buchweizen	1.1a, 2.5a, 3.3a, 4.6a, 2.4b, 4.2b, 1.5b, 3.6b
2005/2006		Alle - Inhaltsstoffe wurden ergänzt*
2007/2008	-	1.1a, 2.5a, 3.3a, 4.6a, 2.4b, 4.2b, 1.5b, 3.6b, 4.4c, 3.2c

*nach Vorgaben der Broschüre „Umsetzung der Düngeverordnung“ – Pflanzeninhaltsstoffe im ökologischer Landbau (ALBERT et al., 2007)

Die gewogenen Ernteerträge in den Parzellen der Kartoffeln, des Silomaises und der Zwischenfrüchte wurden auf die Trockenmasse unter Zuhilfenahme der bestimmten mittleren Trockensubstanzgehalte des jeweiligen Prüfgebietes umgerechnet. Durch diese Herangehensweise konnten die Werte weiter analysiert und miteinander verglichen werden. Mögliche Variationen der Trockensubstanzgehalte der Wiederholungen der einzelnen Prüfglieder flossen somit nicht in die Auswertung ein. Für das Getreide wurde der Trockensubstanzgehalt auf dem Feld durch ein geeichtes Messgerät bestimmt.

2.3 Untersuchungsmethoden

Die Laboranalysen fanden im BfUL in Leipzig statt. Zur Analyse der Nährstoffgehalte der in den Versuchen entnommenen Boden- und Pflanzenproben wurden nachfolgende Methoden angewendet:

■ Boden:

- N_{min}-Verfahren – Extraktion mit 0.0125 M CaCl₂, VDLUFA-Methoden Bd. I A6.1.4.1
- P, K (DL) – VDLUFA-Methoden Bd. I A 6.2.1.2
- P, K (CAL) – VDLUFA-Methoden Bd. I A 6.2.1.1
- Mg (CaCl₂) – VDLUFA-Methoden Bd. I A 6.2.4.1
- pH-Wert – VDLUFA-Methoden Bd. I A 5.1.1.
- N u. C – VDLUFA-Methoden Bd. I A2.2.5
- C – DIN ISO 10694-1996-08
- P, K u. Mg – DIN EN 16174:2012-11 Königswasseraufschluss
DIN EN ISO 11885:2009-09 ICP-OES-Methode
- pflanzenverfügbares Kupfer nach WESTERHOFF – VDLUFA-Methoden Bd. III A.7.3.1
- Mangan nach SCHACHTSCHABEL – VDLUFA-Methoden Bd. III A.7.2.1
- Zink nach TRIERWEILER – VDLUFA-Methoden Bd. III A.7.5.1
- Bor und Molybdän, Heißwasserauszug – VDLUFA-Methoden Bd. I A 7.4.1.

■ Pflanzen:

- N- Verbrennung und Gasanalyse (nach DUMAS) – VDLUFA-Methoden Bd. II 4.1.2
- P, K, Mg – PAW 02315 (RFA)
- NIRS – PAW 02202 (NIR)
- Rohfaser – MB III VDLUFA 6.1.1
- Rohasche – MB III VDLUFA 8.1
- Stärke – MB III VDLUFA 7.2.1
- N-Tester – Chlorophyll mit MINOLTA SPAD 502.

■ Organische Dünger:

- TM – DIN ISO 11465-1996-12
- C – DIN ISO 10694
- N – VDLUFA-Methoden Bd. II 3.3.1
- P – DIN ISO 11466 / EN ISO 11885
- K – DIN ISO 11466 / EN ISO 1188
- Mg – DIN ISO 11466 / EN ISO 1188.

Die statistischen Berechnungen zur Varianzanalyse wurden mit dem Programm SPSS durchgeführt. Der TU-KEY-Test wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % genutzt. Die Regressionen, Korrelationen (r) und Bestimmtheitsmaße (R²) wurden über die Statistikfunktion des Programms EXCEL erstellt: p = 10 % (*), p = 5 % (*), p = 1 % (**), p = 0,1 % (***) .

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Gefäßversuch

Die Vorstellung der erzielten Ergebnisse erfolgt entsprechend der chronologischen Abfolge der Versuchsdurchführung und beginnt mit der Reaktion der nach der Verabreichung der organischen Dünger angebauten Zwischenfrüchte. Anschließend werden die Ergebnisse zur nachgebaute Versuchsfrucht und die Reaktion der Bodengehalte auf die jeweiligen Maßnahmen vorgestellt.

3.1.1 Versuchsjahr 2000/2001

Entwicklung der angebauten Zwischenfrüchte

Die im Spätsommer 2000 vor den nachfolgenden Kartoffeln etablierten Zwischenfrüchte konnten sich sehr gut entwickeln und wiesen eine im Vergleich zu den Folgejahren insgesamt hohe Biomassebildung auf (Abbildung 1). Während bei der Zottelwicke die Differenzierung in Abhängigkeit vom eingesetzten Düngemittel weniger deutlich war, hatte der höhere Anteil an sofort pflanzenverfügbarem Stickstoff in der Gülle, bei gleichem Gesamtstickstoffeinsatz der organischen Dünger, eine deutlich steigernde Wirkung auf die Frischmassebildung der Nichtleguminosen. Dabei ergab sich nach Stallmistzugabe eine geringere Ertragsbildung als nach Grüngutkompost. Das ist insofern überraschend, da der Stallmist ein C:N-Verhältnis von etwa 16:1 und der Grüngutkompost von etwa 33:1 aufwies.

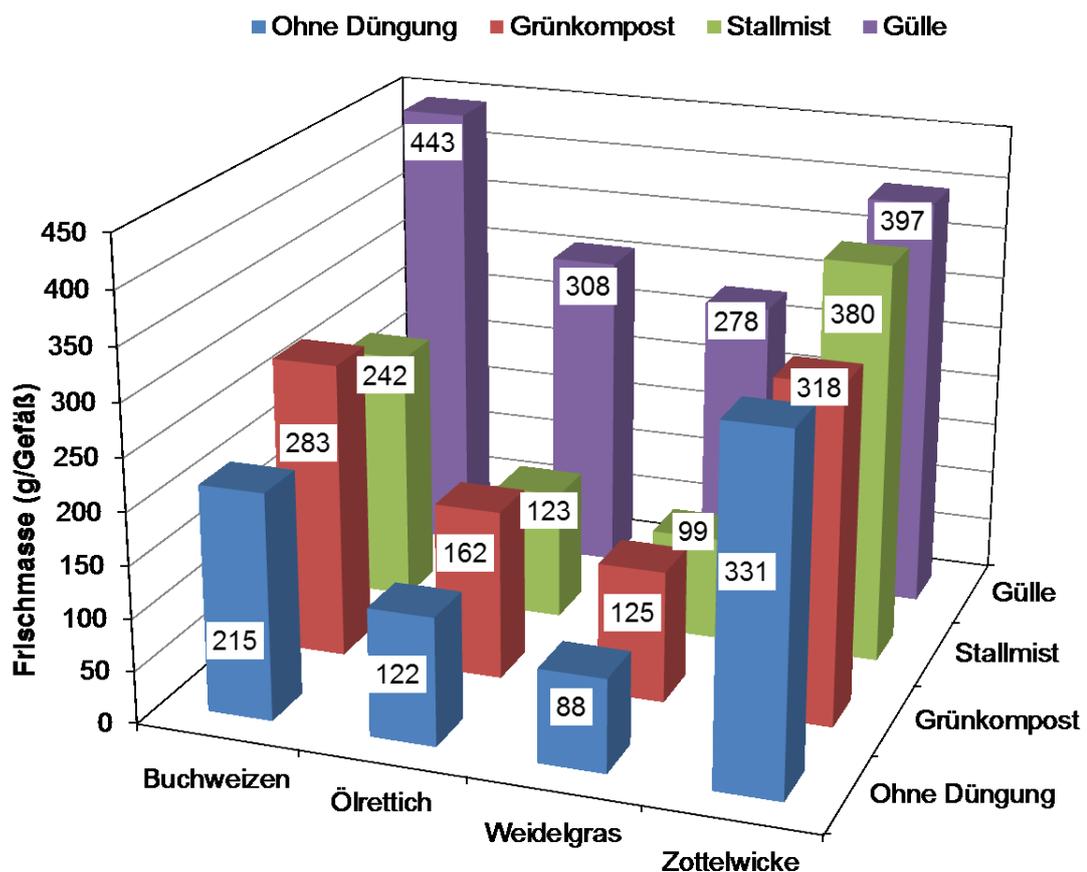


Abbildung 1: Gebildete Frischmasse der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von den organischen Düngern im Herbst des Jahres 2000 in den Gefäßversuchen

Während die Rangfolge in der Frischmassebildung der Nichtleguminosen in Abhängigkeit von den eingesetzten organischen Düngern gleich ist, reagierte die Zottelwicke mit signifikant höheren Erträgen bei Anzucht nach Stallmist- und Gülledüngung (Tabelle 15). Im Durchschnitt der Prüfglieder der organischen Düngung ergab sich hinsichtlich der FM-Bildung die Rangfolge: Zottelwicke > Buchweizen > Ölrettich > Weidelgras. Da die gebildete Zwischenfrucht-Substanz möglichst vollständig in den Gefäßen verbleiben sollte, liegen in dem Jahr keine Ergebnisse zu den TM-Gehalten und zu den darin eingebundenen Nährstoffen vor.

Tabelle 15: Frischmasse der Zwischenfrüchte (g/Gefäß) in Abhängigkeit von den eingesetzten Düngemitteln im Herbst des Jahres 2000

Organische Düngung	Zwischenfrucht			
	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Ohne organische Düngung	215,4	121,7	88,5	331,2
Grüngutkompost	282,7	161,6	125,2	318,2
Stallmist	242,2	123,3	99,0	380,5
Gülle	443,2	307,7	278,2	396,7
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				22,8
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				22,8
GD 5%; Tukey (AxB)				52,9

Die an Buchweizenblättern gemessenen Chlorophyllwerte weisen keine gerichteten Unterschiede auf (Tabelle 16). Beim Ölrettich waren die Werte an Chlorophyll nach Grüngutkompost und besonders nach Gülle wesentlich höher als bei Stallmist und ohne organische Düngung. Diese Unterschiede zeigten sich dann auch in den später ermittelten Frischmasseerträgen.

Tabelle 16: Gehalte an Chlorophyll (Relativwerte) am 20.08.2000 von Buchweizen und Ölrettich in Abhängigkeit von der organischen Düngung

Organische Düngung	Buchweizen	Ölrettich
Ohne	310	331
Grüngutkompost	319	379
Stallmist	295	334
Gülle	304	441

Wirkung der organischen Düngung und der Zwischenfrüchte auf die nachgebauten Kartoffeln

Die Wirkung der im Herbst gehäckselten und in den Versuchsboden der Gefäße eingemischten Zwischenfrüchte auf die nachgebauten Kartoffeln wurde bereits während der Wachstumsphase in der Krautentwicklung deutlich. Neben der Wuchshöhe zeigten sich auch in der Chlorophylldichte, gemessen mit dem N-Tester, deutliche Unterschiede (Tabelle 17). Dabei blieb der Einfluss der organischen Düngung bei Anbau von Zwischenfrüchten deutlich hinter deren Wirkung zurück. Die höchsten Werte wurden insgesamt nach der Zottelwicke ermittelt, wobei hier im Durchschnitt der Messungen vom ersten zum zweiten Untersuchungstermin,

anders als bei den übrigen Prüfgliedern, noch eine leichte Zunahme beobachtet wurde. Das deutet auf eine noch ablaufende N-Freisetzung bei der Zottelwicke hin.

Im Hinblick auf die Chlorophylldichte bzw. den N-Ernährungszustand folgten den Leguminosen die Prüfglieder ohne Zwischenfruchtanbau. Bemerkenswert ist, dass die Messwerte der Variante „ohne organischen Dünger/ohne Zwischenfrucht“ den übrigen Prüfgliedern mit Nichtleguminosen als Zwischenfrüchten deutlich überlegen sind. Das lässt auf eine verringerte Mineralisierung und deutliche N-Immobilisierung des in den Nicht-Leguminosen gebundenen Stickstoffs schließen. Die Nachlieferung aus den organischen Düngern und ihre Verfügbarkeit für die Kartoffeln blieben damit ebenfalls eingeschränkt (Tabelle 17).

Tabelle 17: Ergebnisse der Chlorophyllmessung (Relativwerte) an Kartoffelblättern zu zwei Terminen im Jahr 2001

Termin	Düngung	Zwischenfrüchte				
		Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
09.06. 2001	Ohne organische Düngung	556	402	408	415	700
	Grüngutkompost	619	399	478	417	780
	Stallmist	639	424	493	397	747
	Gülle	639	385	532	438	672
	Mittelwert	613	403	478	417	725
	Standardabweichung	39	16	52	17	48
24.06. 2001	Ohne organische Düngung	520	376	381	369	738
	Grüngutkompost	583	363	403	400	756
	Stallmist	633	387	448	390	778
	Gülle	637	361	478	399	729
	Mittelwert	593	372	428	390	750
	Standardabweichung	55	12	44	14	22

Der bereits während des Wachstums in den Kartoffelblättern festgestellte Unterschied im N-Ernährungszustand wirkte sich auch auf den Knollenansatz der Prüfglieder aus (Abbildung 2). Während die hohen Biomasseerträge der Zottelwicke auch mit einem hohen Knollenansatz verbunden waren, führte die ebenfalls recht hohe Biomasse beim Buchweizen über alle Glieder der organischen Düngung zu dem geringsten Knollenansatz. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die N-Ernährung der Kartoffeln am Beispiel des Chlorophyllgehaltes für diese deutlichen Unterschiede verantwortlich war. So stand der Status der N-Versorgung des Kartoffelkrautes zum Zeitpunkt der Blüte mit $r = 0,75^{***}$ in enger Beziehung zu der gebildeten Knollenanzahl in den jeweiligen Gefäßen (Abbildung 3). Ein hoher Knollenansatz stand auch in enger Beziehung zu den Erträgen an Knollen-TM der Kartoffeln ($r = 0,81^{***}$; Ergebnis nicht dargestellt).

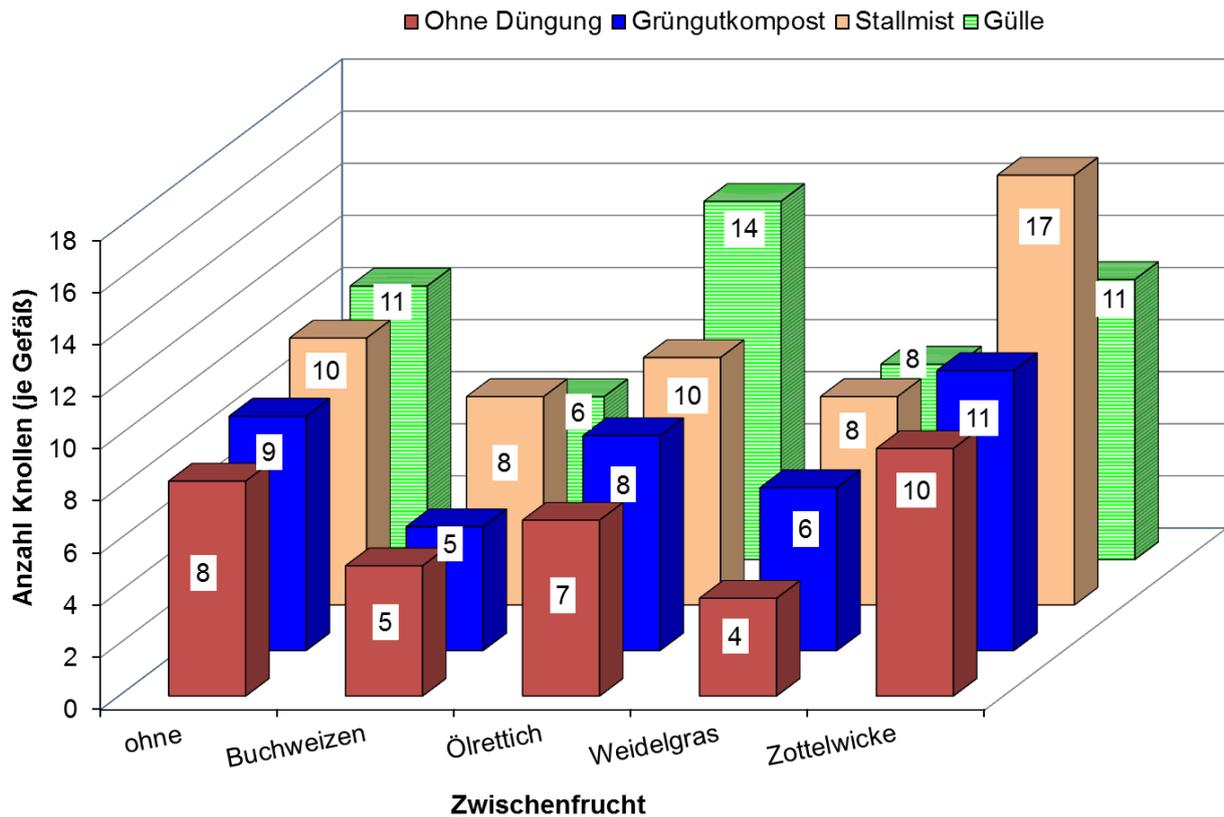


Abbildung 2: Knollenansatz bei Kartoffeln in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten im Gefäßversuch

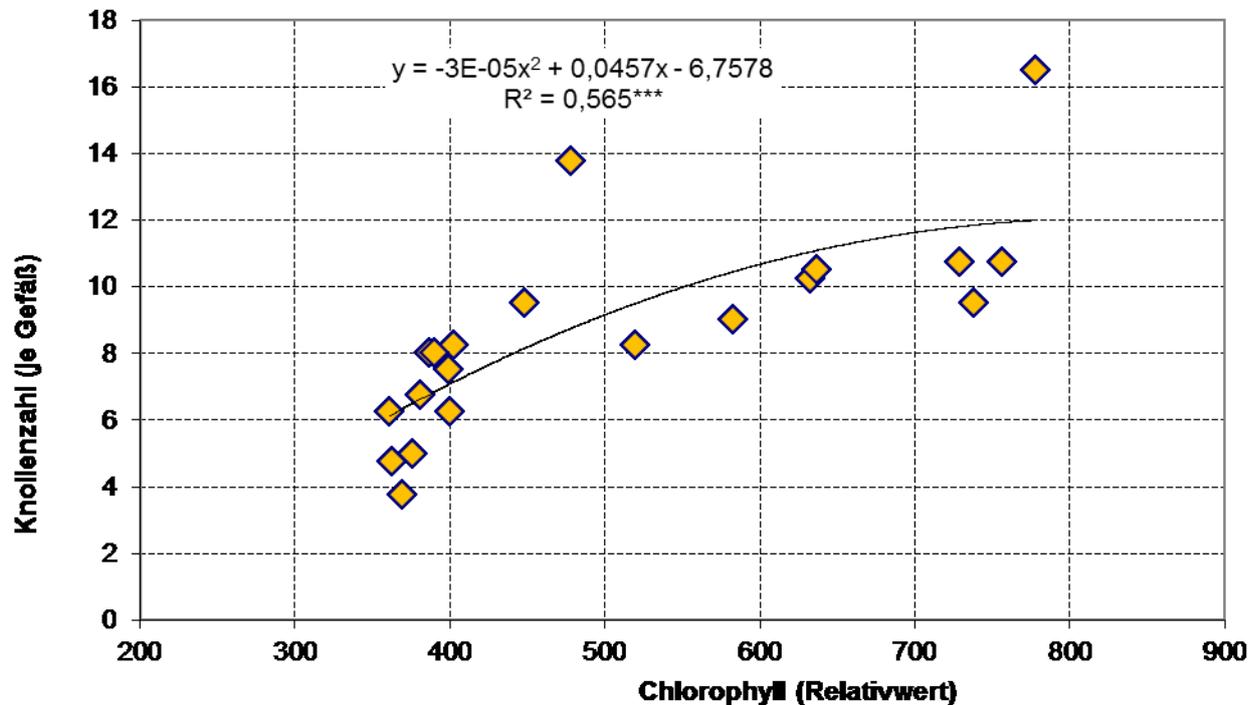


Abbildung 3: Beziehungen zwischen den Gehalten an Chlorophyll der Blätter von Kartoffeln und den angesetzten Knollen im Gefäßversuch

Bei den TM-Erträgen der Kartoffeln zeigte sich eine deutliche Differenzierung in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den zuvor angebauten Zwischenfrüchten (Tabelle 18). Es ergeben sich bei den Erträgen signifikante Unterschiede zwischen den Formen der organischen Dünger und den Zwischenfrüchten bei signifikanter Wechselwirkung. Im Durchschnitt der Prüfglieder mit organischer Düngung gab es sowohl bei der Variante „ohne Zwischenfrucht“ als auch der Variante „Zottelwicke“ in etwa die gleichen TM-Erträge. In den Gefäßen ohne Zwischenfrüchte führte anscheinend der Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff aus den einzelnen organischen Düngern zu einer deutlichen Differenzierung der Erträge. So waren nach den Leguminosen nicht so deutliche Unterschiede festzustellen und der höhere Anteil an Ammonium-N der Gülle hat offenbar nach dem Anbau der Zottelwicke zu einer etwas geringeren Knollen-TM-Bildung geführt.

Als mögliche Ursache ist zu nennen, dass eine verminderte Leguminosen-N-Bindung aufgrund des höheren pflanzenverfügbaren Stickstoffs zur Anzucht der Leguminose in Verbindung mit einer geringeren N-Mineralisation bei den nachgebauten Kartoffeln zu diesen Ertragsunterschieden beigetragen hat. Bei vergleichbarer Frischmassebildung wie nach der Zottelwicke war allerdings nach Buchweizen die Ertragsbildung der Kartoffeln insgesamt geringer und blieb auch hinter den Erträgen nach Örettich zurück. Von den Nichtleguminosen wurde jedoch nach Weidelgras die geringste Knollentrockenmasse gebildet (Tabelle 18). Bestätigung finden diese Ergebnisse durch MÖLLER und REENTS (2009), wonach aus nicht-legumenen Zwischenfrüchten der eingebundene N nur langsam wieder freigesetzt wird und den nachfolgenden Früchten zur Ertragsbildung fehlt.

Tabelle 18: TM-Erträge (g/Gefäß) der Kartoffeln in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten im Gefäßversuch

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Örettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
Ohne Düngung	34,3	14,0	18,1	7,2	47,9	24,3
Grüngutkompost	52,7	13,8	23,9	11,8	64,2	33,3
Stallmist	69,4	32,7	45,5	21,5	73,2	48,5
Gülle	88,3	21,9	47,5	29,6	62,1	49,9
GD 5%, Tukey (A; organische Düngung)			5,8			
GD 5%, Tukey (B; Zwischenfrucht)			7,2			
GD 5%, Tukey (AxB)			18,0			

Die N-Aufnahme der Kartoffeln (Spross und Knolle) weist sowohl bezüglich der organischen Düngung als auch den angebauten Zwischenfrüchten erhebliche Differenzen auf (Tabelle 19). Es ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Formen der organischen Düngung und den Zwischenfrüchten bei signifikanter Wechselwirkung. Der Anbau der Kartoffeln nach der Leguminose führte zu den höchsten N-Entzügen und wies in Abhängigkeit von der organischen Düngung die geringste Differenzierung auf. Eine deutliche Abstufung findet sich in den Prüfgliedern ohne Zwischenfruchtanbau. In diesen Varianten nimmt der N-Entzug in folgender Reihenfolge zu: Ohne organische Düngung < Grüngutkompost < Stallmist < Gülle. Diese Rangfolge entspricht der theoretisch zu erwartenden Netto-N-Freisetzung aus dem organischen Dünger (C/N-Verhältnis) bzw. dem Anteil an direkt pflanzenverfügbarem Stickstoff der eingesetzten Dünger (siehe auch Tabelle 2). Insbesondere nach Buchweizen und dem Weidelgras ergeben sich deutliche Minderbeträge in der N-Aufnahme der Kartoffeln im Vergleich zu den Gefäßen ohne organische Düngung (Tabelle 20). Insgesamt belegen die ermittelten Werte eine vergleichsweise geringe kurzfristige Freisetzung der in der Biomasse der

Nicht-Leguminosen eingebundenen N-Beträge und eine damit einhergehende negative Wirkung auf die Ertragsbildung der nachgebauten Kartoffeln.

Tabelle 19: N-Entzug der Kartoffeln (g/Gefäß; Spross u. Knollen) in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den Zwischenfrüchten im Gefäßversuch

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
Ohne Düngung	0,395	0,164	0,195	0,101	1,305	0,431
Grüngutkompost	0,550	0,173	0,281	0,185	1,555	0,549
Stallmist	0,725	0,345	0,452	0,308	1,687	0,703
Gülle	0,929	0,299	0,483	0,367	1,376	0,691
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)			0,085			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)			0,082			
GD 5%; Tukey (AxB)			0,234			

Tabelle 20: Relativer Mehr- bzw. Minderentzug an Nährstoffen durch die Kartoffeln im Durchschnitt der organischen Düngung nach Zwischenfruchtanbau im Gefäßversuch (Ohne Zwischenfrucht = 100 %)

Zwischenfrüchte	Nährstoffe (in %)				
	N	P	K	Mg	Mittelwert
ohne Zwischenfrucht	100	100	100	100	100
Buchweizen	38	57	38	47	45
Ölrettich	54	80	57	57	62
Weidelgras	37	55	35	41	42
Zottelwicke	228	80	137	231	169

Neben den Stickstoffentzügen sind auch die übrigen Makronährstoffe von Interesse (Tabelle 21). Dabei zeigt sich, dass der Zwischenfruchtanbau die Verfügbarkeit dieser Nährstoffe ebenfalls beeinflusst hat. So lagen nach dem Anbau der Zottelwicke zumindest die Entzüge an Kalium und Magnesium in den Kartoffeln deutlich über denen der Prüfglieder ohne Zwischenfrucht. Das ist insofern verwunderlich, da mit der organischen Düngung deutlich höhere Mengen an Nährstoffen dem Boden zugeführt als durch die Pflanzen aufgenommen worden sind.

Die zum Höhepunkt der vegetativen Entwicklung durchgeführten N-Tester-Messungen am Kraut weisen enge Beziehungen zu den späteren N-Entzügen durch die Kartoffeln auf (Abbildung 4). Eine gute N-Versorgung im Juni zur Hauptwachstumszeit der Kartoffeln war mit einer entsprechend hohen Ertragsbildung und N-Aufnahme verbunden.

Tabelle 21: Nährstoffentzug von P, K und Mg durch die Kartoffeln (Spross u. Knollen; g/Gefäß) in Abhängigkeit von der organischen Düngung und dem Zwischenfruchtanbau im Gefäßversuch

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
P-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,077	0,049	0,059	0,027	0,058
Grüngutkompost	0,102	0,055	0,076	0,052	0,093
Stallmist	0,165	0,115	0,143	0,097	0,149
Gülle	0,200	0,094	0,158	0,126	0,135
Mittelwert	0,136	0,078	0,109	0,076	0,109
K-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,946	0,410	0,537	0,208	1,595
Grüngutkompost	1,531	0,487	0,725	0,409	2,517
Stallmist	2,094	1,042	1,321	0,797	2,961
Gülle	2,435	0,745	1,386	1,004	2,546
Mittelwert	1,752	0,447	0,992	0,604	2,405
Mg-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,037	0,016	0,023	0,006	0,202
Grüngutkompost	0,047	0,023	0,031	0,014	0,165
Stallmist	0,084	0,055	0,059	0,044	0,193
Gülle	0,164	0,061	0,075	0,072	0,207
Mittelwert	0,089	0,039	0,047	0,034	0,192

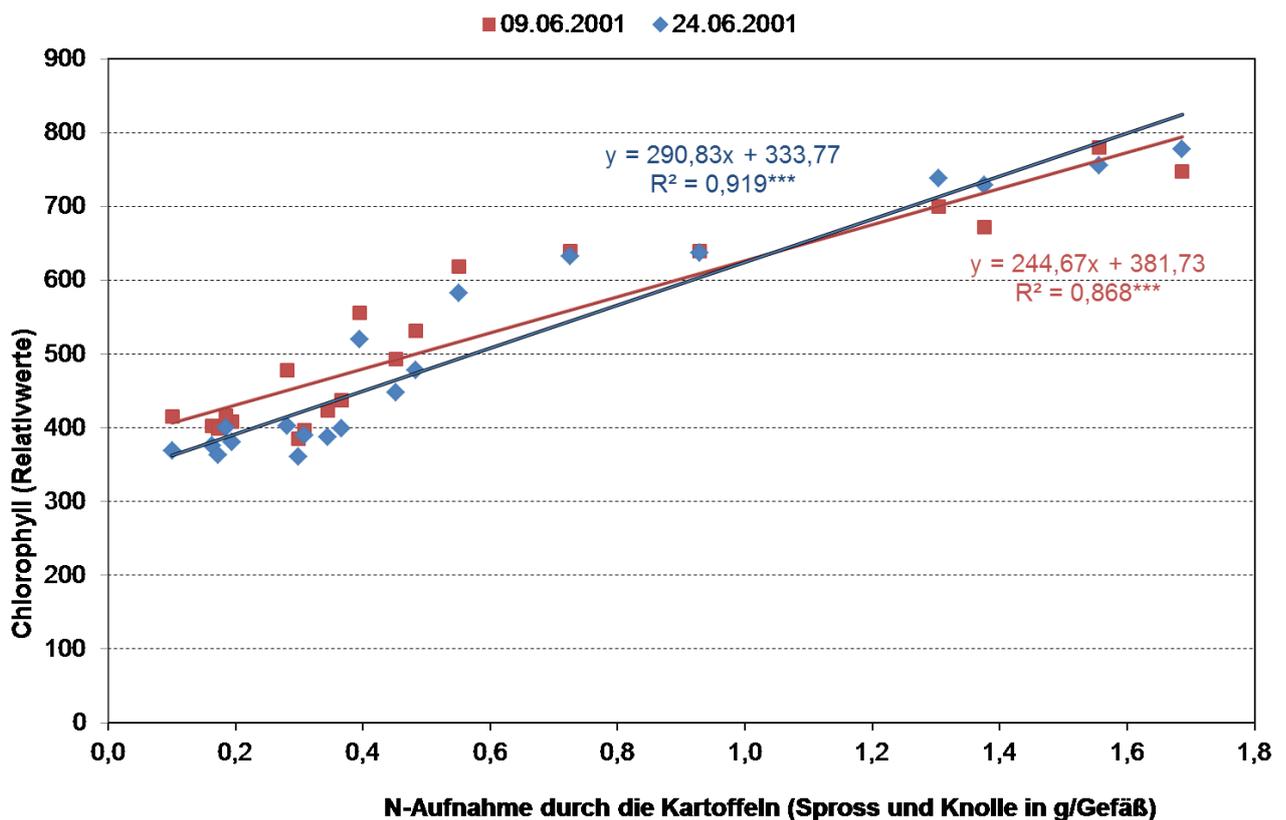


Abbildung 4: Beziehungen zwischen den während der Vegetation an zwei Terminen gemessenen N-Testerwerten und dem N-Entzug durch die Kartoffeln im Gefäßversuch

In den Gefäßversuchen wirkte sich die gute N-Bereitstellung nach der Zottelwicke über alle Varianten der organischen Dünger negativ auf den Stärkegehalt aus und es wurden in dieser Variante die niedrigsten mittleren

Werte ermittelt (Tabelle 22). Die anderen Varianten zeigten kaum einen Einfluss auf die Gehalte an Stärke in den Kartoffelknollen. Der Stärkegehalt in den Knollen sank allerdings mit steigendem N-Angebot bzw. N-Gehalten deutlich ab. Je höher die N-Versorgung, umso niedriger lagen die Werte an Stärke in den Knollen (Abbildung 5).

Tabelle 22: Übersicht zu den Stärkegehalten (% i.d. TM) in den Kartoffelknollen

Zwischenfrucht	Organische Düngung				Mittelwert
	Ohne	Grüngutkompost	Stallmist	Gülle	
Ohne Zwischenfrucht	81,0	83,5	82,2	80,3	81,7
Buchweizen	81,9	82,2	80,9	80,8	81,5
Örettich	83,2	83,1	81,4	72,4	82,5
Weidelgras	80,7	79,3	79,3	80,8	80,0
Zottelwicke	78,2	78,4	76,2	78,2	77,7
Mittelwert	81,0	81,3	80,0	80,5	-

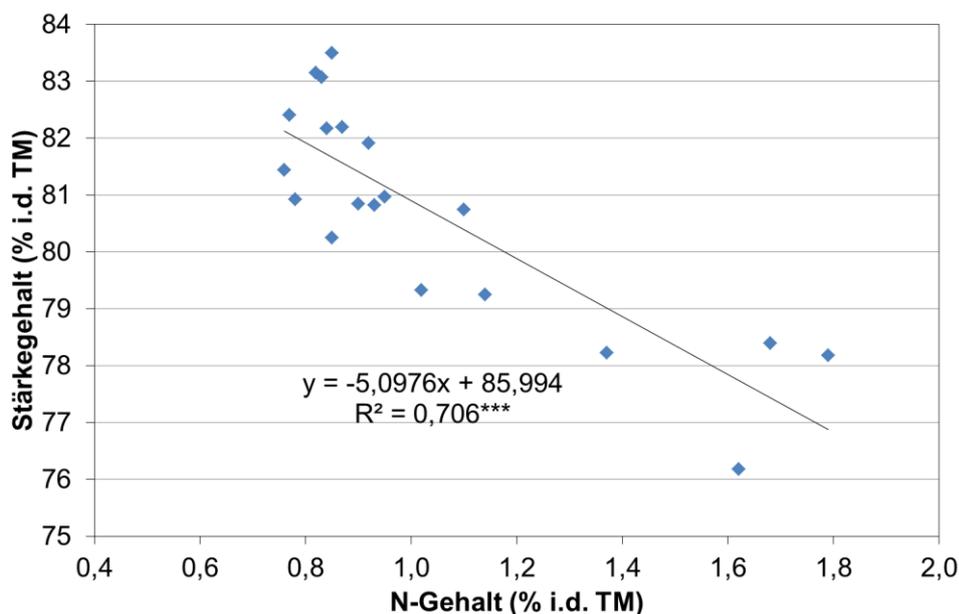


Abbildung 5: Beziehung zwischen den N-Gehalten und den Stärkegehalten in der Knollen-TM der Gefäßversuche

Auswirkungen von Düngung und Zwischenfruchtbau auf den Boden

Die Kartoffeln konnten den N_{\min} -Gehalt im Boden nicht vollständig aufnehmen, wie die Probenahme nach der Ernte belegt (Tabelle 23). In der Tendenz waren die Werte nach der Zottelwicke höher als in den übrigen Prüfgliedern. Auffallend ist, dass nach der Gülle die Gehalte geringer sind als in den beiden anderen Varianten der organischen Düngung. Das korrespondiert mit den N-Entzügen, die auch im Gülleprüfglied niedriger lagen und wahrscheinlich auf eine geringere Luftstickstoffbindung durch die Zottelwicke hindeuten könnte.

Tabelle 23: Nach der Kartoffelernte ermittelte N_{min}-Gehalte (mg N/Gefäß) im Boden der Gefäßversuche

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Ohne organische Düngung	5	5	10	10	150
Grüngutkompost	10	10	15	15	40
Stallmist	25	15	15	15	315
Gülle	10	15	15	10	10

Auf das DL-lösliche Phosphat im Boden ergab sich nach der Ernte des ersten Jahres ein deutlicher Einfluss der organischen Düngung (Abbildung 6). Ohne deren Ausbringung zeigten sich keine Unterschiede im Vergleich zum Ausgangswert. Die mit dem Grüngutkompost zugeführten P-Mengen lagen deutlich unter denen der Stallmist- und Güllegaben (siehe Tabelle 3), was sich dann auch in den Bodenwerten widerspiegelte. Bei etwa gleicher P-Zufuhr war die Wirksamkeit des Stallmist-P etwas besser als im Vergleich zur P-Zufuhr durch die Gülle. Der Einfluss der Zwischenfrüchte auf das laktatlösliche Phosphat bleibt insgesamt gering, was ein Vergleich zu den Werten ohne Zwischenfruchtanbau verdeutlicht (vgl. Abbildung 6 u. Abbildung 7).

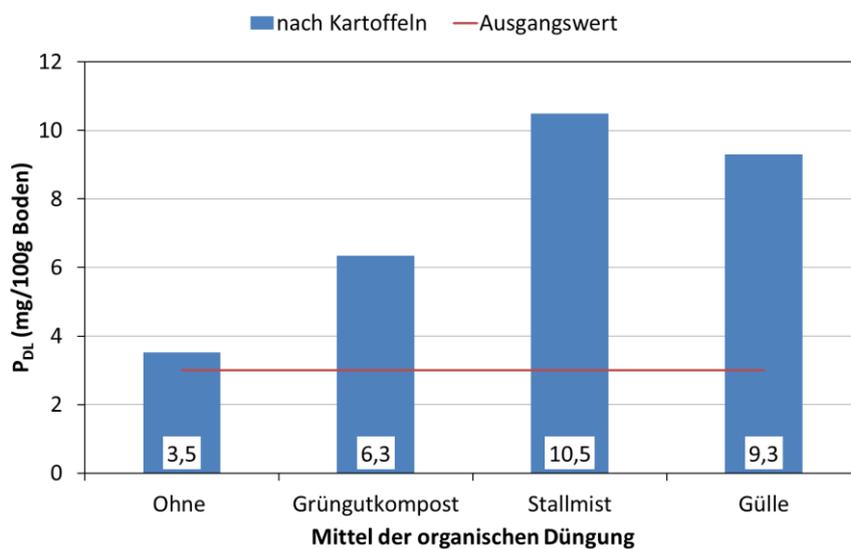


Abbildung 6: Einfluss der organischen Düngung auf den P_{DL}-Gehalt des Bodens (Mittelwerte über alle Varianten der Zwischenfrüchte)

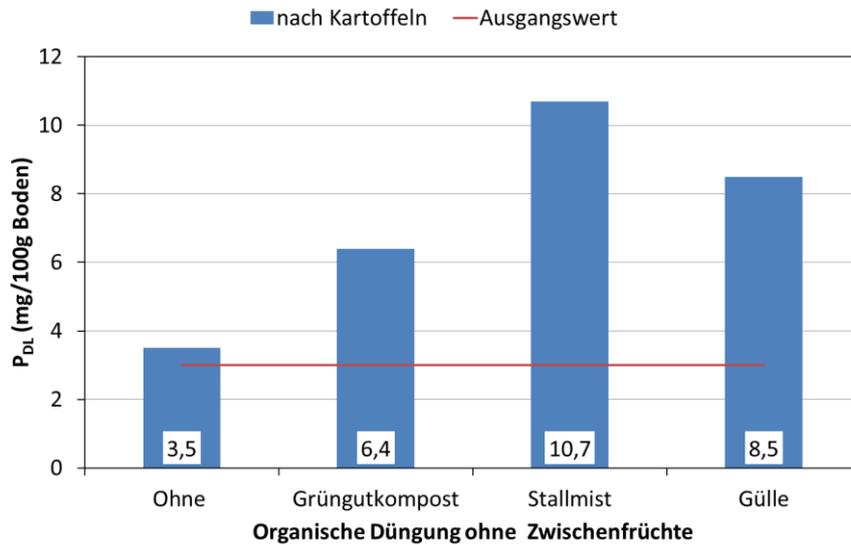


Abbildung 7: Wirkung der organischen Düngung in den Gefäßen ohne Zwischenfrüchte auf den P_{DL}-Gehalt des Bodens

Hinzuweisen ist allerdings auf eine Besonderheit bei der Zottelwicke (Abbildung 8). In dieser Variante bleiben die P-Gehalte insgesamt unter denen der übrigen Zwischenfrüchte. In erster Linie dürften dafür die Luftstickstoffbindung der Zottelwicke und die damit im Zusammenhang stehende Protonenabgabe in den Boden verantwortlich zu sein. Diese Zusammenhänge können durch die ermittelten pH-Werte bestätigt werden (Abbildung 9). Diese Ergebnisse stimmen mit Untersuchungen von MENGEL und STEFFENS (1982) überein, die bei Gefäßversuchen mit Rotklee nach mehrschnittiger Nutzung auch eine deutliche pH-Wertabsenkung feststellen konnten.

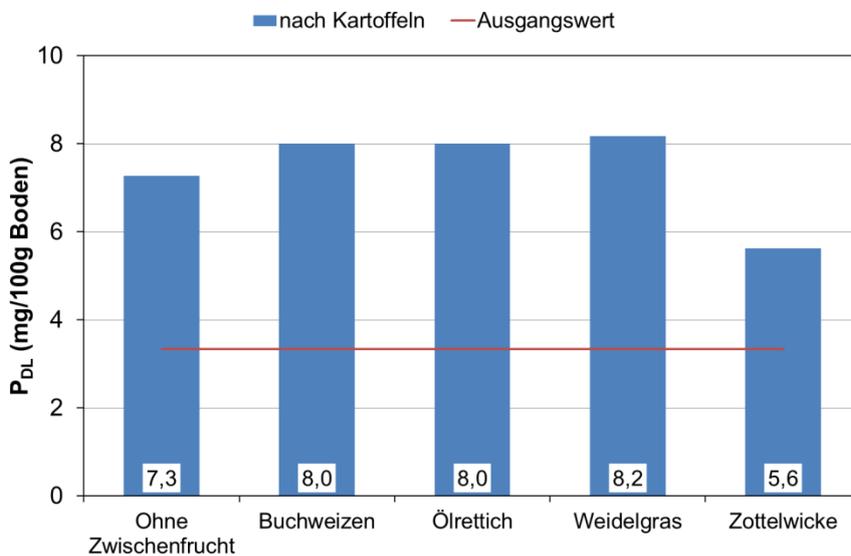


Abbildung 8: Einfluss der Zwischenfrüchte auf den P_{DL}-Gehalt des Bodens (Mittelwert über die Varianten der organischen Düngung)

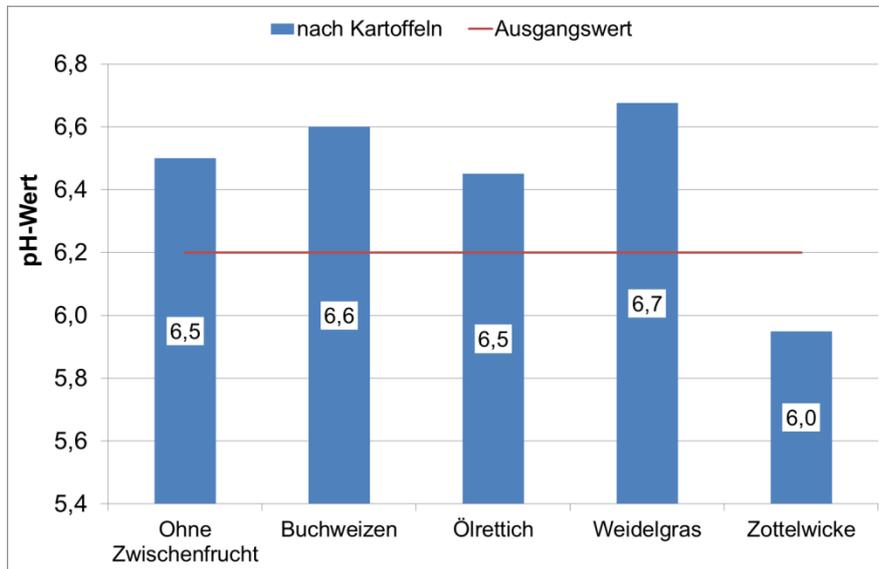


Abbildung 9: pH-Werte nach der Kartoffelernte in den Zwischenfruchtprüfgliedern im Gefäßversuch (Durchschnitt der Düngungsvarianten)

Bei den DL-löslichen Gehalten an Kalium waren zwischen den Varianten größere Unterschiede als beim Phosphat aufgetreten (Abbildung 10). Mit dem Stallmist wurden die größten K-Mengen zugeführt, was sich dann auch in einer deutlichen Anhebung der Bodengehalte zeigte. Die Unterschiede in der Kaliumzufuhr zwischen dem Grüngutkompost und der Gülle waren gering und führten zu annähernd gleichen K-Gehalten im Boden. Anders als beim Phosphat hatten die Zwischenfrüchte auf diesen Nährstoff eine deutlich mobilisierende Wirkung ausgeübt, wie aus einem Vergleich zwischen Abbildung 10 und Abbildung 11 zu erkennen ist. Ohne den Anbau von Zwischenfrüchten liegen die K-Gehalte über alle Varianten der organischen Düngung deutlich unter denen mit Zwischenfruchtanbau.

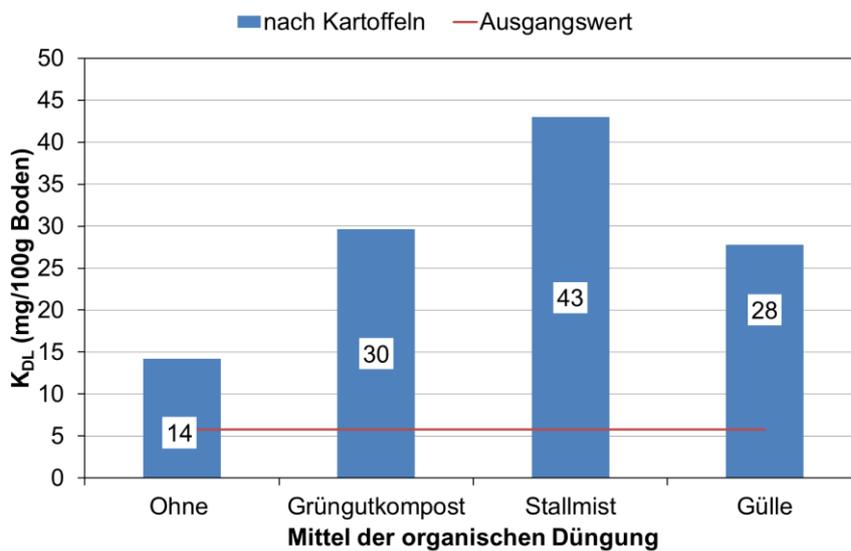


Abbildung 10: Einfluss der organischen Düngung auf den K_{DL}-Gehalt des Bodens (Mittelwerte über alle Varianten der Zwischenfrüchte)

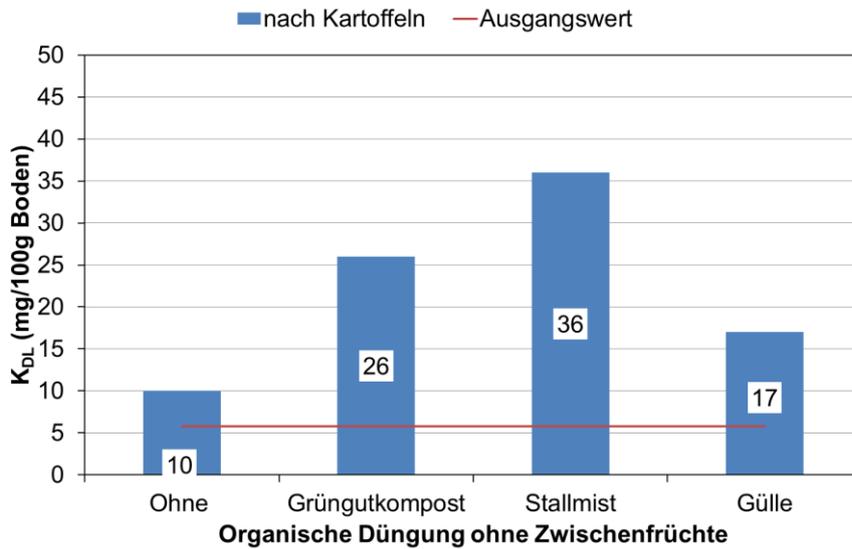


Abbildung 11: Einfluss der organischen Düngung auf den K_{DL}-Gehalt des Bodens im Durchschnitt der Gefäße ohne Zwischenfruchtanbau

Dieser Unterschied wäre noch deutlicher ausgefallen, wenn bei der Bildung der Mittelwerte die Zottelwicke nicht einbezogen würde. Wie beim Phosphat lagen auch die laktatlöslichen Kaliumgehalte deutlich unter denen der Nicht-Leguminosen (Abbildung 12). Dafür dürften vor allem die höheren Erträge und die damit einhergehenden höheren Kaliumentzüge der Kartoffeln verantwortlich sein. Im Durchschnitt über alle Düngungsvarianten ergab sich nach der Zottelwicke ein Kaliumentzug von 2,4 g/Gefäß. Im Vergleich dazu konnte nach den übrigen Zwischenfrüchten nur ein mittlerer K-Entzug von 0,75 g/Gefäß ermittelt werden (siehe auch Tabelle 21).

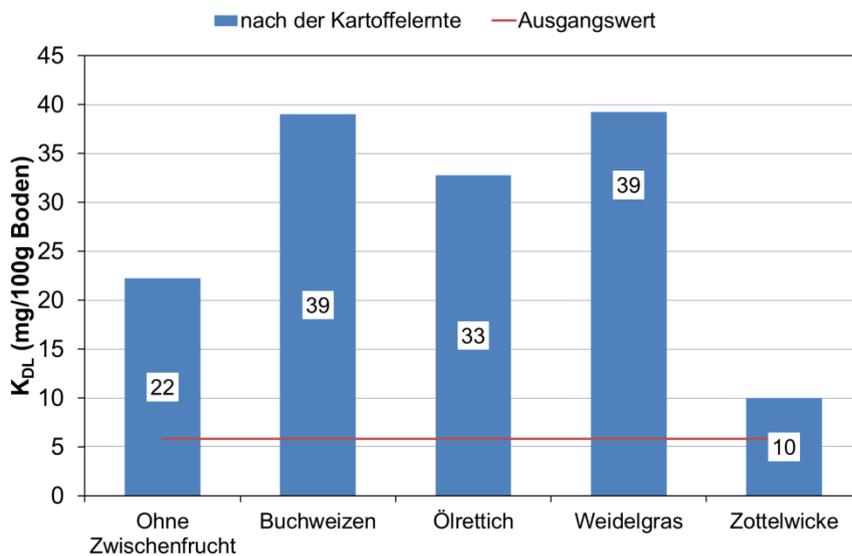


Abbildung 12: Einfluss des Zwischenfruchtanbaus auf die K_{DL}-Gehalte im Boden im Durchschnitt der Gefäße der Prüfglieder der organischen Düngung

Das pflanzenverfügbare Magnesium wurde im Boden nach Gülledüngung am deutlichsten angehoben, obwohl in dieser Variante die niedrigste Mg-Zufuhr erfolgte. Die höchste Mg-Menge wurde dagegen mit dem Grüngutkompost zugeführt, wodurch aber nur geringe Effekte im Vergleich zu den Ausgangsgehalten eingetreten sind

(Abbildung 13). Eine deutliche mobilisierende Wirkung der Zwischenfrüchte auf das pflanzenverfügbare Magnesium im Boden konnte im ersten Versuchsjahr nicht beobachtet werden (Abbildung 14).

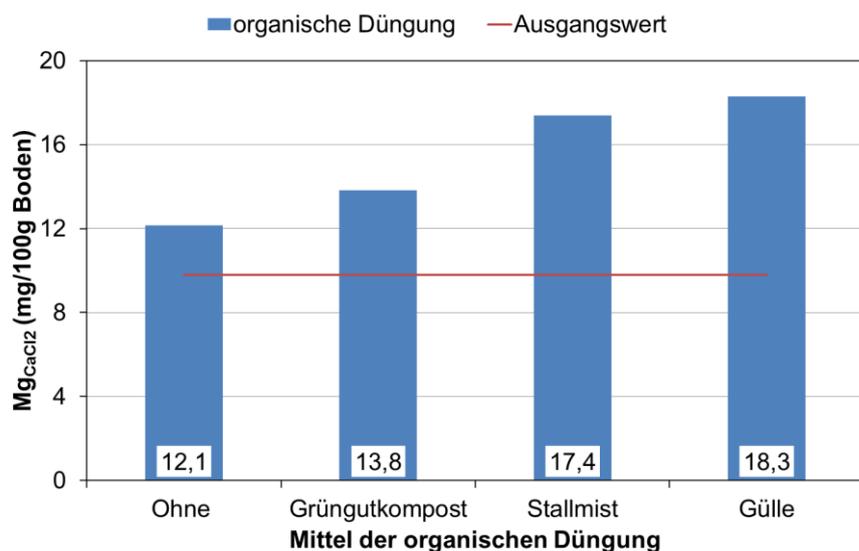


Abbildung 13: Einfluss der organischen Dünger auf den Mg-Gehalt im Boden der Gefäßversuche

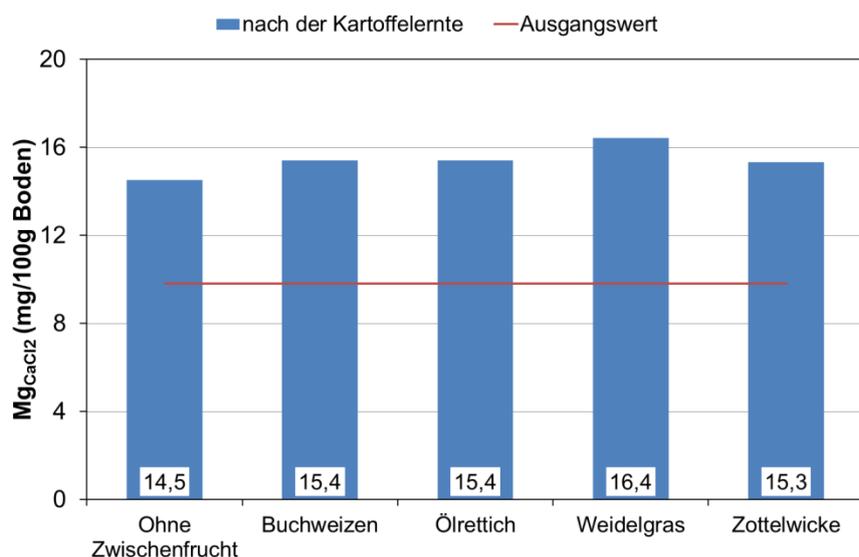


Abbildung 14: Wirkung der Zwischenfrüchte auf den Mg-Gehalt im Boden der Gefäßversuche im ersten Anbaujahr

3.1.2 Versuchsjahr 2001/2002

Entwicklung der angebauten Zwischenfrüchte

Nach der Kartoffelernte wurden die jeweiligen Gefäße erneut für die weitere Versuchsdurchführung vorbereitet. Nach Entnahme des Bodens aus den Gefäßen wurden die vorgegebenen wasserlöslichen Grundnährstoffe sowie die entsprechenden organischen Dünger zugegeben, in den Boden eingemischt und erneut in die Gefäße eingefüllt. Entsprechend dem in Tabelle 4 zusammengestellten Zeitablauf kamen die jeweiligen Zwischenfrüchte wieder zum Anbau. Die im Herbst 2001 erzielten Frischmasseerträge der Zwischenfrüchte sind in Tabelle 24 zusammengestellt worden.

Insgesamt ist ein Rückgang in der Frischmassebildung im Vergleich zum Vorjahr zu verzeichnen (siehe Tabelle 15). Am deutlichsten war die Abnahme in der Variante ohne organische Düngung. In den Gefäßen mit Zottelwicke und Weidelgras konnten keine optimalen Bestände erzielt werden, da das Saatgut eine schlechte Keimfähigkeit besaß. Vom Buchweizen und vom Ölrettich wurden nach der Frischmassebestimmung Mischproben über alle Prüfglieder der organischen Düngung entnommen und auf die N- und C-Gehalte untersucht (Tabelle 25). Die insgesamt geringeren Frischmasseerträge an Ölrettich wiesen etwas höhere N-Gehalte und engere C:N-Verhältnisse auf, was sich wahrscheinlich positiv auf die N-Mineralisation und die N-Bereitstellung für den nachfolgenden Sommerweizen ausgewirkt hat.

Tabelle 24: Frischmasseerträge (g/Gefäß) der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von den eingesetzten organischen Düngern im Herbst 2001

Organische Düngung	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Ohne organische Düngung	15,2	4,9	4,5	36,1
Grüngutkompost	58,8	23,9	25,0	25,6
Stallmist	117,1	47,7	33,9	64,4
Gülle	188,9	276,8	22,7	24,7
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)			18,9	
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)			18,9	
GD 5%; Tukey (AxB)			43,8	

Tabelle 25: Ergebnisse der N- und C-Bestimmung (% i.d. TM) an Mischproben von Buchweizen- und Ölrettich-Aufwüchsen im Jahr 2001

Zwischenfrucht	N _t	C _t	C:N-Verhältnis
Buchweizen	1,52	43,51	28,6
Ölrettich	2,20	38,89	17,7

Wirkung der organischen Düngung und der Zwischenfrüchte auf den nachgebauten Sommerweizen

Durch die zum EC-Stadium 65/66 am Sommerweizen vorgenommenen Messungen zur Wuchshöhe und zur Chlorophylldichte mit dem N-Tester konnten die Unterschiede in der Pflanzenentwicklung und N-Ernährung in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den zuvor angebauten Zwischenfrüchten erklärt werden. Zwischen den N-Testerwerten und der Bestandeshöhe ergab sich ein enger Zusammenhang (Abbildung 15). Dieser Ernährungszustand der Pflanzen zu diesem Stadium deutet bereits auf den in den jeweiligen Prüfgliedern möglichen späteren Kornertrag ($r = 0,94^{***}$) bzw. den N-Entzug ($r = 0,92^{***}$) hin.

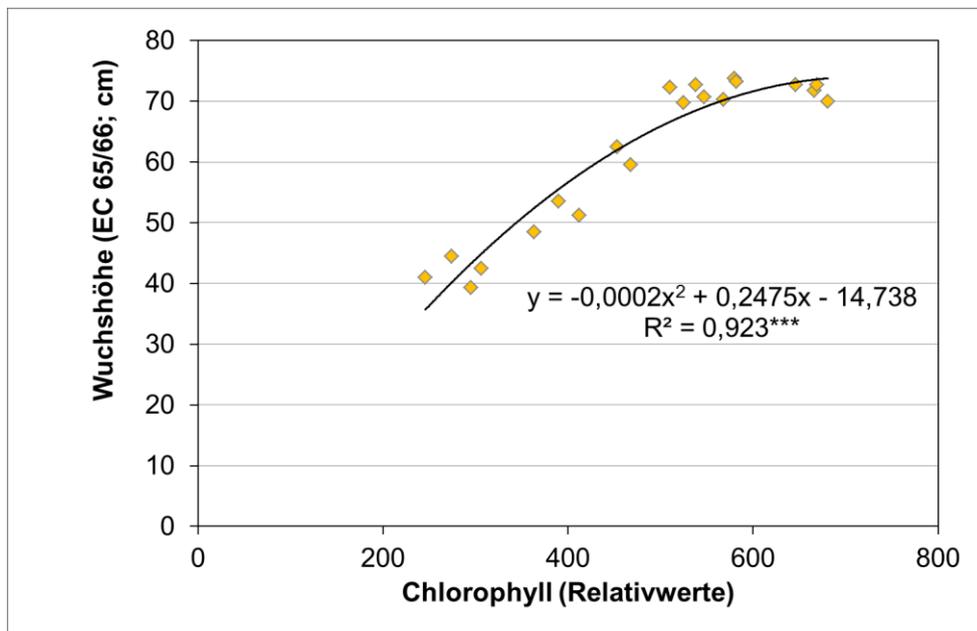


Abbildung 15: Beziehungen zwischen den N-Testerwerten und der Wuchshöhe des Sommerweizens in den Gefäßversuchen des Jahres 2002

Im Vergleich zum Vorjahr bei Kartoffeln erfolgte bei den Erträgen des Sommerweizens in Folge der organischen Düngung eine deutlichere Differenzierung. Insbesondere im Prüfglied ohne organische Düngung fallen die Erträge stark ab. Bis auf die Zottelwicke, in deren Gefäßen nach Düngung mit Grüngutkompost die niedrigsten Korn-TM-Erträge geerntet wurden, zeigt sich durchweg eine einheitliche Rangfolge der Düngungsvarianten in der Ertragshöhe: Ohne organische Düngung < Grüngutkompost < Stallmist < Gülle (Tabelle 26).

Bei den Kornerträgen ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten der organischen Düngung und den Zwischenfrüchten bei signifikanter Wechselwirkung. Während es im ersten Jahr bei den Kartoffeln keine Beziehung zwischen der gebildeten Frischmasse der Zwischenfrüchte und dem Knollen-TM-Ertrag gab, war dies beim Sommerweizen zum Teil anders (Abbildung 16). Sowohl beim Buchweizen als auch beim Ölrettich ergaben sich nach den hohen Frischmasseerträgen der Zwischenfrüchte auch die höchsten Kornerträge beim Sommerweizen. Während dies beim Weidelgras nicht so deutlich ist, war nach der Zottelwicke keine diesbezügliche Beziehung vorhanden.

Tabelle 26: Kornerträge (g TM/Gefäß) des Sommerweizens in den Gefäßversuchen

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
Ohne organische Düngung	3,20	2,40	3,04	3,07	16,79	5,70
Grüngutkompost	7,85	6,12	14,14	8,13	14,79	10,21
Stallmist	18,05	14,19	24,17	19,67	25,43	20,30
Gülle	36,98	17,78	26,88	40,20	40,22	32,41
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				1,8		
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				1,8		
GD 5%; Tukey (AxB)				4,5		

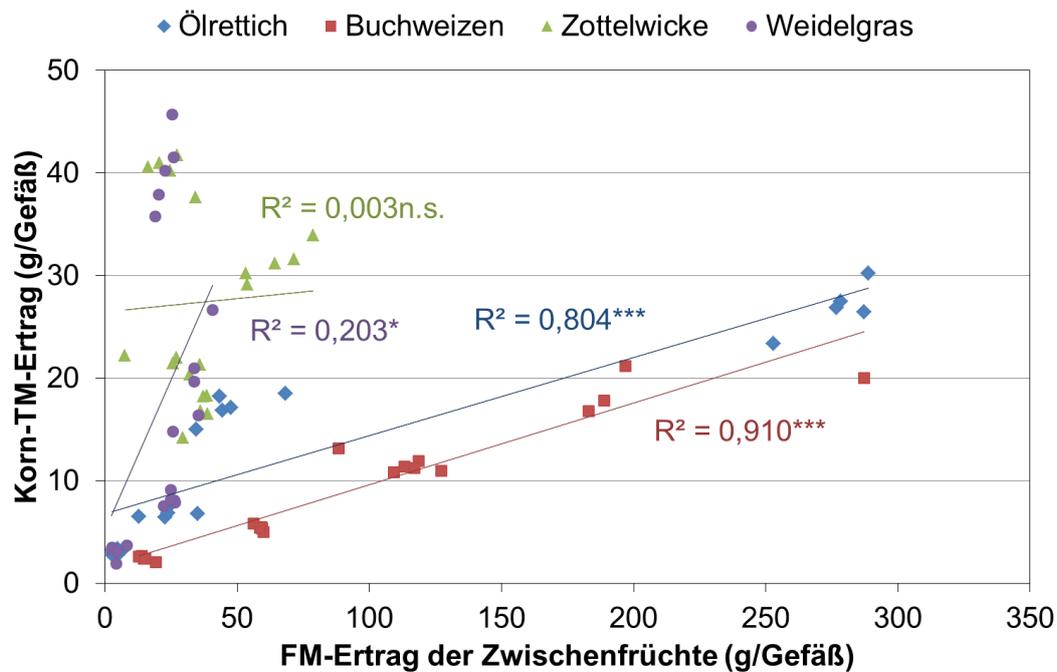


Abbildung 16: Beziehungen zwischen der gebildeten Frischmasse der Zwischenfrüchte und der Korn-trockenmasse des Sommerweizens

Der Einfluss von Düngung und Zwischenfrüchte auf den TM-Ertrag an Stroh war ähnlich ausgeprägt wie beim Kernertrag (vgl. Tabelle 26 u. Tabelle 27). Bei niedriger N-Versorgung überwog allerdings der Strohertrag, der dann etwa dreimal höher lag als der Kernertrag. Mit zunehmender Stickstoffverfügbarkeit verengte sich das Korn- zu Strohverhältnis bis auf etwa 1:1,1. Die Varianten mit Zottelwicke wiesen die engsten Korn/Strohverhältnisse auf.

Tabelle 27: Erträge an Stroh (g TM/Gefäß) des Sommerweizens in den Gefäßversuchen

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
Ohne organische Düngung	10,4	7,5	17,0	9,9	17,4	12,4
Grüngutkompost	11,4	8,4	18,4	10,7	18,8	13,5
Stallmist	23,9	19,3	30,0	25,5	31,1	26,0
Gülle	41,5	24,1	35,1	42,6	44,5	37,6
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)			2,1			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)			2,0			
GD 5%; Tukey (AxB)			5,8			

Einen Überblick zum Nährstoffentzug durch den Sommerweizen (Korn u. Stroh) gibt Tabelle 28. Wie bei den Erträgen bereits beschrieben, zeigt es sich, dass der schwache Weidelgrasbestand auch bei den Nährstoffentzügen in etwa den Beträgen des Prüfglieds ohne Zwischenfrucht gleich kommt. Durch die geringeren Frischmasseerträge der Zwischenfrucht Zottelwicke kommt es nicht zu einer deutlichen Überlegenheit bei den N-Entzügen durch den Sommerweizen, wie es noch bei den Kartoffeln der Fall war. Von der Ertragshöhe wird auch der Umfang der Entzüge der übrigen Makronährstoffe bestimmt. Bei insgesamt niedrigeren Entzügen als

bei den Kartoffeln haben sich die Relationen zwischen den Prüfgliedern ohne Zwischenfrucht und den einzelnen Zwischenfrüchten etwas verändert (Tabelle 29).

Tabelle 28: Nährstoffentzug (g/Gefäß; Korn u. Stroh) durch den Sommerweizen

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
N-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,070	0,051	0,066	0,066	0,282
Grüngutkompost	0,187	0,107	0,157	0,155	0,353
Stallmist	0,497	0,251	0,370	0,371	0,589
Gülle	0,705	0,356	0,533	0,847	0,873
Mittelwert	0,365	0,191	0,281	0,360	0,524
P-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,017	0,014	0,015	0,020	0,061
Grüngutkompost	0,048	0,027	0,034	0,039	0,080
Stallmist	0,122	0,059	0,089	0,092	0,137
Gülle	0,149	0,090	0,131	0,161	0,180
Mittelwert	0,084	0,048	0,067	0,114	0,078
K-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,189	0,108	0,134	0,138	0,512
Grüngutkompost	0,439	0,196	0,291	0,317	0,680
Stallmist	1,081	0,467	0,725	0,834	1,154
Gülle	1,363	0,715	1,064	1,491	1,480
Mittelwert	0,768	0,371	0,554	0,695	0,956
Mg-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,012	0,008	0,009	0,011	0,037
Grüngutkompost	0,024	0,016	0,016	0,020	0,045
Stallmist	0,050	0,028	0,037	0,038	0,067
Gülle	0,082	0,048	0,072	0,086	0,097
Mittelwert	0,042	0,025	0,034	0,039	0,062

Tabelle 29: Relativer Mehr- bzw. Minderentzug an Nährstoffen durch den Sommerweizen in den Zwischenfruchtvarianten (Ohne Zwischenfrucht = 100 %)

	Nährstoffentzug				
	N	P	K	Mg	Mittelwert
Ohne Zwischenfrucht	100	100	100	100	100
Buchweizen	52	57	48	60	54
Ölrettich	77	80	72	80	77
Weidelgras	99	93	90	92	94
Zottelwicke	144	136	124	147	138

Die Rohproteingehalte liegen insgesamt auf einem niedrigen Niveau (Tabelle 30). Im Durchschnitt über die Varianten der Zwischenfrüchte wurden nach der Gülledüngung tendenziell höhere Werte ermittelt. Die etwas höheren Rohproteingehalte nach Buchweizen deuten bei den insgesamt niedrigen Erträgen nach dieser Zwischenfrucht zumindest an, dass die Freisetzung des in der Biomasse gebundenen Stickstoffs erst relativ spät erfolgte und nicht für die Ertragsbildung zur Verfügung stand.

Tabelle 30: Rohproteingehalt (% i.d. Korn-TM) des Sommerweizens in den Gefäßversuchen

Zwischenfrucht	Organische Düngung				
	Ohne	Grüngutkompost	Stallmist	Gülle	Mittelwert
Ohne Zwischenfrucht	8,7	8,8	9,5	9,3	9,1
Buchweizen	10,2	10,2	10,5	9,6	10,1
Örettich	9,4	10,2	9,9	9,5	9,8
Weidelgras	10,3	9,4	9,2	10,3	9,8
Zottelwicke	8,3	8,2	9,2	10,7	9,1
Mittelwert	9,4	9,4	9,7	9,9	-

Die Tausendkornmasse (TKM) des Weizenkorns weist bis auf die Prüfglieder mit Zottelwicke eine deutliche Abhängigkeit vom eingesetzten organischen Dünger auf (Abbildung 17). Nach Gülle- und Stallmistdüngung wurden die höchsten Werte in der TKM erzielt. Dabei zeigt sich ein recht enger Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der TKM und der Ertragshöhe insgesamt ($r = 0,780^{***}$).

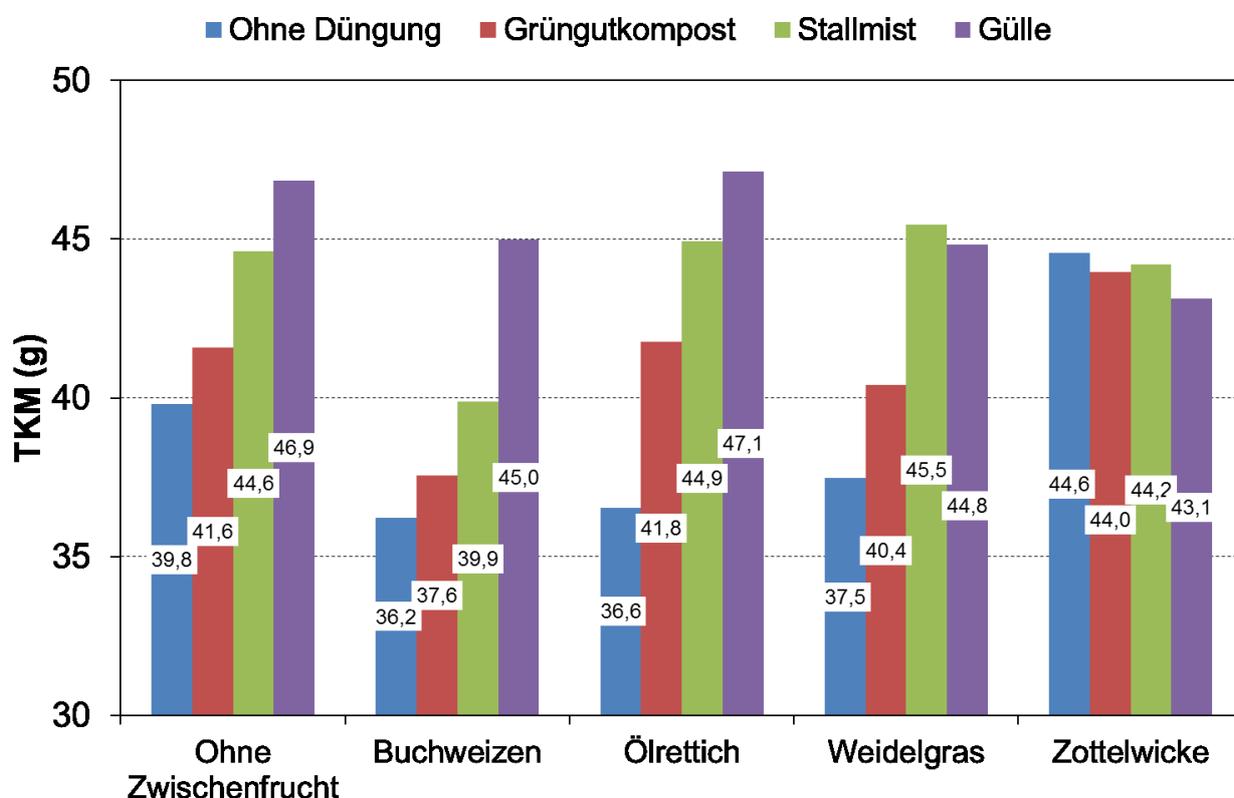


Abbildung 17: TKM des Sommerweizens in den einzelnen Prüfgliedern des Gefäßversuches

Auswirkungen von Düngung und Zwischenfruchtbau auf den Boden

Nach der Ernte des Sommerweizens wurde wiederum an den Bodenproben die Gehalte an Rest-N_{min} bestimmt (Tabelle 31). In der Tendenz deutet sich an, dass die Varianten mit Buchweizen und Ölrettich ein vergleichsweise niedrigeres Ertragsniveau und etwas höhere N_{min}-Werte aufwiesen (vgl. Tabelle 27, Tabelle 28 u. Tabelle 31). Anders als im Jahr zuvor mit Kartoffeln konnte in der Variante mit Zottelwicke, in der insgesamt die größten N-Entzüge aufgetreten waren, keine erhöhten N_{min}-Reste festgestellt werden. Da die Stickstoffentzüge des Weizens deutlich unter denen der Kartoffeln lagen, war vermutlich die ungenügende Bestandesetablierung und geringe Biomassebildung einschließlich verminderter legumer N-Bindung der Zottelwicke im Herbst des Vorjahres dafür verantwortlich.

Tabelle 31: Nach der Ernte des Sommerweizens ermittelte N_{min}-Gehalte im Boden (mg N/Gefäß)

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	5
Grüngutkompost	5	5	10	10	10
Stallmist	10	25	20	5	5
Gülle	10	10	10	5	5

Die vor dem Zwischenfruchtanbau erfolgte Zufuhr an organischem Dünger einschließlich der mineralischen Grunddüngung führte in allen Prüfgliedern zu einer weiteren Erhöhung der pflanzenverfügbaren Grundnährstoffe. Die nach dem ersten Versuchsjahr eingetretenen Veränderungen haben sich weiter verstärkt. Insbesondere die wiederholte Zugabe von organischen Düngern erhöhte die Pflanzenverfügbarkeit der einzelnen Nährstoffe. Beim laktatlöslichen Phosphat bewirkte die organische Düngung nahezu eine Verdopplung der bereits hohen Gehalte (Abbildung 18). Ein Vergleich zu den Gefäßen ohne Zwischenfrüchte verdeutlicht, dass deren Anbau ebenfalls zur verbesserten Pflanzenverfügbarkeit des im Boden vorhandenen Phosphats beitrug. Hierdurch wurde im Mittel der drei organischen Düngervarianten die P-Gehalte nochmals um rund 1 mg/100 g Boden angehoben (vgl. Abbildung 18 u. Abbildung 19).

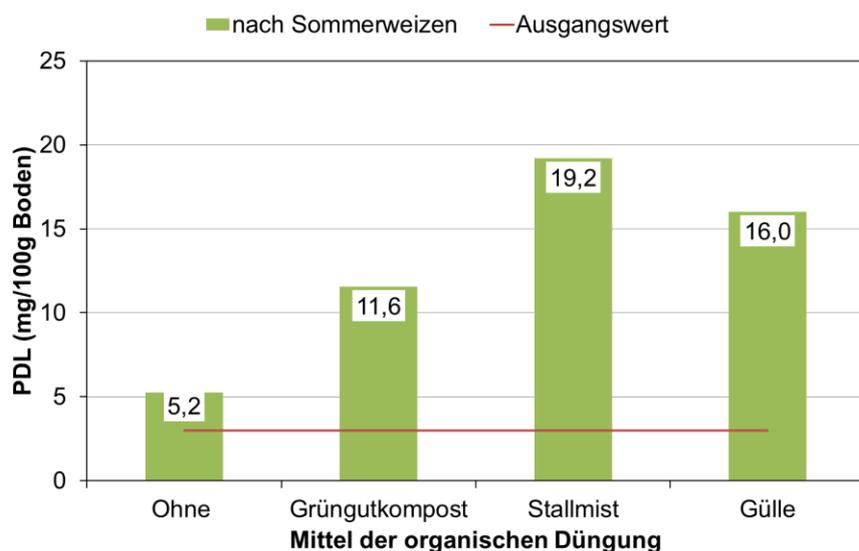


Abbildung 18: P_{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr 2002 in den Varianten der organischen Düngung mit Zwischenfrüchten

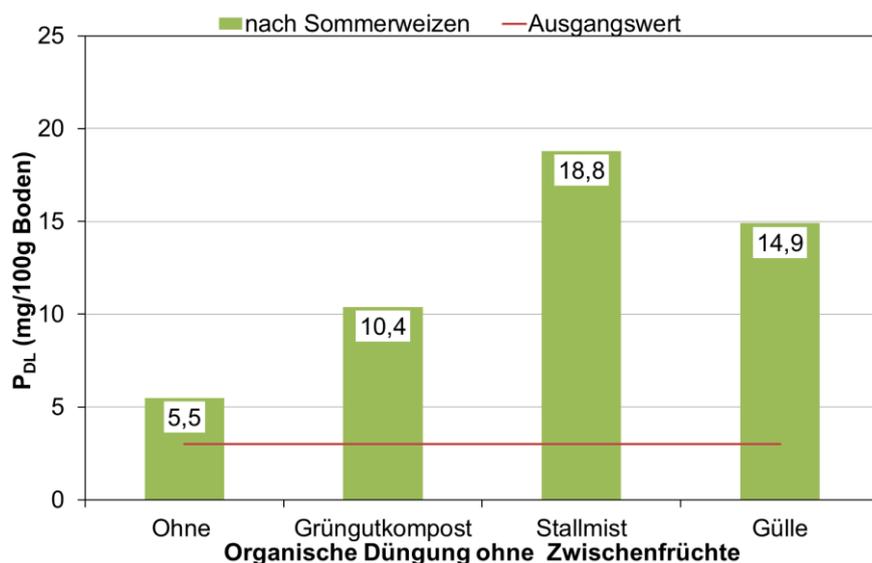


Abbildung 19: P_{DL} -Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern der organischen Düngung ohne Zwischenfruchtanbau

Bestätigung finden die Ergebnisse aus den Beprobungen des ersten Versuchsjahres in Bezug auf die Wirkung der Zwischenfrüchte. Nach diesen Ergebnissen bleiben auch die Gehalte an laktatlöslichem Phosphat in der Variante mit Zottelwicke unter denen der Nicht-Leguminosen (Abbildung 20). Dazu beigetragen haben neben dem Unterschied im pH-Wert sicher auch die wiederum erzielten höheren P-Entzüge. Nur die Nichtleguminosen haben zu einem Anstieg der Werte beigetragen, so dass im Vergleich zur Variante ohne Zwischenfrüchte die Differenzen in den DL-löslichen Phosphatgehalten zwischen dem ersten und dem zweiten Jahr im Boden etwas größer geworden sind.

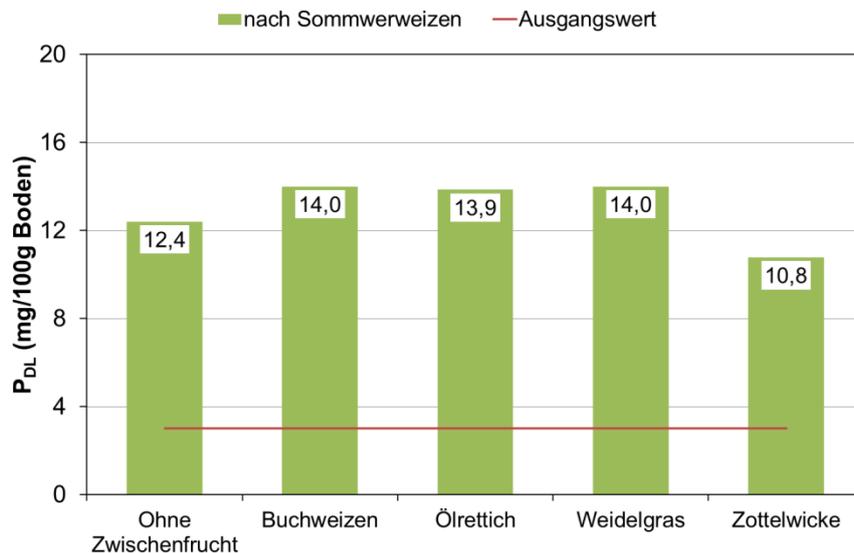


Abbildung 20: P_{DL}-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern des Zwischenfruchtanbaus

Noch deutlicher als beim Phosphat sind nach dem zweiten Versuchsjahr die laktatlöslichen Kaliumgehalte angestiegen (Abbildung 21). Die insgesamt höhere Zufuhr mit der Stallmistgabe spiegelt sich dann auch in den Bodengehalten wider, indem die Werte um 60 mg K/100 g Boden (Faktor 2,7) angestiegen sind. Auch der Anstieg der K-Werte der anderen organischen Dünger lag doppelt so hoch wie in der Variante ohne Düngung. Noch etwas stärker als beim Phosphat hatte der Zwischenfruchtanbau eine mobilisierende Wirkung auf die K-Gehalte des Bodens, wie ein Vergleich zwischen Abbildung 21 und Abbildung 22 verdeutlicht. Im Durchschnitt der drei organischen Dünger sind die K-Werte immerhin um 9 mg/100 g Boden angestiegen. In den Gefäßen mit Zottelwicke wurden deutlich höhere Weizenerträge mit entsprechend höheren K-Entzügen ermittelt (siehe Tabelle 28). Hierdurch wurden die K-Bodengehalte im Vergleich zu den anderen Zwischenfrüchten reduziert (Abbildung 23).

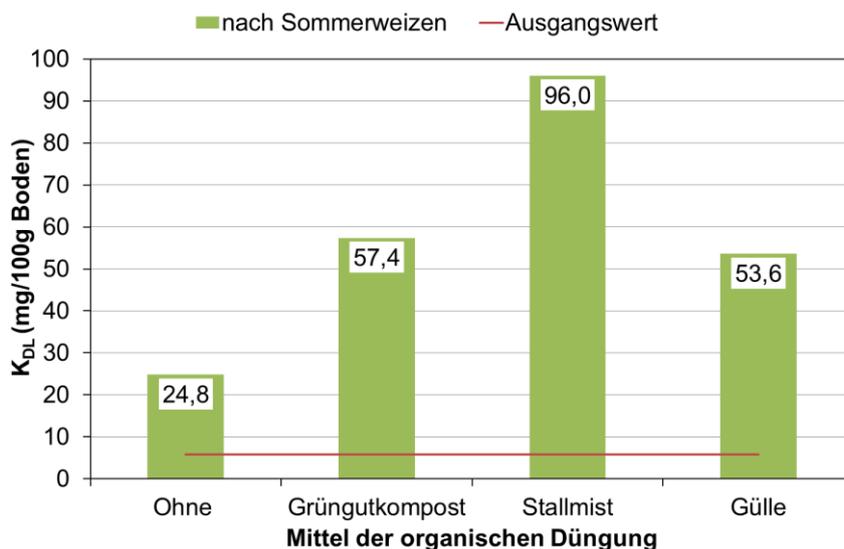


Abbildung 21: K_{DL}-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Varianten der organischen Düngung mit Zwischenfrüchten

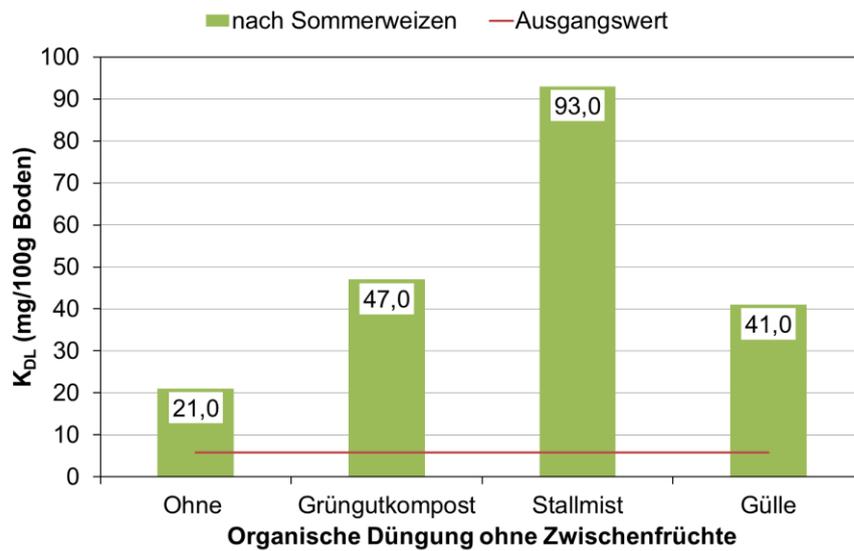


Abbildung 22: K_{DL}-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern mit organischer Düngung ohne Zwischenfrüchte

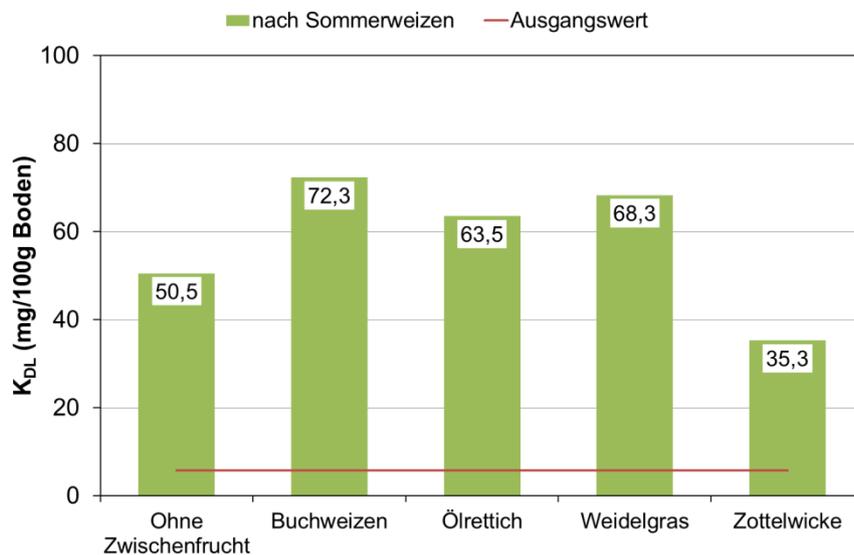


Abbildung 23: K_{DL}-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr der Prüfglieder mit Zwischenfruchtanbau

Die mineralische Grunddüngung erhöhte auch das pflanzenverfügbare Magnesium (vgl. Kapitel 2.1). Die Zufuhr durch die organischen Dünger ließ den Bodengehalt durch die Nährstoffmineralisierung zusätzlich ansteigen (Abbildung 24). Eine Mobilisierung durch den Zwischenfruchtanbau ist allerdings bei diesen Ergebnissen nicht zu erkennen, wie ein Vergleich zwischen Abbildung 24 und Abbildung 25 verdeutlicht. Auch eine Differenzierung zwischen den verschiedenen Zwischenfrüchten ist nicht zu erkennen (Abbildung 26).

Zur Kontrolle wurden wiederum auch die pH-Werte des Bodens ermittelt. Es ist ein Anstieg der pH-Werte des Bodens zu erkennen (Abbildung 27). Der leicht niedrigere pH-Wert im Boden nach dem Anbau der Leguminose blieb allerdings bestehen. Das Absinken verschärfte sich allerdings nicht.

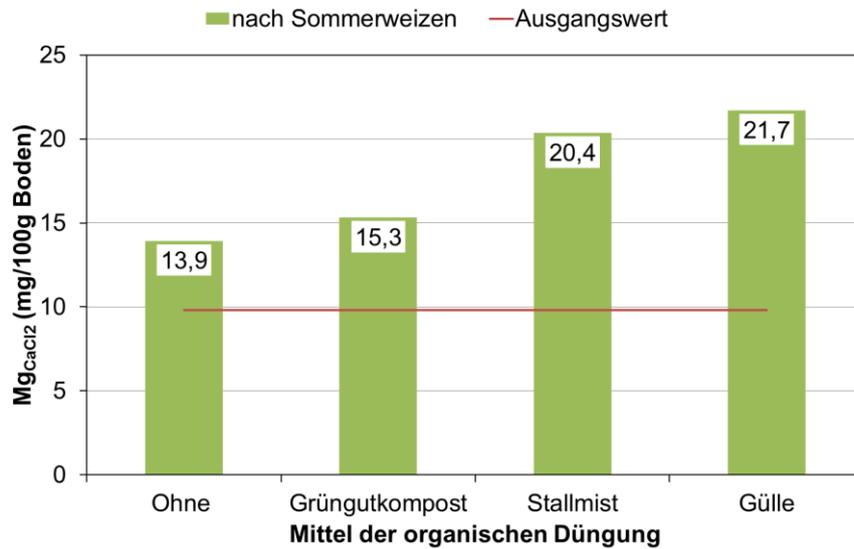


Abbildung 24: Mg-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr der Prüfglieder mit organischer Düngung mit Zwischenfrüchten

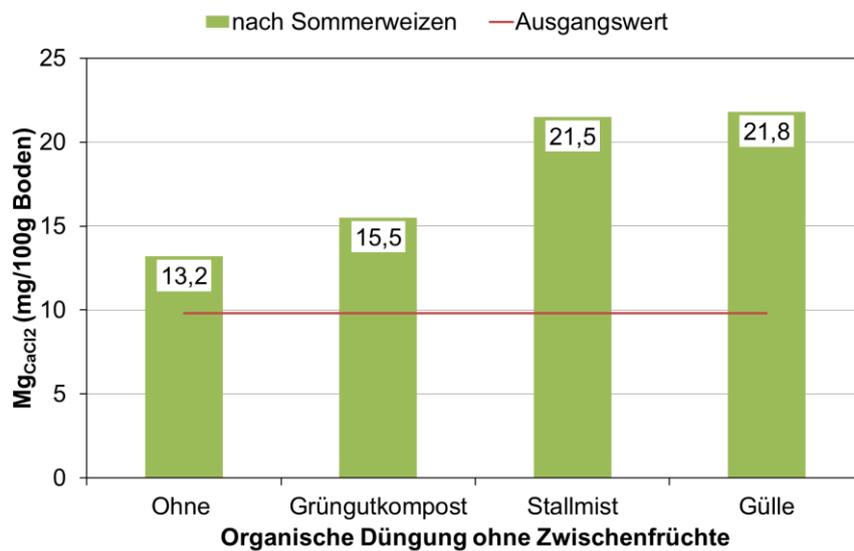


Abbildung 25: Mg-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr in den Prüfgliedern mit organischer Düngung ohne Zwischenfrüchte

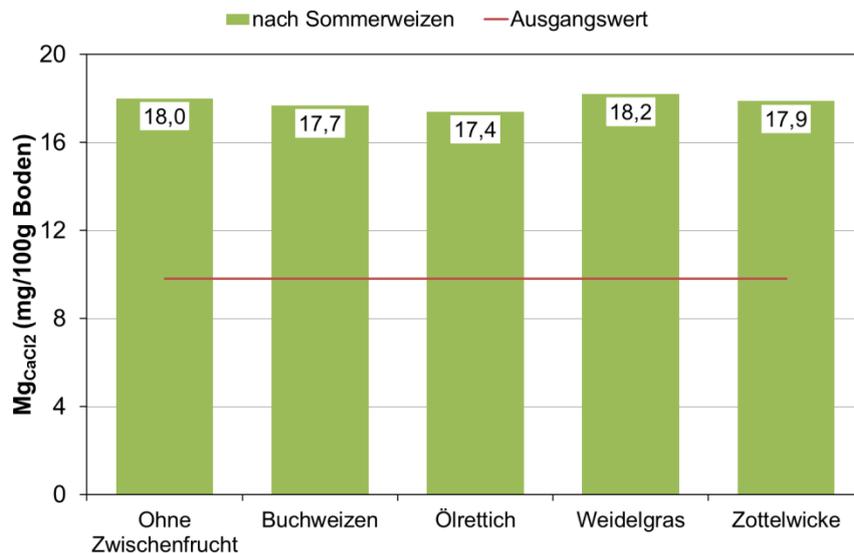


Abbildung 26: Mg-Gehalte des Bodens im zweiten Versuchsjahr der Varianten mit Zwischenfruchtanbau

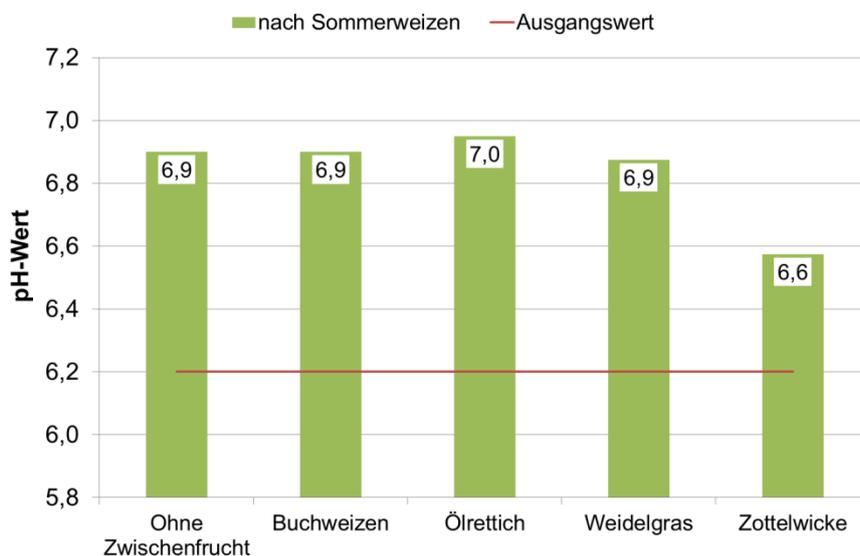


Abbildung 27: Der pH-Wert im Boden im zweiten Versuchsjahr der Prüfglieder mit Zwischenfruchtanbau

3.1.3 Versuchsjahr 2002/2003

Entwicklung der angebauten Zwischenfrüchte

Durch den Anbau der Zwischenfrüchte wurden im dritten Versuchsjahr des Gefäßversuches in etwa die gleichen Frischmasseerträge wie im Jahr zuvor geerntet (vgl. Tabelle 24 u. Tabelle 32). Dabei zeigt sich, dass die Zottelwicke im Prüfglied ohne organische Düngung zwar eine etwas höhere Biomasse gebildet hatte als die Nichtleguminosen. Die Ertragszunahme durch die organischen Dünger war demgegenüber aber bei den nicht-legumen Arten wesentlich deutlicher ausgeprägt. Der Buchweizen war in der Ertragsbildung den anderen nicht-legumen Zwischenfrüchten überlegen. Das Weidelgras erreichte allerdings selbst nach Stallmist- und Güllezugabe nur das niedrige Ertragsniveau der Leguminose (Tabelle 32).

Das C:N-Verhältniss wurde wiederum an Mischproben von Buchweizen und Ölrettich ermittelt. Es zeigte sich, dass diese Verhältnisswerte im Vergleich zum Vorjahr etwas erweitert worden sind (Tabelle 33). Als Ursache können die sehr niedrigen N-Gehalte im Aufwuchs der Zwischenfrüchte angeführt werden. Hierdurch war für den nachgebauten Mais nur mit einer begrenzten N-Bereitstellung zu rechnen.

Tabelle 32: Frischmasse (g/Gefäß) der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von den eingesetzten organischen Düngern im Herbst 2002 der Gefäßversuche

Organische Düngung	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Ohne organische Düngung	23,7	7,3	8,0	48,0
Grüngutkompost	47,5	22,6	15,8	49,8
Stallmist	219,9	81,8	59,5	55,9
Gülle	244,8	146,5	81,8	85,8
GD 5%, Tukey (A; organische Düngung)			16,4	
GD 5%, Tukey (B; Zwischenfrucht)			16,4	
GD 5%, Tukey (AxB)			38,5	

Tabelle 33: Ergebnisse der N- und C-Bestimmung (% i.d. TM) an Mischproben von Buchweizen- und Ölrettich-Aufwüchsen im Jahr 2002

Zwischenfrucht	N	C	C:N-Verhältnis
Buchweizen	1,40	44,6	31,9
Ölrettich	1,42	39,2	27,6

Wirkung der organischen Düngung und der Zwischenfrüchte auf den nachgebauten Mais

Auf eine Wiedergabe der am 27.06.2003 durchgeführten Messungen mit dem N-Tester wird verzichtet, da die Werte insgesamt unterhalb des normalen Wertebereiches lagen. Die Maispflanzen waren in allen Prüfgliedern unzureichend mit Stickstoff versorgt, was sich über die gesamte Wachstumsperiode zeigte (Abbildung 28). Die erzielten TM-Erträge finden sich in Tabelle 34. In den Gefäßen mit Zottelwicke war der Mais etwas besser mit Stickstoff versorgt. Über alle Varianten der organischen Düngung führte der zusätzliche Leguminosen-Stickstoff zu einem Mehrertrag. Anders als in den Jahren zuvor waren die Varianten mit Ölrettich und mit Weidelgras den Prüfgliedern ohne Zwischenfruchtanbau nicht überlegen, da in allen Düngungsvarianten vergleichbar hohe Sprosserträge an Mais geerntet worden sind.

Zur Verdeutlichung von Wechselwirkungen wird in Abbildung 29 die TM-Bildung des Maises in Abhängigkeit von den eingesetzten organischen Düngern und den angebauten Zwischenfrüchten dargestellt. Die größte Überlegenheit zur Ertragsbildung des nachgebauten Maises erreichte die Zottelwicke im Prüfglied ohne organische Düngung und nach Einsatz von Grüngutkompost. Zwischen den anderen geprüften Zwischenfrucht-Varianten gab es keine großen Unterschiede. Nur nach der Buchweizen-Zwischenfrucht waren die nach Stallmist- und Gülledüngung erbrachten Maiserträge im Vergleich zur Variante ohne Zwischenfrüchte nicht so deutlich ausgeprägt.

Tabelle 34: Sprosserträge (g TM/Gefäß) des angebauten Mais im Jahr 2003 der Gefäßversuche

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
Ohne organische Düngung	10,20	10,06	11,91	9,70	53,48	19,07
Grüngutkompost	25,10	24,33	24,49	20,95	64,78	31,93
Stallmist	67,40	48,80	65,05	71,34	76,32	65,78
Gülle	81,20	49,31	74,69	76,91	90,58	74,54
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)			4,4			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)			4,3			
GD 5%; Tukey (AxB)			10,9			



Abbildung 28: Maispflanzen in den Gefäßen mit Gülledüngung nach den verschiedenen Zwischenfrüchten

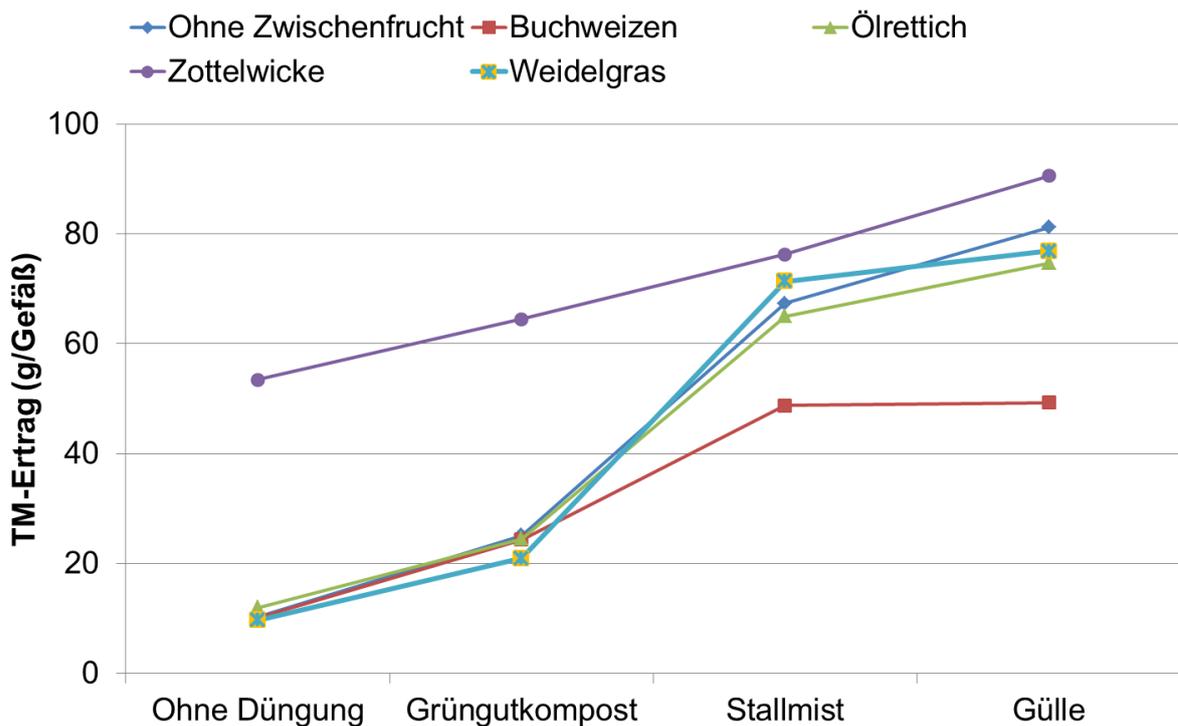


Abbildung 29: Darstellung des Ertragsverlaufs an Mais-TM in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten im dritten Versuchsjahr (2003)

Tabelle 35: Berechnete Nährstoffentzüge (g Reinnährstoff/Gefäß) durch die Sprossaufwüchse an Mais

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
N-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,05	0,06	0,06	0,06	0,28
Grüngutkompost	0,13	0,13	0,14	0,12	0,33
Stallmist	0,43	0,26	0,31	0,37	0,48
Gülle	0,44	0,20	0,32	0,44	0,63
P-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,029	0,035	0,036	0,033	0,162
Grüngutkompost	0,053	0,063	0,059	0,059	0,143
Stallmist	0,114	0,097	0,109	0,113	0,120
Gülle	0,129	0,105	0,134	0,123	0,134
K-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,312	0,320	0,375	0,304	0,868
Grüngutkompost	0,829	0,818	0,856	0,755	1,549
Stallmist	2,061	1,514	1,884	2,096	2,143
Gülle	2,015	1,361	1,897	1,980	2,084
Mg-Entzug					
Ohne organische Düngung	0,012	0,017	0,018	0,015	0,067
Grüngutkompost	0,015	0,025	0,026	0,024	0,054
Stallmist	0,064	0,046	0,048	0,060	0,072
Gülle	0,112	0,053	0,079	0,090	0,134

Die Nährstoffentzüge durch die Sprossaufwüchse des Mais liegen besonders beim Stickstoff auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau (Tabelle 35). Da auch im Boden nach der Ernte nur noch sehr geringe N_{min} -

Mengen nachgewiesen werden konnten (siehe Tabelle 41), ist von einer deutlichen Unterversorgung mit Stickstoff auszugehen. Darüber hinaus war die Nährstofffreisetzung aus den organischen Düngern und den Zwischenfrüchten stark eingeschränkt. Vermutlich waren die besonderen Bedingungen in den Gefäßen mit hoher Durchwurzelungsdichte, erhöhter Temperatur, ungleichmäßiger Durchfeuchtung usw. besonders für die begrenzte N-Nachlieferung und N-Bereitstellung verantwortlich.

Der relative Unterschied im Nährstoffentzug zwischen den Prüfgliedern der Zwischenfrüchte hat sich mit dem Anbau von Mais weiter verändert (Tabelle 36). Einerseits hat sich die Differenz zwischen dem Prüfglied ohne Zwischenfrucht und der Variante mit Zottelwicke weiter verstärkt. Andererseits sind die Unterschiede in den Erträgen und Nährstoffentzügen in den Prüfgliedern mit Ölrettich und Weidelgras im Vergleich zum Prüfglied ohne Zwischenfrüchte nur noch gering, nachdem anfangs beim Anbau der Kartoffeln noch deutliche Differenzen aufgetreten waren (siehe Kap. 3.1.1). Mit diesen Ergebnissen deutet sich an, dass die Freisetzung der Nährstoffe aus der gebildeten Biomasse der mehrfach angebauten Zwischenfrüchte deutlich zugenommen hat.

Tabelle 36: Relativer Mehr- bzw. Minderentzug an Nährstoffen durch den angebauten Mais in den Zwischenfrucht-Varianten (Ohne Zwischenfrucht = 100 %)

	Nährstoffentzug				
	N	P	K	Mg	Mittelwert
ohne Zwischenfrucht	100	100	100	100	100
Buchweizen	63	92	77	69	75
Ölrettich	80	104	96	84	91
Weidelgras	95	101	98	94	97
Zottelwicke	166	172	127	162	157

Der P-Entzug liegt zwischen dem der Kartoffeln und des Sommerweizens. Beim Kalium werden durch den Mais im Mittel die gleichen Entzüge wie bei den Kartoffeln erreicht. Im Wesentlichen ergeben sich dabei in Abhängigkeit von den Prüfgliedern die Relationen wie sie bei den ermittelten TM-Erträgen an Mais vorlagen (siehe Tabelle 34 u. Tabelle 35).

Die Qualitätsmerkmale der Mais-Sprossmasse sind in Tabelle 37 zusammengestellt worden. Die Varianten ohne Zwischenfrüchte und mit Buchweizen wiesen höhere Gehalte an Rohasche und Rohfasern auf. Mit steigender Nährstoffverfügbarkeit durch Zwischenfruchtanbau (z.B. Zottelwicke) und organischer Düngung (z.B. Gülle) nehmen die Gehalte dieser Inhaltsstoffe im Maisspross ab. Hierdurch nehmen die Rohaschewerte mit steigenden Trockenmasseerträgen ab ($r = 0,82^{***}$). Eine noch engere Beziehung findet sich zum P-Entzug. Der Rohascheanteil fällt mit steigenden P-Entzügen deutlich ab ($r = 0,91^{***}$).

Diese Ergebnisse zeigen, wie wichtig neben einer guten N-Versorgung für die Ertragsbildung auch eine ausreichende P-Verfügbarkeit ist. Für den Rohfaseranteil lässt sich ebenfalls feststellen, dass mit steigendem TM-Ertrag der Rohfaseranteil absinkt ($r = 0,85^{***}$). Eine Erhöhung der P-Gehalte in den Maispflanzen war dann mit einem Anstieg der Rohfaserwerte verbunden ($r = 0,80^{***}$). Ein Einfluss der geprüften Parameter auf die ermittelten ELOS-Werte ist dagegen nicht ersichtlich (Tabelle 37).

Tabelle 37: Einfluss der organischen Düngung und des Anbaus von Zwischenfrüchten auf Qualitätsmerkmale der Sprossaufwüchse von Mais (3. Versuchsjahr 2003)

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Rohasche		(in % der TM)			
Ohne organische Düngung	7,6	8,6	5,0	6,3	6,3
Grüngutkompost	8,3	7,9	9,2	5,5	6,0
Stallmist	7,8	8,3	6,6	5,0	6,2
Gülle	3,7	8,5	7,3	5,3	5,3
Rohfaser		(in % der TM)			
Ohne organische Düngung	30,3	31,0	28,8	28,8	26,1
Grüngutkompost	30,7	30,2	31,2	28,7	28,6
Stallmist	30,6	30,1	28,0	28,0	28,5
Gülle	29,0	30,2	29,0	28,1	28,5
ELOS		(MJ/kg TM)			
Ohne organische Düngung	60,6	61,9	62,0	61,1	63,1
Grüngutkompost	60,9	62,4	62,4	61,6	61,9
Stallmist	61,1	63,7	62,4	61,3	62,8
Gülle	62,4	63,2	61,9	61,5	62,4

3.1.4 Erträge und Nährstoffzüge im Verlauf der drei Versuchsjahre

Ergebnisse im Durchschnitt der Versuchsjahre

Eine Zusammenfassung der in den drei Versuchsjahren erzielten Erträge an Hauptprodukten (Knollen, Korn, Sprossmasse) findet sich in Tabelle 38. Als Vergleichswert wurde die Stallmistdüngung ohne Zwischenfrucht gewählt (Relativertrag = 100 %). Die Variante ohne Zwischenfruchtanbau wies die größte Ertragsdifferenzierung zwischen den Prüfgliedern der organischen Düngung auf. Dabei zeigte sich in allen geprüften Varianten, dass die Gölledüngung über die drei untersuchten Jahre als die ertragsstärkste Düngerform angesehen werden kann. Als Voraussetzung für dieses Ergebnis war in den Gefäßversuchen eine verlustarme Einbringung der Gülle in den Boden und dass keine N-Austräge über Winter aufgetreten sind, da das Sickerwasser aufgefangen und den Gefäßen wieder zugegeben worden ist. Bei der Gölledüngung unter Feldbedingungen und ohne Zwischenfruchtanbau können diese Voraussetzungen meistens nicht eingehalten werden.

Zwischen allen Varianten wiesen die Erträge an Hauptprodukten nach Anbau der Zottelwicke die geringste Differenzierung auf. Besonders bei niedrigerem N-Angebot profitierten die nachgebauten Hauptfrüchte von der legumen N-Bindung durch die Zottelwicke, so dass in den Varianten ohne Düngung und mit Grüngutkompost mit Abstand die höchsten Erträge realisiert werden konnten. Bei höherem N-Angebot durch die organische Düngung wurde wahrscheinlich die symbiotische N-Bindung deutlich reduziert, so dass in den Varianten mit Stalldung und besonders mit Gülle nur noch geringe Ertragsvorteile durch den Anbau der Zottelwicke entstanden sind.

Mit dem Anbau von Buchweizen wurde im Mittel der Jahre die höchste Zwischenfrucht-Frischmasse und Menge an konservierten Nährstoffen in den jeweiligen Prüfgliedern der organischen Düngung erzielt. Darauf reagierten die nachgebauten Hauptfrüchte allerdings mit deutlichen Mindererträgen, da die Mineralisation der organischen Substanz des Buchweizens auf Grund der weiten C:N-Verhältnisse bisher weitgehend unterblieben ist. Durch hohe gebildete Aufwuchs-Mengen an Weidelgras wurden zumindest im ersten Jahr auch ungünstige Ergebnisse beobachtet. Dass im Mittel der drei Jahre insbesondere nach der Gölledüngung kein so großer Ertragsabfall auftrat, konnte auf die teilweise schwache Bestandesetablierung der Zwischenfrüchte zurückgeführt werden.

Tabelle 38: Relativerträge an Hauptprodukt-TM (Kartoffeln, Sommerweizen, Mais) in den jeweiligen Prüfgliedern im Durchschnitt der drei Versuchsjahre (Variante Stalldung ohne Zwischenfrucht = 100%)

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Ohne Düngung	26	15	19	12	72
Grüngutkompost	52	26	33	27	92
Stallmist	100	55	77	72	115
Gülle	132	59	96	106	129

Die mit den Ernten der jeweiligen Hauptfrüchte Kartoffeln, Sommergerste und Mais entzogenen Nährstoffe an Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium sind in Tabelle 39 zusammengestellt worden. Beim Stickstoff führte jeweils die Kombination aus den Varianten mit organischer Düngung und mit Anbau der Zwischenfrucht-Leguminose zu den höchsten N-Entzügen. In erster Linie sollte dafür die legume N-Bindung der Zottelwicke verantwortlich sein, die insbesondere bei geringeren Gehalten des Bodens an pflanzenverfügbarem Stickstoff eine entsprechende zusätzliche N-Zufuhr an legumer N-Bindung erbrachte. Sie war ebenfalls verantwortlich für ein engeres C/N-Verhältnis in der organischen Substanz und eine höhere Netto-N-Freisetzung nach Einbringung in den Boden. Dadurch konnte eine deutlich bessere N-Versorgung für die nachfolgende Hauptfrucht gewährleistet werden.

Eine zeitige N-Freisetzung nach Leguminosen ist jedoch mit der Gefahr von N-Verlusten verbunden, führt aber in Jahren mit geringen Verlusten zu einer besseren N-Versorgung (MÖLLER und REENTS, 2009). Im Hinblick auf das Ertragsgeschehen und die damit verbundenen N-Entzüge konnte im Prüfglied ohne Anbau von Zwischenfrüchten folgende Rangfolge für die organische Düngung bestimmt werden: ohne organische Düngung < Grüngutkompost < Stallmist < Gülle. Diese Ergebnisse wurden sowohl für den Einfluss der Zwischenfrüchte als auch für die Varianten der organischen Düngung unter den Bedingungen des Gefäßversuches ermittelt, bei denen keine N-Austräge entstehen. Unter Feldbedingungen kommt oft eine etwas andere Rangfolge zustande. Der Einsatz der einzelnen organischen Dünger und des Zwischenfruchtanbaus kommt dann zu anderen Ergebnissen (siehe Kapitel 3.2).

Durch den Anbau von nicht-legumen Zwischenfrüchten lassen sich N-Verluste über den Winter vermeiden. Im Gefäßversuch war dann die N-Freisetzung, besonders aus kräftig entwickelten Beständen mit weiten C/N-Verhältnissen deutlich begrenzt. War die Entwicklung der Zwischenfrüchte im Herbst eher verhalten, dann war die nachgebaute Hauptfrucht dem Prüfglied ohne Zwischenfrucht ebenbürtig (z.B. Weidelgras im Jahr 2003). Zu beobachten war auch, dass der Unterschied zwischen den Varianten ohne und mit Anbau von Zwischenfrüchten über die Jahre geringer wurde. Dies ist ein bedeutendes Resultat der N-Anreicherung in der organischen Substanz des Bodens und der langfristig besseren potenziellen Reserven bei der N-Nachlieferung.

Die Differenzierung bei den anderen Makronährstoffen ist insbesondere das Ergebnis des unterschiedlichen Ertragsgeschehens. Aussagen zu einer verbesserten Nährstoffverfügbarkeit durch den Zwischenfruchtanbau können auch deshalb nicht vertiefend analysiert werden, da die mineralische Grunddüngung über alle Prüfglieder bereits zu einem Anstieg der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte geführt hatte.

Tabelle 39: Nährstoffentzüge (g Reinnährstoff/Gefäß) durch die angebauten Hauptfrüchte im Durchschnitt der dreijährigen Versuchsdurchführung

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Örettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
N-Entzug						
Ohne organische Düngung	0,516	0,271	0,323	0,227	1,872	0,642
Grüngutkompost	0,866	0,409	0,578	0,461	2,241	0,911
Stallmist	1,649	0,856	1,134	1,090	2,752	1,496
Gülle	2,071	0,870	1,334	1,650	2,884	1,762
Mittelwert	1,276	0,601	0,842	0,857	2,437	-
P-Entzug						
Ohne organische Düngung	0,124	0,097	0,111	0,080	0,281	0,139
Grüngutkompost	0,203	0,146	0,169	0,150	0,315	0,197
Stallmist	0,401	0,271	0,341	0,302	0,406	0,344
Gülle	0,479	0,290	0,422	0,410	0,449	0,410
Mittelwert	0,302	0,201	0,261	0,235	0,363	-
K-Entzug						
Ohne organische Düngung	1,447	0,837	1,045	0,650	2,975	1,391
Grüngutkompost	2,800	1,501	1,872	1,481	4,746	2,480
Stallmist	5,236	3,024	3,930	3,728	6,258	4,435
Gülle	5,814	2,821	4,346	4,476	6,110	4,713
Mittelwert	3,824	2,046	2,798	2,584	5,022	-
Mg-Entzug						
Ohne organische Düngung	0,061	0,041	0,049	0,032	0,306	0,098
Grüngutkompost	0,086	0,064	0,073	0,058	0,264	0,109
Stallmist	0,199	0,130	0,143	0,143	0,333	0,190
Gülle	0,358	0,161	0,226	0,249	0,439	0,286
Mittelwert	0,176	0,099	0,123	0,120	0,335	-

Zur Verfügbarkeit des Stickstoffs aus den organischen Düngern gibt Tabelle 40 Auskunft. Berechnet wurde die scheinbare Nährstoffausnutzung aus den organischen Düngemitteln unter Abzug der in dem Prüfglied ohne Düngung erzielten Beträge. Wie bereits bei der Darstellung der Relativerträge und der N-Entzüge angedeutet wurde, erfolgte auch die Nährstoffausnutzung bei Zugrundelegung einer einheitlichen Gesamtstickstoffmenge, in Rangfolge der N-Verfügbarkeit in den zugeführten Düngemitteln.

Der Gülle-N wurde deshalb in allen Varianten am besten ausgenutzt, weil die Verfügbarkeit des Stickstoffs in diesem Dünger am höchsten ist. Weil Stickstoff in diesen Gefäßversuchen als der am meisten ertragsbegrenzende Nährstoff anzusehen war, führte die höhere Verfügbarkeit von Gülle-N zu entsprechend deutlicheren Ertragsreaktionen als bei den anderen Düngemitteln.

Bei den übrigen Makronährstoffen wurde bei der Berechnung der Ausnutzung die unterschiedliche Zufuhr berücksichtigt. Auch hier schneidet die Gülle deutlich besser ab als die Düngung mit Grüngutkompost und Stallmist. Eine Ursache hierfür ist sicher die insgesamt sehr gute Nährstoffversorgung mit diesen Grundnährstoffen im Boden, so dass nach der Gülledüngung durch die hohe Ertragsbildung auch adäquate Mengen dieser Nährstoffe aufgenommen worden sind. Werden die zwischenzeitlich durch die Düngungsmaßnahmen veränderten Bodenreserven an Nährstoffen bei der Effizienzberechnung berücksichtigt, so kommt es zu einer Veränderung der Gewichtung der organischen Düngemittel (siehe nächstes Kapitel 3.1.5).

Tabelle 40: Scheinbare relative Ausnutzung der mit den organischen Düngern über die drei Versuchsjahre zugeführten Nährstoffe (Gesamtzufuhr je Nährstoff = 100 %)

Organischer Dünger	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
N-Ausnutzung aus organischen Düngern						
Grüngutkompost	5	2	3	3	5	4
Stallmist	15	8	11	12	12	11
Gülle	21	8	13	19	13	15
Mittelwert	14	6	9	11	10	-
P-Ausnutzung aus organischen Düngern						
Grüngutkompost	5	3	4	5	2	4
Stallmist	13	8	11	11	6	10
Gülle	21	11	18	20	10	16
Mittelwert	13	8	11	12	6	-
K-Ausnutzung aus organischen Düngern						
Grüngutkompost	22	11	13	14	29	18
Stallmist	38	22	29	31	33	31
Gülle	74	34	56	65	53	57
Mittelwert	45	22	33	37	38	-
Mg-Ausnutzung aus organischen Düngern						
Grüngutkompost	1	1	1	1	-2	0
Stallmist	8	5	5	7	2	5
Gülle	23	9	13	17	10	14
Mittelwert	11	5	7	8	3	-

Chronologische Entwicklung der Versuchsergebnisse

Damit die Veränderung der Nachwirkung sowohl der wiederholten organischen Düngung als auch des Zwischenfruchtanbaus auf die Erträge der angebauten Hauptfrüchte in den drei Versuchsjahren möglichst quantitativ bestimmt werden kann, müssen die Ergebnisse der drei Versuchsjahre miteinander verglichen werden. Hierzu wurden die Ergebnisse der TM-Erträge und der Nährstoffentzüge der Fruchtarten verwendet.

Obwohl verschiedene Arten an Hauptfrüchten in den Jahren angebaut worden sind, was sicherlich zu einer erhöhten Streuung der Ergebnisse beiträgt, wurden in den nachfolgenden graphischen Darstellungen die Varianten der drei Versuchsjahre in Relation zu den Ergebnissen ohne Düngung bzw. ohne Zwischenfruchtanbau gesetzt (= 100 %).

Einfluss der Düngung

Werden die entsprechenden Daten der Düngungsvarianten auf diese Weise miteinander verglichen, so kann die Veränderung der Relativerträge in ihrer chronologischen Abfolge in den einzelnen Versuchsjahren beschrieben werden. Da mehrere in den Vorjahren vorausgehende Düngungsmaßnahmen appliziert worden sind, wird ein gewisser additiver Effekt der Nachwirkung der Düngemittel sichtbar. Das trifft aber auch auf die Rangfolge der Düngerarten zu, die in vorausgehenden Kapiteln bereits ausführlich behandelt worden ist.

Die größte differenzierende Wirkung zeigte sich jeweils, wenn die Ergebnisse der Düngungsvarianten ohne Anbau von Zwischenfrüchten dargestellt werden (Abbildung 30). Im Vergleich zu keiner Düngung (= 100 %) ist eine stufenweise Erhöhung der direkten Wirkung und der Nachwirkung bei mehrfacher Anwendung der Düngemittel sowohl auf die TM-Erträge als auch auf die N-Entzüge der Hauptfrüchte zu erkennen. Die Wirkung des Grüngutkompostes zeigt dabei die geringsten, die der Gülle die höchsten Veränderungen.

Auf Grund der höheren direkt verfügbaren Nährstoffe im Stalldung und besonders in der Gülle kommt es auf dem stark mit Stickstoff unterversorgten Boden zu einer überproportionalen Zunahme der Nachwirkung nach mehrmaliger Düngung von Stalldung und Gülle, während eine einmalige Zufuhr keine so großen Auswirkungen zeigt. Darüber hinaus ist deutlich zu erkennen, dass eine zwei- bis dreimalige Gabe von Grüngutkompost auch dazu führt, dass bereits höhere Werte in den Erträgen und Entzügen erlangt werden können als nach einmaliger Zufuhr von Stalldung oder ähnlich hohe Werte, wie nach einmaliger Güllendüngung (Abbildung 30).

Werden die Ergebnisse im Durchschnitt der Zwischenfruchtvarianten ausgewiesen, so zeigen sich im Prinzip die gleichen Abstufungen über die direkte Wirkung und die Nachwirkungen der Düngungsmaßnahmen (Abbildung 31). Auf Grund der spezifischen Wirkungen der Zwischenfrüchte haben sich jedoch insbesondere die Ernährungsbedingungen der Varianten ohne Düngung verbessert, so dass im Vergleich hierzu die Wirkung der organischen Düngung auf die Erträge und die Nährstoffentzüge der Hauptfrüchte deutlich geringer geworden ist.

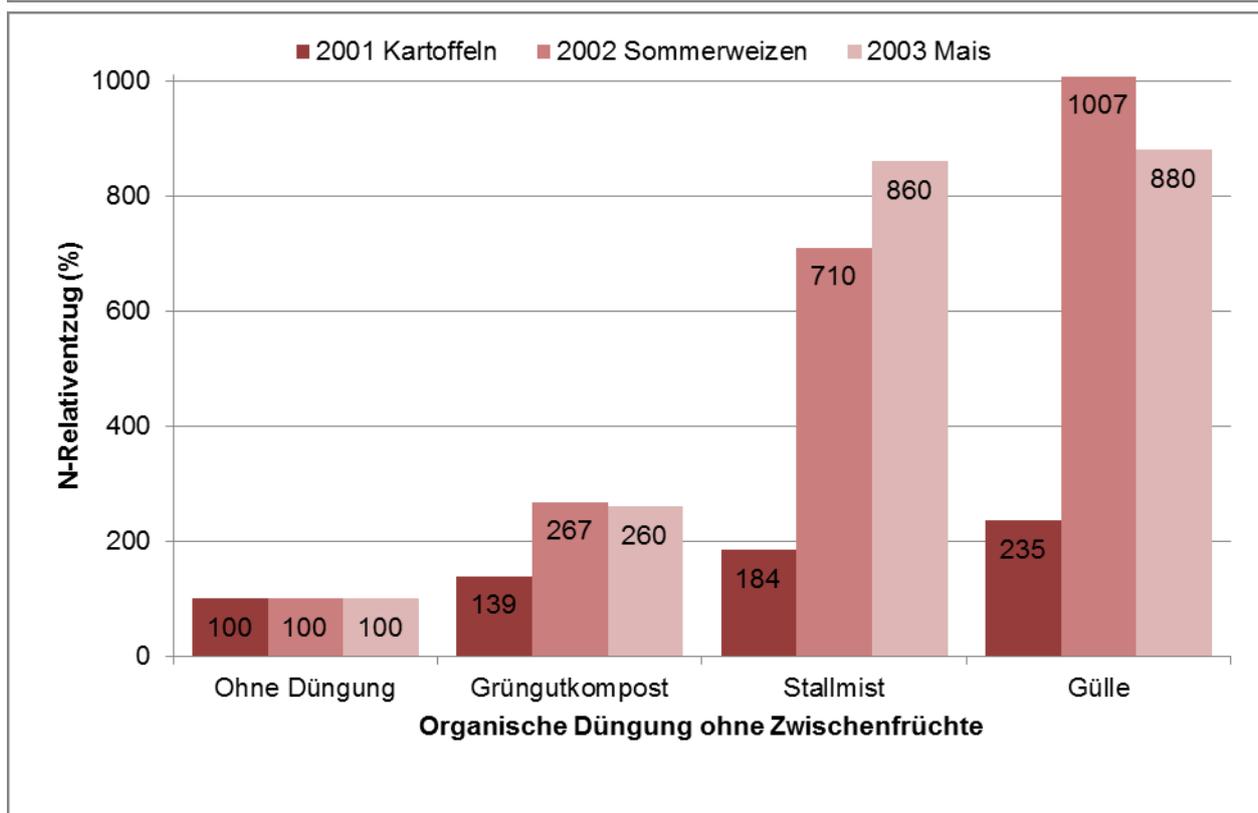
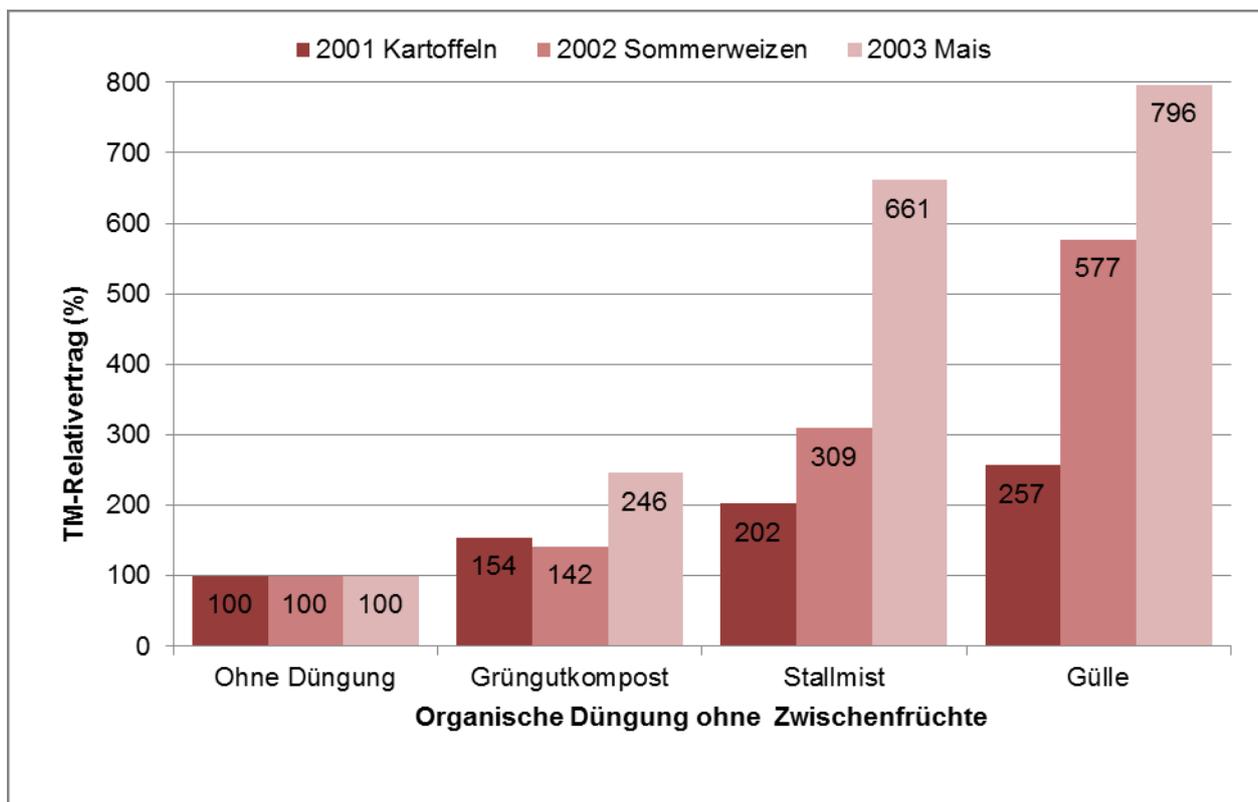


Abbildung 30: Relative Veränderung der TM-Erträge (oben) und der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel im Durchschnitt der Varianten ohne Zwischenfrüchte (Variante ohne Düngung = 100 %)

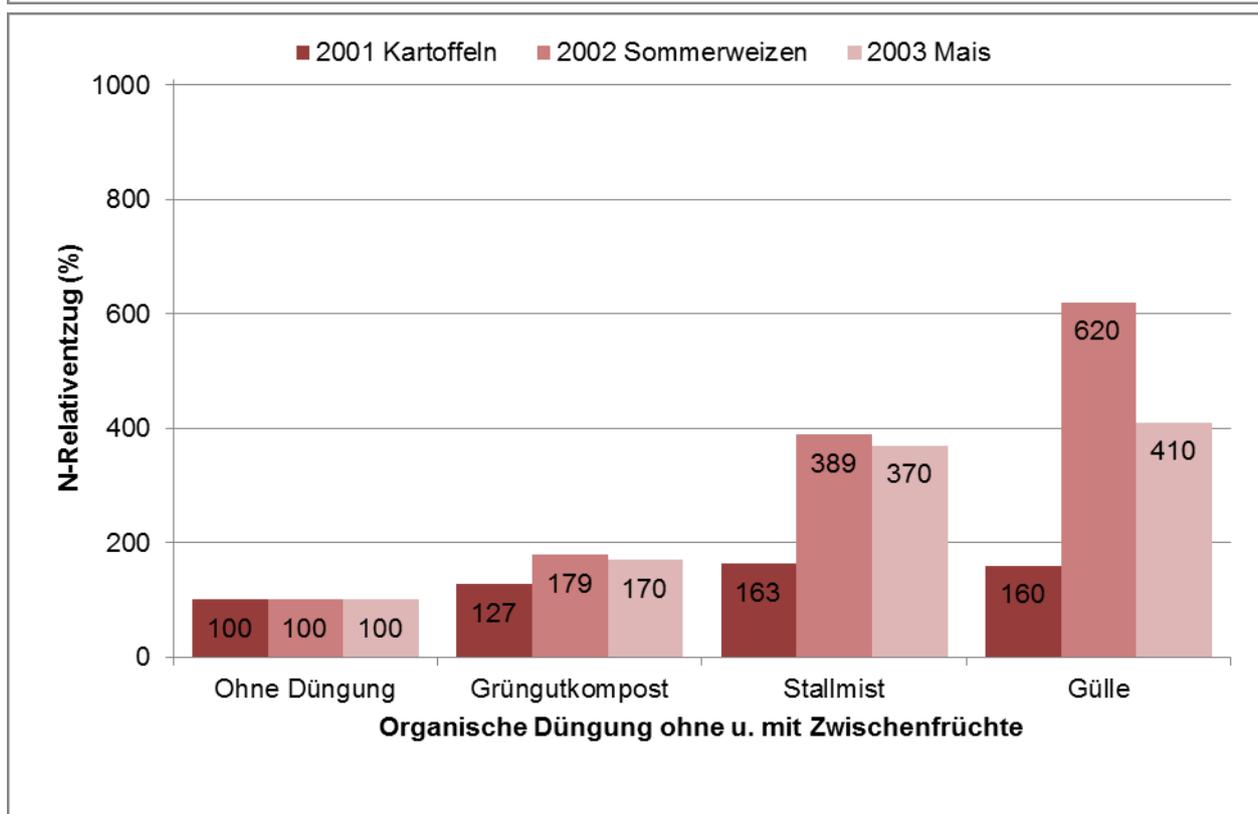
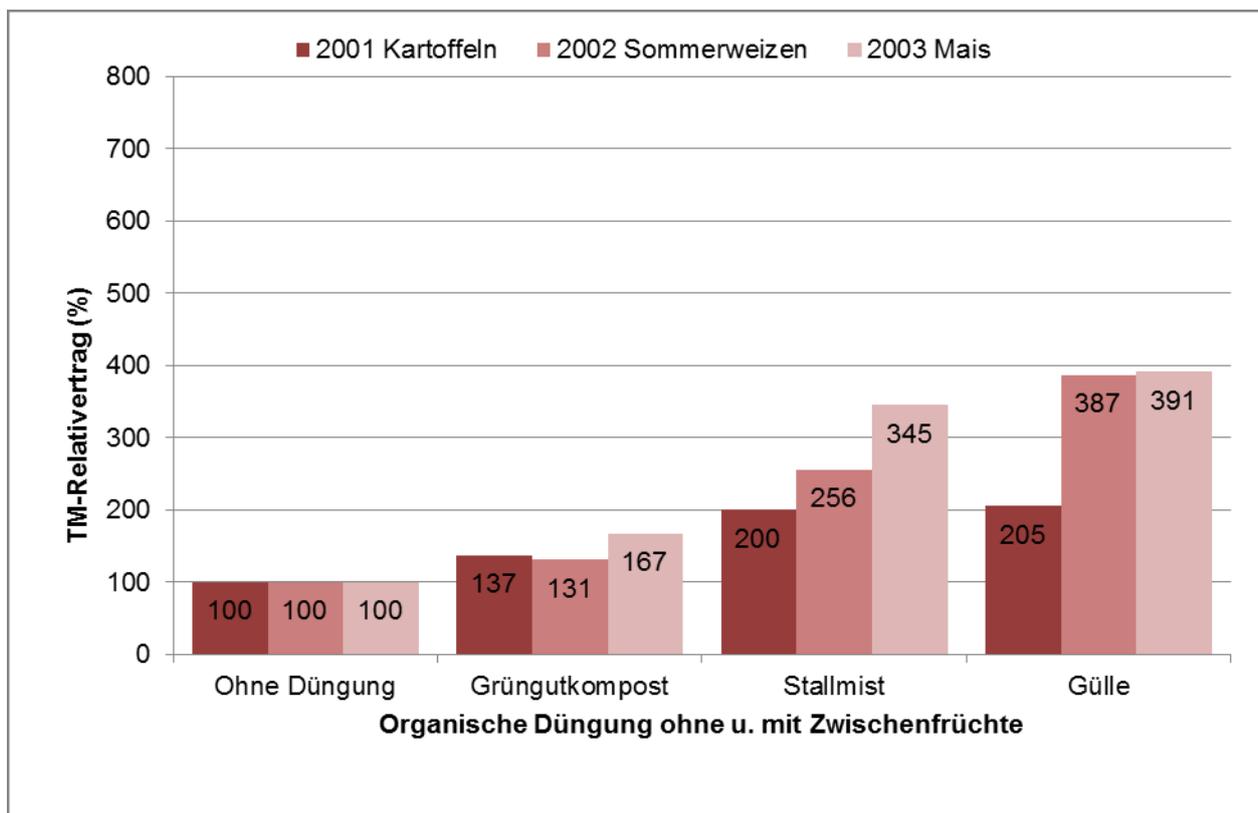


Abbildung 31: Relative Veränderung der TM-Erträge (oben) und der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel im Durchschnitt der Varianten mit und ohne Zwischenfrüchte (Variante ohne Düngung = 100 %)

Die Ursache für die verbesserten Bedingungen durch den Zwischenfruchtanbau liegt in diesen Gefäßversuchen im Wesentlichen auf der legumen N-Bindung durch den Anbau der Zottelwicke (Abbildung 32). Werden lediglich die Ergebnisse der Kombination zwischen den Varianten der Düngung und dem Anbau der Zottelwicke in die Auswertung einbezogen, so zeigen sich zwar wieder ähnliche Abstufungen zwischen den Düngemitteln mit jedoch nochmals deutlich geringeren Differenzierungen. Hiervon sind insbesondere die Nachwirkungen der wiederholten Stallung- und Güllezufuhr besonders betroffen, da offensichtlich die Zottelwicke zu einer deutlichen Verbesserung der N-Versorgung in den Varianten mit geringer Nährstoffversorgung geführt hat (= Varianten ohne organische Düngung), so dass die Erträge und die N-Entzüge dieser Varianten deutlicher angestiegen sind als die vergleichbaren Werte nach wiederholter Stallung- und Güllezufuhr.

Werden die P-, K- und Mg-Entzüge als Maßstab gewählt, so zeigen sich in den Varianten mit Zottelwicke im Vergleich zu ohne Düngung eine wieder etwas stärker abgestufte Zunahme der Entzüge nach Applikation der geprüften Düngemittelarten (Abbildung 33). Die Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Zottelwicke anscheinend durch Variation der legumen N-Bindung in Abhängigkeit von der vorliegenden Bodenversorgung zu diesen Unterschieden beigetragen hat (vgl. Abbildung 32 u. Abbildung 33).

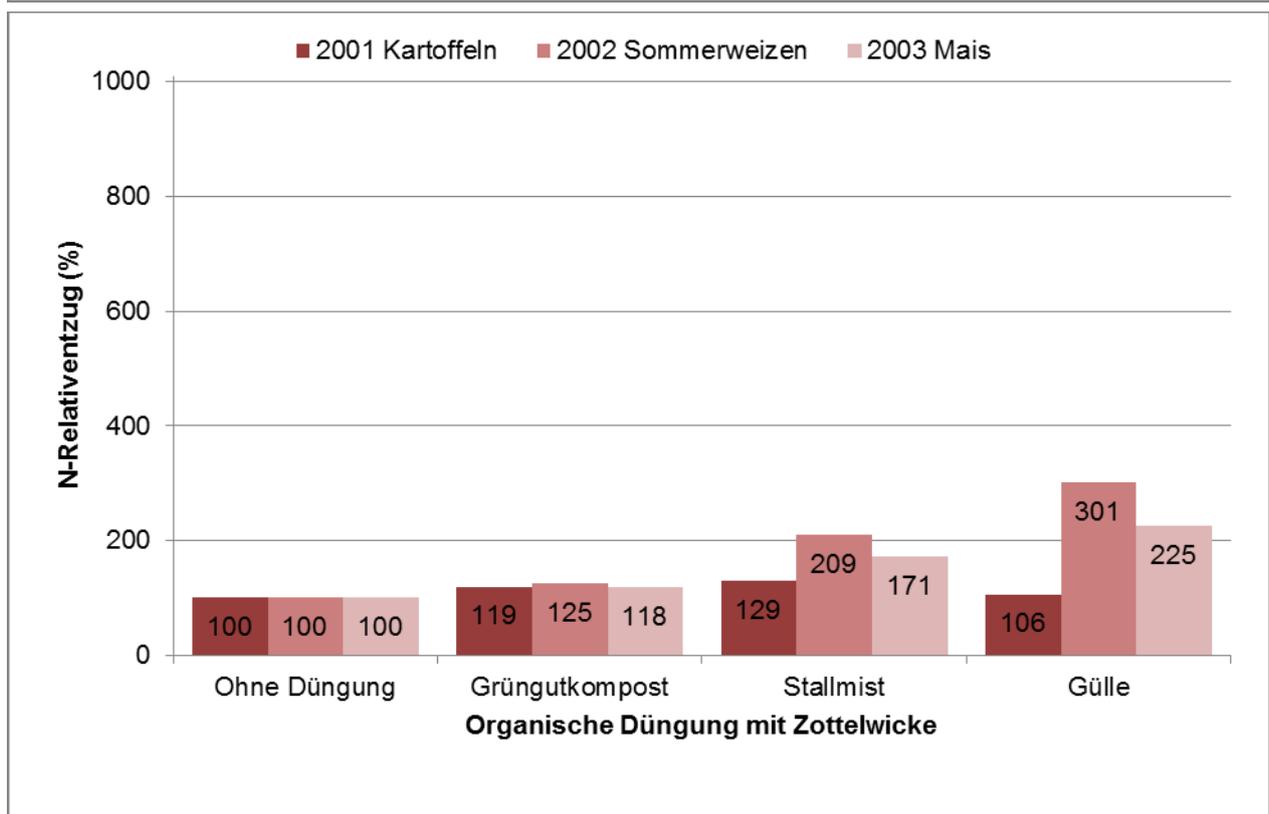
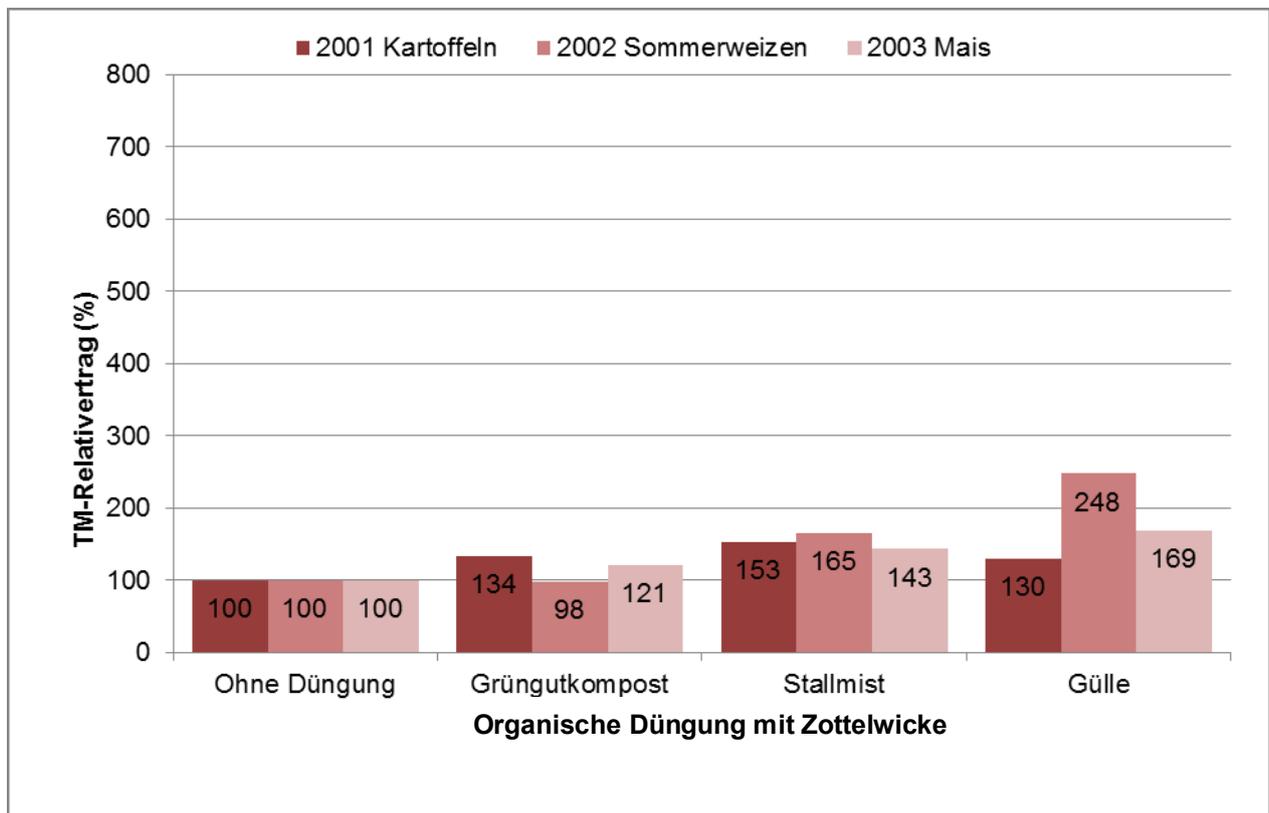


Abbildung 32: Relative Veränderung der TM-Erträge (oben) und der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel in den Varianten mit Zottelwicke (Variante ohne Düngung = 100 %)

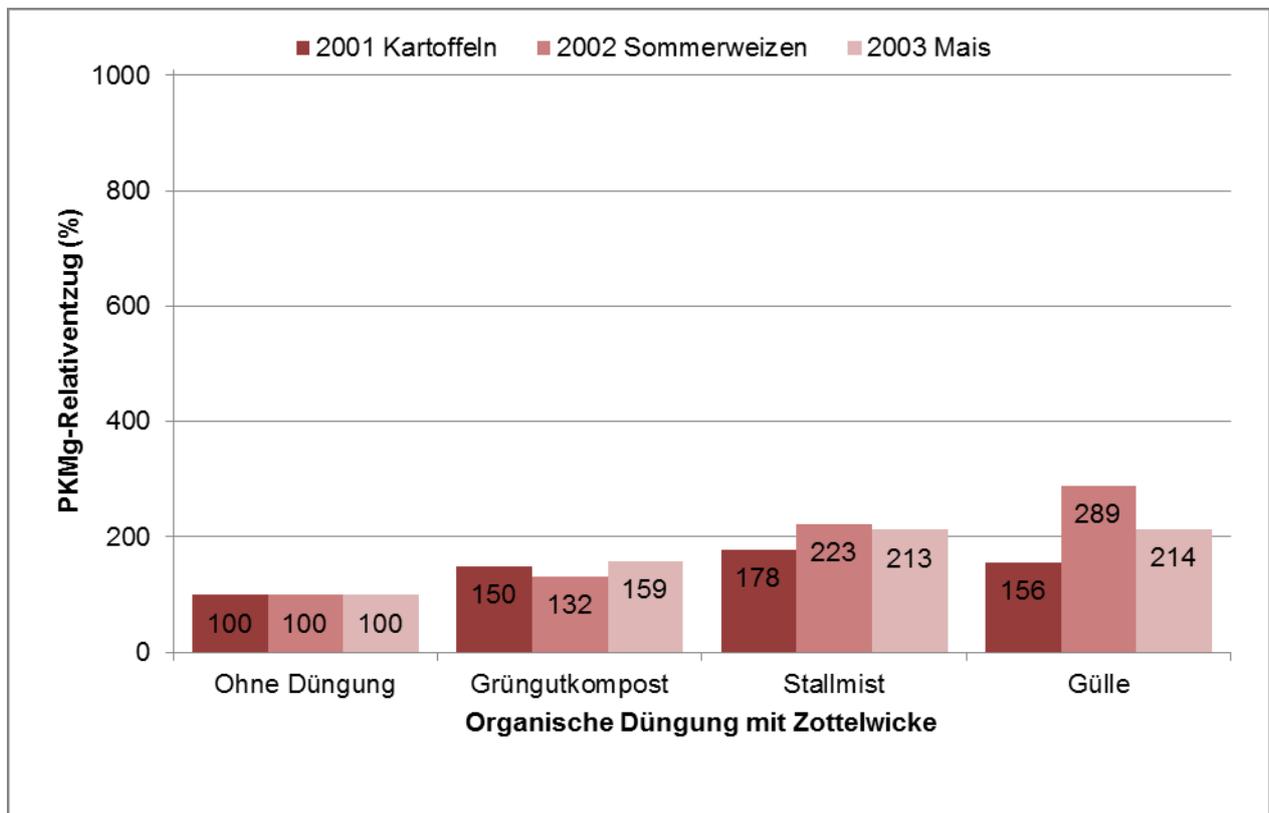


Abbildung 33: Relative Veränderung der Summe der PKMg-Entzüge der Hauptfrüchte in den drei Anbaujahren 2001 – 2003 durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel in den Varianten mit Zottelwicke (Variante ohne Düngung = 100 %)

Einfluss der Zwischenfrüchte

Neben der direkten Wirkung der jeweils einmal angebauten Zwischenfrüchte kann auch ein wiederholter Zwischenfruchtanbau durch spezifische Wirkungen auf die Erträge und Nährstoffentzüge der Hauptfrüchte gekennzeichnet sein (Abbildung 34). Diese Nachwirkung ist wiederum besonders ausgeprägt, wenn lediglich die Varianten ohne zusätzliche organische Düngung veranschaulicht werden. Durch die mehrfache Zufuhr an Stickstoff über die legume N-Bindung und deren leichte Umsetzbarkeit der organischen Substanz durch relativ enge C:N-Verhältnisse sind die TM-Erträge der Hauptfrüchte nach mehrfachem Anbau der Zottelwicke enorm angestiegen (Abbildung 34, oben).

Auf Grund der deutlich weiteren C:N-Verhältnisse der Aufwüchse der anderen geprüften Arten, waren im Vergleich zur Variante ohne Zwischenfrüchte (= 100 %) die Erträge der Hauptfrüchte, durch die zwischenzeitlich festgelegten Nährstoffe dieser Zwischenfrüchte auf Grund unzureichender Nährstoffverfügbarkeit, deutlich abgefallen. Nach mehrfachem Anbau dieser nicht-legumen Zwischenfrüchte hat sich jedoch durch den zunehmenden Abbau der organischen Substanz und die Mineralisation, die Nährstoffverfügbarkeit im zweiten und dritten Anbaujahr deutlich verbessert. Hierdurch wurden dann im dritten Versuchsjahr bereits TM-Erträge erzielt, die auf gleichem Niveau lagen, wie in der Variante ohne Zwischenfrüchte. Die anfänglichen Ertragsdepressionen wurden also durch fortgesetzten Zwischenfruchtanbau geringer und schließlich ausgeglichen (Abbildung 34, oben).

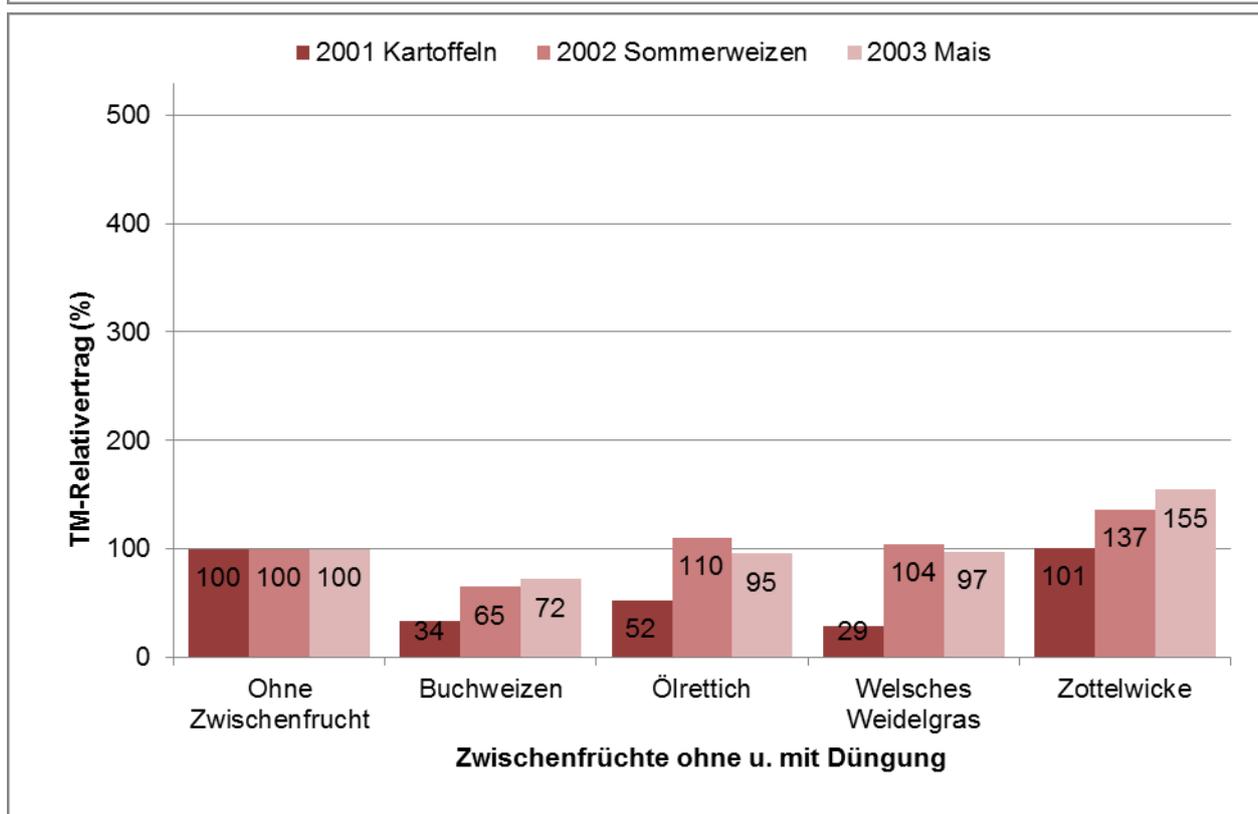
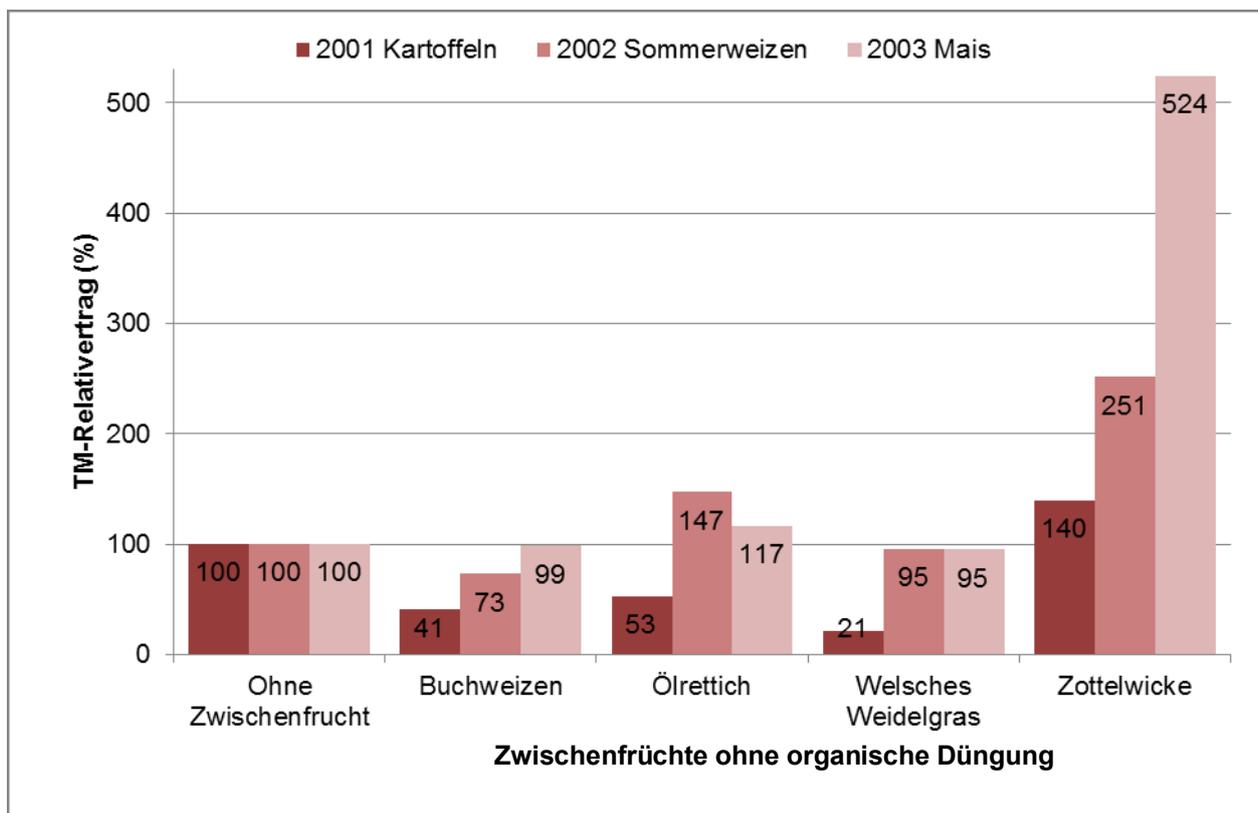


Abbildung 34: Relative Veränderung der TM-Erträge der Hauptfrüchte in den Jahren 2001 – 2003 durch wiederholten Anbau von Zwischenfrüchten in den Varianten ohne organische Düngung (oben) und im Durchschnitt der Varianten ohne und mit organischer Düngung (unten) (Varianten ohne Zwischenfrüchte = 100 %)

Im Vergleich zu der Wirkung der organischen Düngemittel (siehe oben) ist anscheinend insbesondere die Nachwirkung der Zwischenfrüchte deutlicher ausgeprägt, was zumindest auf die ersten hier untersuchten Nachwirkungsjahre zutrifft und wahrscheinlich auf der im Vergleich zu den Düngemitteln leichteren Umsetzbarkeit der Gründüngungspflanzen beruhen könnte.

Werden die Ergebnisse im Durchschnitt der Düngungsvarianten dargestellt, so ist auf Grund der besseren Nährstoffversorgung wiederum zu beobachten, dass die stufenweisen Wirkungen der geprüften Zwischenfrüchte geringer geworden sind (Abbildung 34, unten). Während die Varianten der Zottelwicke im Vergleich zu keiner Zwischenfrucht eine Verbesserung der Erträge bewirkte, führte wiederholter Ölrettich- und Weidelgrasanbau lediglich zu ausgeglichenen TM-Erträgen. Nur in den Varianten mit Buchweizen konnten auf Grund der weiten C:N-Verhältnisse noch keine ausgeglichenen Erträge erreicht werden.

Bei einer Darstellung der Summen der N-, P-, K-, und Mg-Entzüge als Mittelwerte der Düngungsvarianten können vergleichbare Abstufungen in den direkten Wirkungen der Zwischenfrüchte und deren mehrjährigen Nachwirkungen ermittelt werden (Abbildung 35). Bei Berücksichtigung aller Nährstoffe erreichen die Varianten mit Weidelgras und in eingeschränktem Umfang auch die mit Ölrettich schließlich ebenfalls ein mit der Variante ohne Zwischenfrüchte vergleichbares Entzugsniveau (Abbildung 35, oben).

Bei lediglicher Anrechnung der N-Entzüge der geernteten Hauptfrüchte (Abbildung 35, unten) werden nach dreijährigem Anbau in den Varianten mit Weidelgras ausgeglichene Ergebnisse erreicht, während durch Buchweizen- und Ölrettichanbau die N-Entzüge der Hauptfrüchte etwas zurückgehen, weil in diesen Varianten Stickstoff weitgehend als ertragsbegrenzend anzusehen ist. Dagegen sind die N-Entzüge in den Varianten mit Zottelwicke im Vergleich zu den Gefäßen ohne Zwischenfrüchte angestiegen, was auf dem hauptsächlich N-Beitrag dieser legumen Zwischenfrucht beruht. Nach diesen Ergebnissen ist die Nachwirkung eines mehrfachen Anbaus der Zottelwicke im Vergleich zum ersten Anbaujahr z.T. deutlich geringer geworden, was wohl auf der angestiegenen Nährstoffversorgung insbesondere mit Stickstoff dieser Varianten zurückgeführt werden dürfte (Abbildung 35).

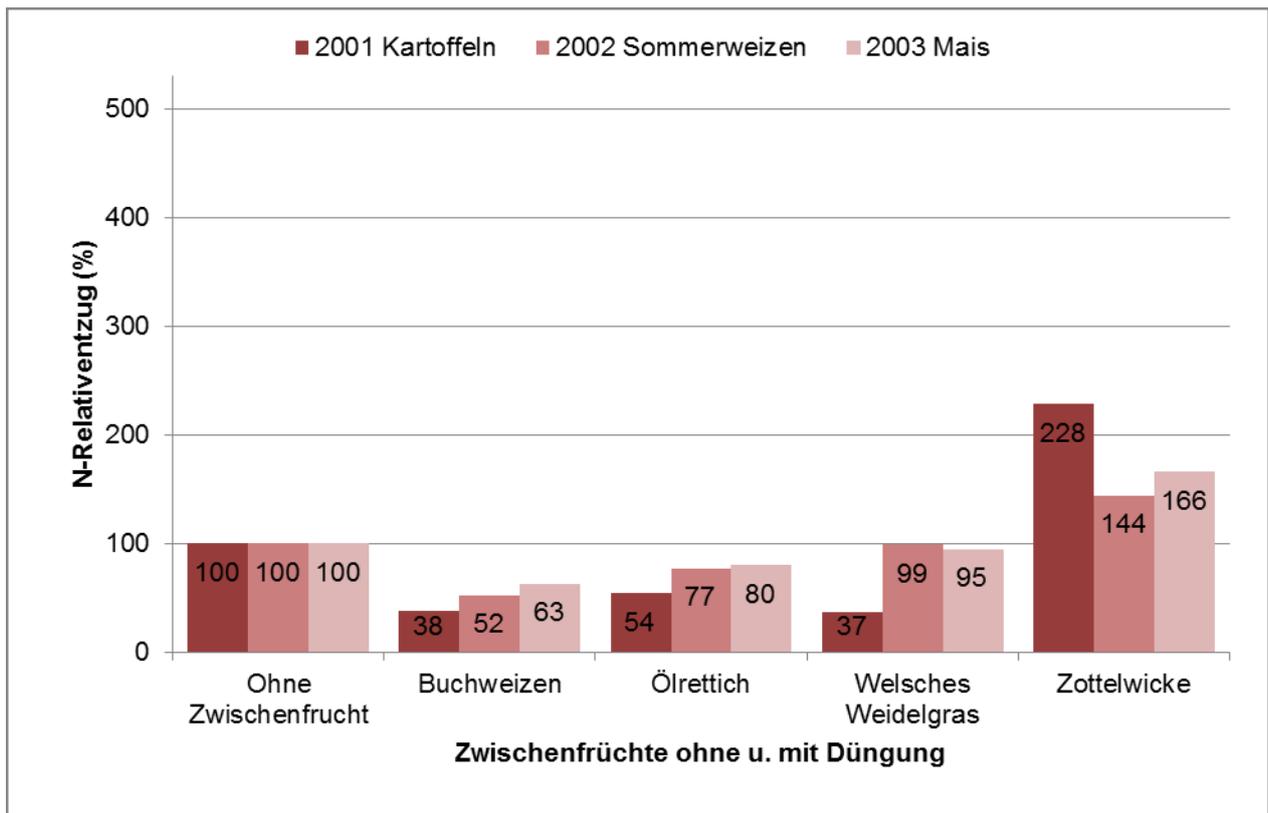
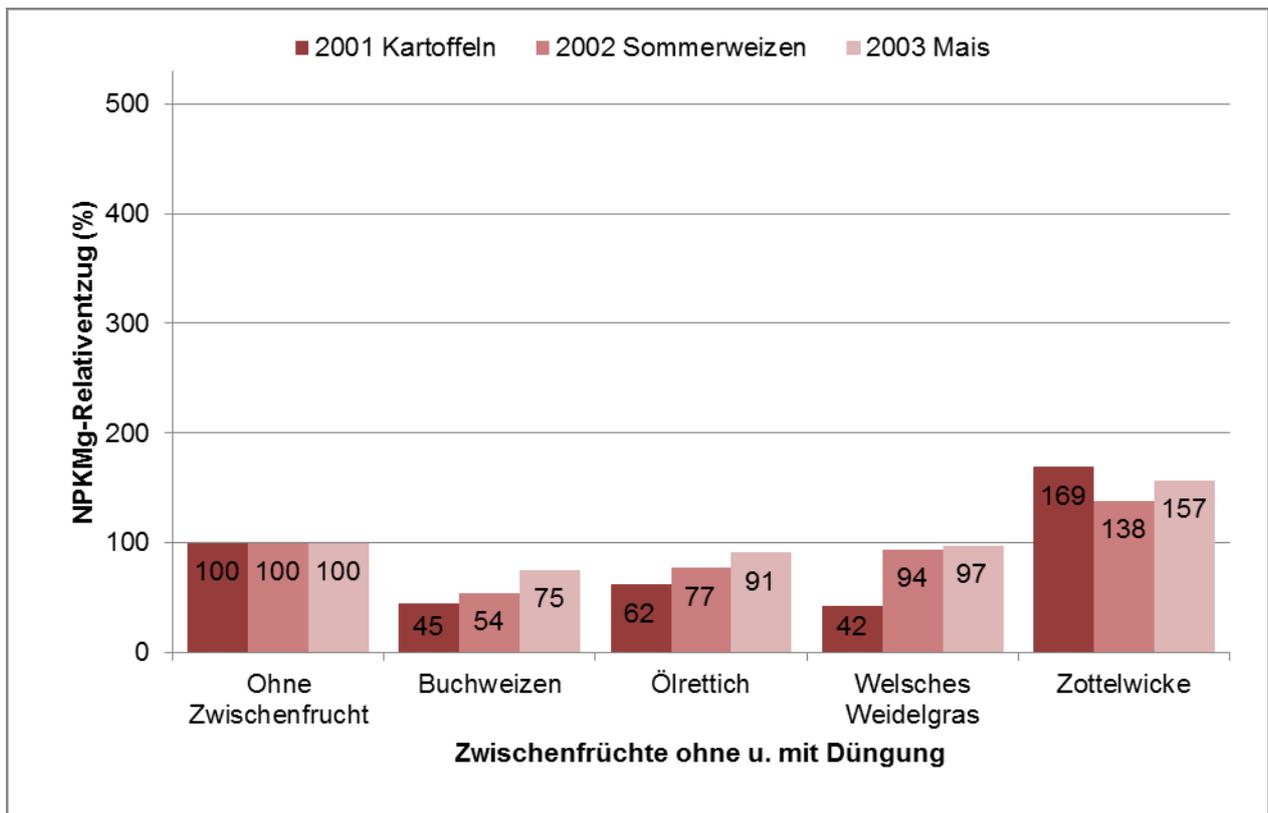


Abbildung 35: Relative Veränderung der NPKMg-Entzüge (oben) bzw. der N-Entzüge (unten) der Hauptfrüchte in den Jahren 2001 – 2003 durch wiederholten Anbau von Zwischenfrüchten im Durchschnitt der Varianten mit und ohne organische Düngung (Varianten ohne Zwischenfrüchte = 100 %)

3.1.5 Auswirkungen der dreijährigen Versuchsausführung auf den Boden

Die ermittelten Rest-N_{min}-Werte nach der Ernte im Sommer 2003 belegen die weitgehende Entleerung des Bodens an pflanzenverfügbarem Stickstoff (Tabelle 41). Das verwundert insofern nicht, da bei vier Maispflanzen je Gefäß und 5 kg Boden insgesamt eine intensive Durchwurzelung des Bodens erzielt wird, die weit über dem liegt, wie sie unter Feldbedingungen vorkommt.

Tabelle 41: Im letzten Versuchsjahr 2003 nach der Ernte des Mais ermittelte N_{min}-Gehalte im Boden (mg N/Gefäß)

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke
Ohne organische Düngung	5	0	0	5	15
Grüngutkompost	0	0	5	0	0
Stallmist	0	0	10	5	5
Gülle	0	0	0	5	0

Die sich bereits in den ersten beiden Versuchsjahren andeutete Entwicklung bei den direkt pflanzenverfügbaren Makronährstoffen und den pH-Werten des Bodens hat sich auch im dritten Versuchsjahr 2003 fortgesetzt. Zu verzeichnen war eine weitere deutliche Anreicherung an Nährstoffen im Boden der Gefäßversuche (Abbildung 36 – Abbildung 43).

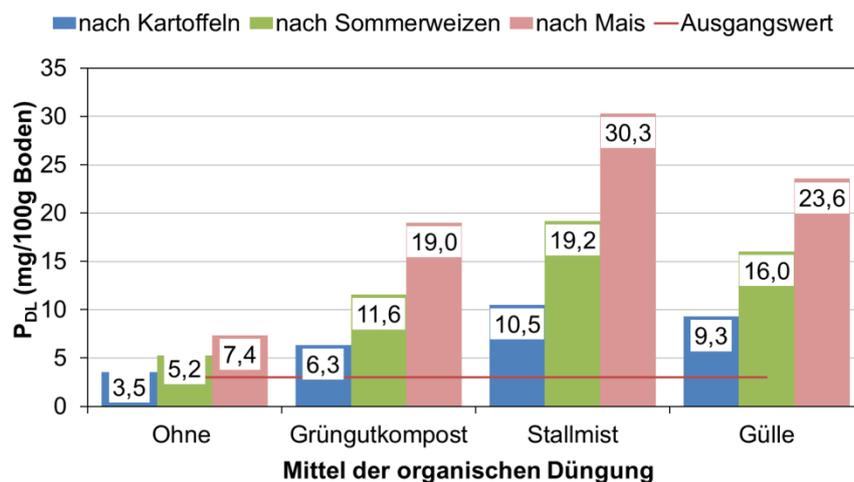


Abbildung 36: Entwicklung der P_{DL}-Gehalte des Bodens im Verlauf von drei Versuchsjahren von 2001 nach Kartoffeln bis nach Mais in 2003 in den Prüfgliedern der organischen Düngung im Durchschnitt der Varianten mit und ohne Zwischenfrüchte

Von ausgangs 3,5 mg P in den Gefäßversuchen ohne Düngung ist von Jahr zu Jahr eine stufenweise Zunahme der löslichen Gehalte bis auf über 30 mg P/100g Boden im letzten Versuchsjahr zu erkennen (Abbildung 36). Da zwischen den Darstellungen im Durchschnitt der Varianten mit und ohne Zwischenfrüchten kaum Unterschiede zu erkennen sind (vgl. Abbildung 36 u. Abbildung 37), wird auf die Darstellung weiterer Ergebnisse im Durchschnitt der Varianten ohne Zwischenfrüchte verzichtet. Während die Varianten der nicht-legumen Zwischenfrüchte im Vergleich zu keinem Zwischenfruchtanbau keine Unterscheidung in der Nährstoffanreicherung im Durchschnitt der Düngungsvarianten gebracht haben, führten die höheren Nährstoffentzüge durch den Anbau der Zottelwicke zu einer geringeren P-Anreicherung im Boden (Abbildung 38).

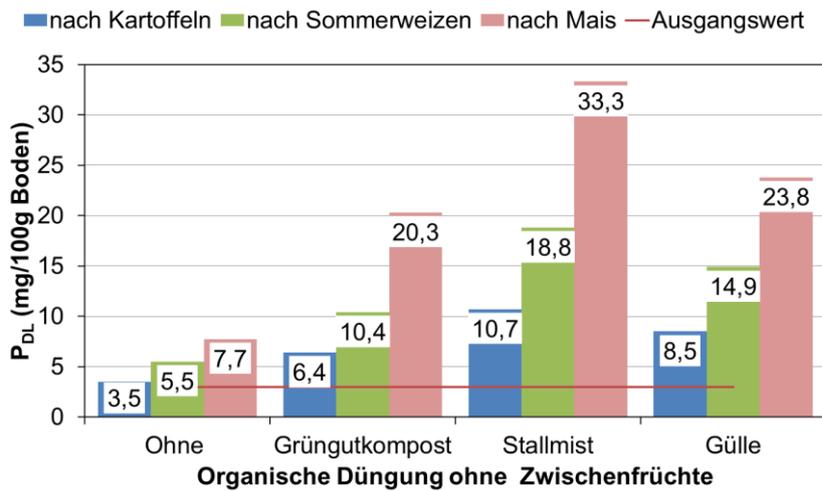


Abbildung 37: Entwicklung der P_{DL} -Gehalte des Bodens in Folge von drei Versuchsjahren in den Prüfgliedern der organischen Düngung im Durchschnitt der Varianten ohne Zwischenfruchtanbau

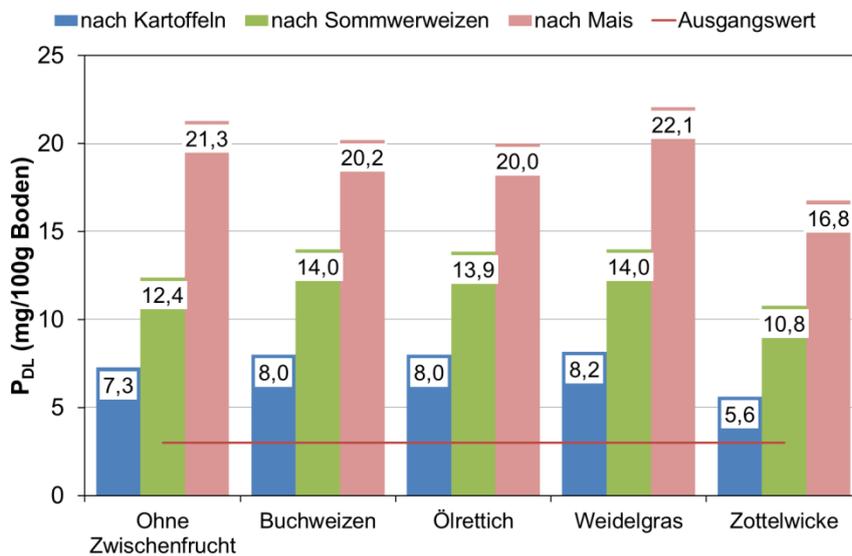


Abbildung 38: Entwicklung der P_{DL} -Gehalte des Bodens im Verlauf von drei Versuchsjahren in den Zwischenfrucht-Varianten

Nicht nur am Anstieg der DL-löslichen P-Gehalte nach wiederholter Düngung mit Kompost, Stalldung oder Gülle kann das Ausmaß der Nährstofffreisetzung im Rahmen des mit den Jahren ansteigenden Humusumsatzes abgelesen werden. Auch die Ergebnisse der DL-löslichen K-Gehalte (Abbildung 39 u. Abbildung 40) und der pflanzenverfügbaren Mg-Gehalte des Bodens (Abbildung 41 u. Abbildung 42) weisen eine ähnliche Entwicklung auf. Insbesondere die K-Werte des Bodens haben sich deutlich erhöht. Nach wiederholter Stalldungzufuhr sind die Gehalte sogar um den Faktor 10 in den Gefäßen angestiegen.

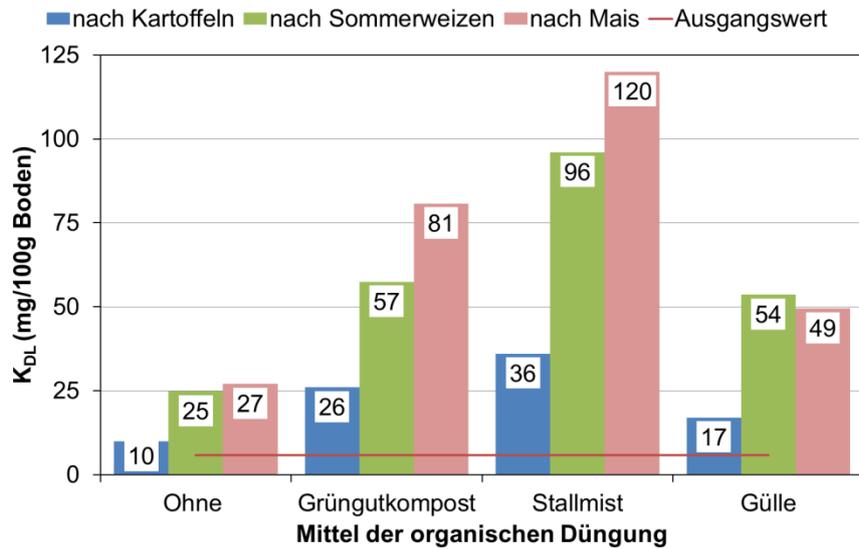


Abbildung 39: Entwicklung der K_{DL} -Gehalte des Bodens in den Prüfgliedern mit organischen Düngern im Verlauf der Versuchsjahre nach Kartoffeln in 2001 bis nach Mais in 2003

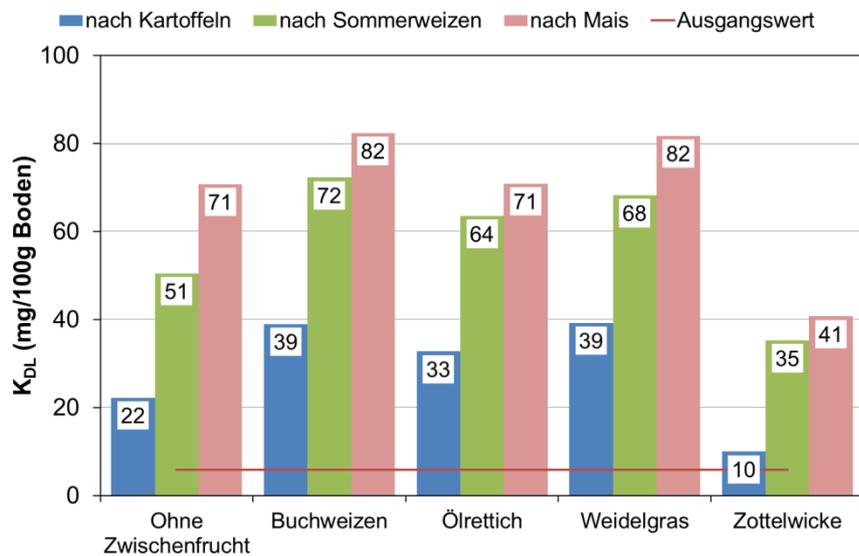


Abbildung 40: Entwicklung der K_{DL} -Gehalte des Bodens in Folge von drei Versuchsjahren in den Varianten mit unterschiedlichem Zwischenfruchtanbau

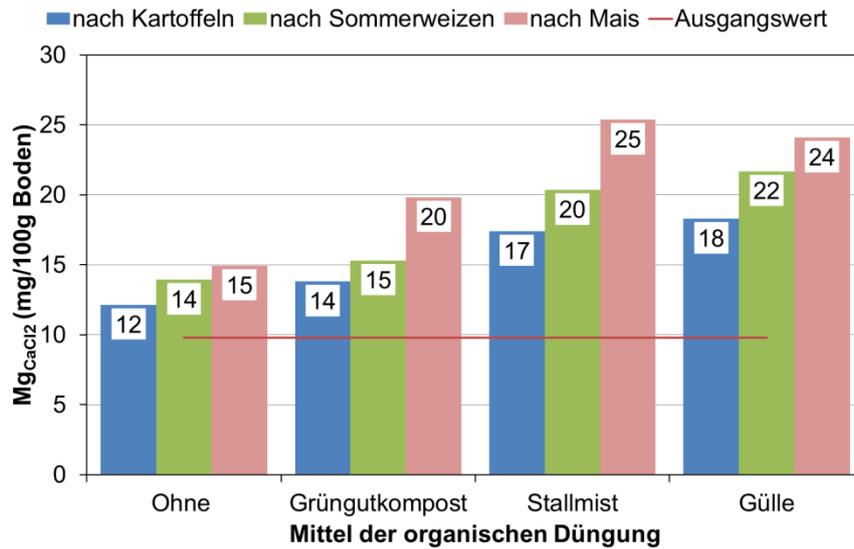


Abbildung 41: Entwicklung der Mg-Gehalte des Bodens nach drei Versuchsjahren in den Prüfgliedern mit organischen Düngern

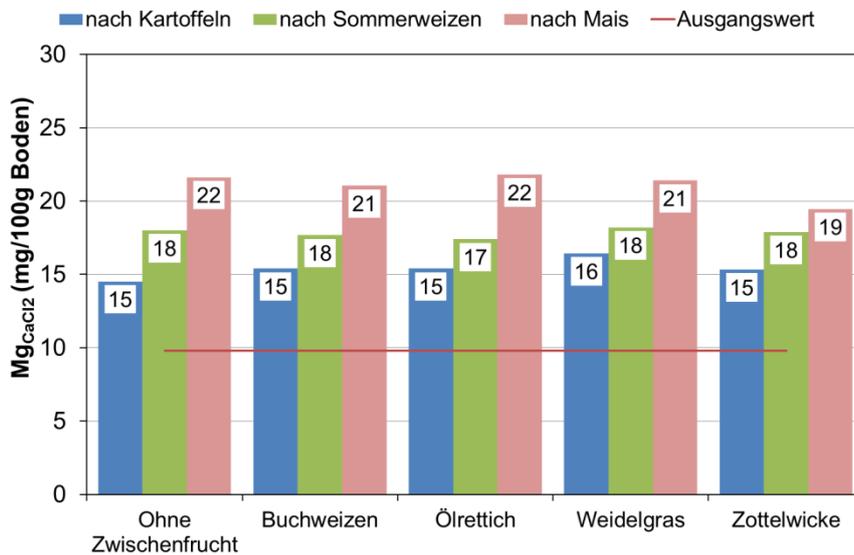


Abbildung 42: Entwicklung der Mg-Gehalte des Bodens in Folge von drei Versuchsjahren in den Zwischenfrucht-Varianten

Die pH-Werte des Bodens haben sich demgegenüber in den Varianten ohne Zwischenfrüchte und dem Anbau nicht-legumer Arten kaum verändert (Abbildung 43). Lediglich nach mehrfachem Anbau von Zottelwicken wurden in dem Versuchsjahr 2003 die niedrigsten Werte im Boden der Gefäßversuche ermittelt.

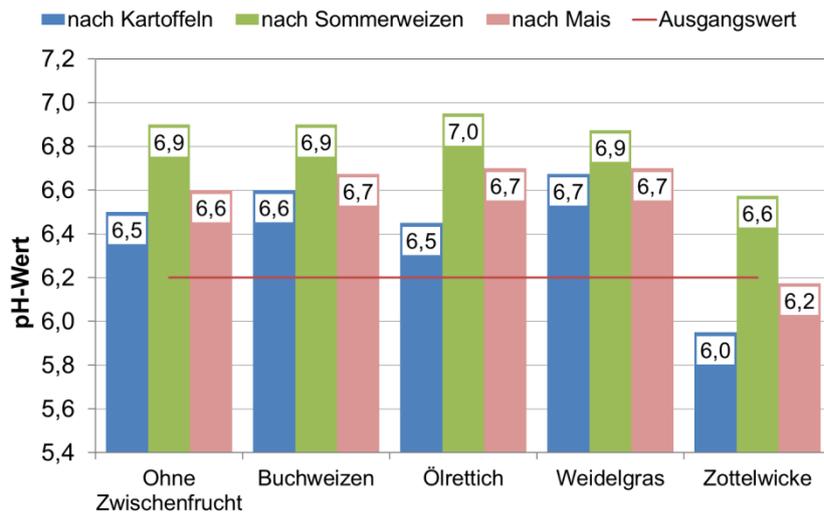


Abbildung 43: Entwicklung der pH-Werte im Boden im Verlauf von drei Versuchsjahren nach Kartoffeln in 2001 bis nach Mais in 2003 in den Prüfgliedern mit Zwischenfruchtanbau

In Tabelle 42 sind die C_{org} - und N_t -Gehalte sowie von weiteren Makronährstoffen im Versuchsboden zusammengestellt worden. Da keine Untersuchungsergebnisse vom Ausgangsboden zu Beginn der Versuchsreihe vorlagen, lassen sich die Veränderungen in Abhängigkeit von den einzelnen Prüffaktoren nur über die Nährstoffentzüge in der Summe der drei Versuchsjahre beurteilen.

Tabelle 42: Gehalte an C_{org}, N_t und weiteren Makronährstoffen (% i.d. TM) nach dreijähriger Versuchsdurchführung im Boden der Gefäßversuche

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
C_{org}						
Ohne Düngung	0,480	0,520	0,560	0,630	0,820	0,602
Grüngutkompost	1,550	1,410	1,290	1,760	1,510	1,504
Stallmist	1,890	1,840	1,430	2,010	1,990	1,832
Gülle	1,120	1,550	1,140	1,320	1,200	1,266
Mittelwert	1,260	1,330	1,105	1,430	1,380	-
N_t						
Ohne Düngung	0,040	0,040	0,050	0,060	0,070	0,052
Grüngutkompost	0,140	0,140	0,130	0,170	0,150	0,146
Stallmist	0,180	0,160	0,130	0,170	0,180	0,164
Gülle	0,100	0,150	0,110	0,120	0,110	0,118
Mittelwert	0,115	0,123	0,105	0,130	0,128	-
P_t						
Ohne Düngung	0,030	0,030	0,030	0,040	0,040	0,034
Grüngutkompost	0,050	0,060	0,060	0,060	0,050	0,056
Stallmist	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
Gülle	0,070	0,070	0,060	0,060	0,060	0,064
Mittelwert	0,055	0,058	0,055	0,058	0,055	-
K_t						
Ohne Düngung	0,140	0,150	0,250	0,190	0,140	0,174
Grüngutkompost	0,220	0,240	0,230	0,220	0,160	0,214
Stallmist	0,250	0,290	0,260	0,270	0,220	0,258
Gülle	0,200	0,220	0,200	0,190	0,170	0,196
Mittelwert	0,203	0,225	0,235	0,218	0,173	-
Mg_t						
Ohne Düngung	0,140	0,140	0,189	0,180	0,180	0,166
Grüngutkompost	0,180	0,190	0,180	0,180	0,160	0,178
Stallmist	0,200	0,200	0,190	0,190	0,180	0,192
Gülle	0,200	0,200	0,190	0,180	0,180	0,190
Mittelwert	0,180	0,183	0,187	0,183	0,175	-

Im Prüfglied ohne organische Düngung und ohne Anbau von Zwischenfrüchten erfolgte die N-Ernährung nur aus dem Abbau der organischen Substanz und den N-Reserven des Bodens, was weitgehend auf den N_t-Gehalt des Ausgangsbodens der Versuche zurückgeführt werden kann. Die in diesem Prüfglied ermittelten Gehalte an C_{org} und an Nährstoffen sind somit das nach drei Versuchsjahren entstandene Abbild ohne jegliche Zufuhr. Erwartungsgemäß sind die absolut niedrigsten Gehalte an C_{org} und N_t in dieser Variante zu finden.

Bei einem N-Entzug von 0,516 g/Gefäß in der Variante ohne Düngung und ohne Zwischenfruchtanbau (siehe Tabelle 39) entspricht dies bezogen auf ein Volumen von 5 kg Boden/Gefäß immerhin ca. 0,01 % N_t . Daher ergibt sich für den Nährstoff Stickstoff ungefähr ein Ausgangswert von 0,05 % N_t des Bodens (0,04 % N_t + 0,01 %; Tabelle 42). In den Gefäßen ohne organische Düngung wurden in dem Prüfglied mit Anbau der Zottelwicke die höchsten N-Entzüge erzielt (siehe Tabelle 39).

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Streuung und unter Einbeziehung der N-Entzüge lassen die Untersuchungsergebnisse erkennen, dass der Anbau der Zottelwicke unter Beachtung der N-Entzüge sogar noch zu einer leichten Anreicherung des N-Pools des Bodens bewirkt hat, was sich auch im etwas höheren C_{org} -Gehalt dieser Variante zeigt. Während die nicht-legumen Zwischenfrüchte in der nicht gedüngten Variante durch geringere N-Entzüge gekennzeichnet waren (siehe Tabelle 39), dürfte der N_t -Gehalt weitgehend unverändert geblieben sein, während der Kohlenstoffgehalt geringfügig angestiegen ist (Tabelle 42).

In den Varianten mit organischer Düngung finden sich die höchsten C_{org} -Werte nach der Anwendung von Stallmist. Es folgt der Grüngutkompost und mit Abstand die Varianten mit Gülleinsatz (Tabelle 42). Die Ergebnisse zeigen, dass auch eine verlustarme Güllendüngung in Kombination mit einem entsprechend hohen Ertragsniveau ebenfalls zur Anreicherung der organischen Bodensubstanz beitragen kann. Eine Bewertung der organischen Düngung in Kombination mit dem eingeschalteten Zwischenfruchtanbau lässt erkennen, dass der Einsatz von Stallmist in Kombination mit dem Anbau der Leguminose sowohl ein hohes Ertragsniveau als auch den höchsten Anstieg im C_{org} -Gehalt bewirkt hat. Im Durchschnitt war der Einfluss der Zwischenfrüchte auf den C_{org} -Gehalt nur sehr gering ausgeprägt.

Bei begrenztem N-Angebot, wie es im Gefäßversuch der Fall war, erfolgte unter günstigen Wachstumsbedingungen durch die Zwischenfrüchte dennoch eine hohe Biomassebildung und eine damit zusammenhängende Festlegung bzw. Konservierung an Nährstoffen. Verbunden war das jedoch in den Varianten der Nicht-Leguminosen einerseits mit einer geringeren Ertragsbildung durch die nachfolgenden Hauptfrüchte und andererseits in etwas höheren Gehalten an C_{org} und N_t im Boden. Da keine wesentlichen N-Verluste in den Gefäßen (N-Auswaschung) aufgetreten sind, wurde dies in der Variante ohne Zwischenfruchtanbau durch höhere Ernteergebnisse und Wurzelrückstände der Hauptfrüchte entsprechend ausgeglichen.

Auch die N_t -Gehalte des Bodens wurden durch die Varianten der organischen Düngung deutlich verändert. Wie beim Kohlenstoff hatte der Stallmist am deutlichsten zur Anreicherung der N_t -Gehalte im Boden geführt, gefolgt von den Grüngutkompost- und Güllevarianten (Tabelle 42). Eine geringe N-Anreicherung im Boden durch den Zwischenfruchtanbau erfolgte (außer beim Ölrettich) auch durch die angebaute Leguminosen-Zwischenfrucht unter den eher stickstoffarmen Bedingungen der Variante ohne organische Düngung bzw. bei Anwendung des weniger Stickstoff nachliefernden Grüngutkomposts.

Auch hinsichtlich der übrigen Gehalte an Gesamtnährstoffen im Boden sind die aufgeführten Unterschiede bei der Zufuhr durch die eingesetzten organischen Dünger aufgetreten. So waren in der Regel die Stallmischungsvarianten durch die höchsten Nährstoffgehalte an P_t , K_t und Mg_t im Boden gekennzeichnet, gefolgt vom Grüngutkompost und der Gülle (Tabelle 42). Durch die Zwischenfrüchte gab es kaum einen gerichteten Einfluss auf die Grundnährstoffe im Boden der Gefäßversuche. Darüber hinaus lassen sich die differenzierten Entzüge durch die entnommenen Ernteprodukte kaum in den ermittelten Bodenwerten nachweisen. Sie bewegen sich im Bereich der untersuchungsmethodischen Streuung.

Die dreijährige Versuchsdurchführung hatte auch bereits zu einer geringfügigen Differenzierung im C:N-Verhältniss des Bodens beigetragen (Tabelle 43). Während in den Varianten ohne Düngung das C:N-

Verhältnis sich im Bereich von 12:1 bewegte, liegen diese Werte am Ende der dreijährigen Versuchszeit in den Prüfgliedern mit organischer Düngung zwischen 11:1 – 10:1. Die Varianten der Zwischenfrüchte haben auf die Verhältniszahl zwischen den C_{org}- und N_t-Gehalten des Bodens keinen Einfluss ausgeübt. Die analysierten Spurennährstoffe im Boden der Gefäßversuche befinden sich im Anhang Tabelle A 1.

Tabelle 43: C:N-Verhältnisse im Boden (N = 1) in Abhängigkeit von der organischen Düngung und den angebauten Zwischenfrüchten

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Ölrettich	Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
Ohne Düngung	12	13	11	11	12	12
Grüngutkompost	11	10	10	10	10	10
Stallmist	11	12	11	12	11	11
Gülle	11	10	10	11	11	11
Mittelwert	11	11	11	11	11	-

3.1.6 Schlussfolgerungen zum Gefäßversuch

Im Ökologischen Landbau stellen die organischen Dünger und der Anbau von Leguminosen wichtige Grundlagen für die Nährstoffversorgung der Pflanzenbestände dar. Mit der vorgestellten Versuchsreihe sollte zunächst an Hand von mehrjährigen Gefäßversuchen untersucht werden, inwieweit die Kombination von organischer Düngung im Spätsommer zu Zwischenfrüchten zu einer verbesserten N-Versorgung der nachfolgenden Sommerung beiträgt, zumal mögliche N-Verluste über Winter durch den Zwischenfruchtanbau vermindert werden. Es stand die Frage im Vordergrund, welche Ergebnisse hierbei von wiederholten Maßnahmen zur Düngung und zum Anbau von Zwischenfrüchten auf den Umsatz der organischen Substanz, die Nährstoffverfügbarkeit im Boden und das Ertragspotenzial der angebauten Hauptfrüchte zu erwarten sind.

Die Versuche haben zunächst aufgezeigt, dass durch das begrenzte Bodenvolumen, wie es in den gewöhnlichen MITSCHERLICH-Gefäßen der Fall ist, die jeweiligen eingetretenen Wirkungen auf Boden und Pflanzen verschärft, wodurch sonst unterschwellige Faktoren stärker hervorgetreten sind. Ein Vorteil der Gefäßversuche war, dass z.B. die Anwendung der organischen Dünger zu keinen bedeutenden N-Verlusten bei der Ausbringung und durch Auswaschung geführt hat. Durch die einheitliche Bemessung auf Grundlage des Gesamtstickstoffgehaltes war eine gute Vergleichbarkeit zwischen den eingesetzten organischen Düngern möglich. Bei den angebauten Zwischenfrüchten handelte es sich sowohl um Nicht-Leguminosen als auch um eine Leguminose. Da sie aus unterschiedlichen Pflanzenfamilien stammen, sind sie aus Sicht der Einordnung in spezifische Fruchtfolgen gut geeignet.

In der durchgeführten Gefäßversuchsreihe hat es sich gezeigt, dass die Zwischenfrüchte in ihrer Frischmassebildung von den jeweiligen Düngergaben deutlich profitiert haben. Ähnlich wie unter Feldbedingungen waren allerdings die gebildeten Frischmassen in den einzelnen Jahren unterschiedlich und hingen vom Aussaattermin, den Lichtverhältnissen und den herrschenden Temperaturen ab. Gleiches trifft natürlich auch für die in der Biomasse gebundenen Nährstoffe zu, die nach Herbstearbeitung bei entsprechender N-Mineralisation keine N-Austräge erfuhren. Somit standen den nachgebauten Hauptfrüchten die jeweils freigesetzten N-Mengen zur Verfügung, wenn sie entsprechend den Mineralisationsbedingungen im Gefäß und der Menge und Qualität der organischen Materialien rechtzeitig umgesetzt werden.

Erwartungsgemäß war zu Versuchsbeginn das Nachlieferungsvermögen des eingesetzten Bodens ein wichtiger N-Lieferant für die Zwischenfrüchte, was durch die Frischmasseerträge bestätigt werden konnte. Als relativ unabhängig von den eingesetzten Düngern erwies sich der Anbau der Zottelwicke, die das begrenzte N-Angebot offenbar durch eine entsprechend höhere N₂-Bindungsleistung ausgleichen konnte. Eine gute N-Verwertung zeigte der Buchweizen, der im Vergleich zu anderen Zwischenfrüchten (Ölrettich, Weidelgras) bei geringem N-Angebot jeweils eine höhere Frischmasse ausgebildet hat. Durch diese Wachstumsbedingungen ergaben sich insbesondere im Vergleich zum Ölrettich und zur Zottelwicke dann jedoch immer niedrigere N-Gehalte und weitere C:N-Verhältnisse in den Aufwüchsen des Buchweizens, wodurch sich die Umsetzungsbedingungen des Pflanzenmaterials in den Gefäßen deutlich verschlechtert haben.

Von den eingesetzten organischen Düngern förderte die Gülle mit ihrem hohen Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff besonders die Frischmassebildung der nicht-legumen Zwischenfrüchte. Die Wirkung des eingesetzten Grüngutkomposts auf die Frischmassebildung war im Vergleich zum Stallmist unterschiedlich zu bewerten. Während im ersten Versuchsjahr der Grüngutkompost die Biomassebildung begünstigte, war es in den folgenden Jahren der Stallmist, obwohl das C:N-Verhältnis im Kompost immer relativ eng war.

Die nachgebauten Hauptfrüchte profitierten insbesondere von der Kombination aus organischer Düngung und dem Anbau der Leguminose. Von den Nichtleguminosen machte insbesondere der Buchweizen sichtbar, dass Zwischenfrüchte unter optimalen Wachstumsbedingungen und guter N-Verwertung eine hohe Biomassebildung erbringen können. Der darin gebundene Stickstoff wurde jedoch selbst bei zeitiger Herbsteinarbeitung der nachfolgenden Sommerung nur unvollständig zur Verfügung gestellt. Das führte zunächst zu Mindererträgen bei den direkt nachgebauten Hauptfrüchten. Das Weidelgras ist dafür ein anschauliches Beispiel. Bei guter Bestandesausbildung im ersten Jahr waren bei der nachfolgenden Hauptfrucht besonders niedrige TM-Erträge erzielt worden. Bei verhaltenem Wachstum mit geringer Frischmassebildung zeigte sich im dritten Versuchsjahr eine ähnliche differenzierende Ertragswirkung wie bei unterlassenen Zwischenfruchtanbau. Die Ergebnisse zur direkten Nachwirkung von Zwischenfrüchten können somit bereits durch die Gefäßversuche von SCHLIEßER et al. (2010) bestätigt werden.

Die Wirkung der organischen Dünger auf den Ertrag der Hauptfrüchte (Kartoffeln, Sommerweizen, Mais) nahm über die drei Versuchsjahre in folgender Reihenfolge zu: ohne Dünger < Grüngutkompost < Stallmist < Gülle. Dabei erwies sich besonders der höhere Anteil an sofort pflanzenverfügbarem Stickstoff in der Gülle als Vorteil.

Die wichtigste Schlussfolgerung für den Einsatz der organischen Dünger mit guter Bereitstellung von pflanzenverfügbarem Stickstoff kann zunächst nur der optimale Einsatzzeitpunkt vor bzw. zur jeweiligen Hauptfrucht sein. Aus den N-Entzügen der drei Jahre errechnete sich allerdings eine insgesamt geringe Ausnutzung des mit der organischen Substanz insgesamt zugeführten Stickstoffs. Unter Abzug der in dem Prüfglied ohne Dungeinsatz erzielten Entzüge wurde eine Ausnutzung des zugeführten Stickstoffs bei Grüngutkompost von etwa 5 %, bei Stallmist von 15 % und bei der Gülle von 21 % erreicht. Diese Ergebnisse stimmen recht gut mit Tabellenwerten zur Abschätzung der N-Nachlieferung im Jahr der Anwendung von organischen Düngemitteln überein (siehe KTBL, 2015).

Durch den Anbau von Zwischenfrüchten verringerte sich zunächst der Stickstoffentzug bei den nachgebauten Früchten deutlich. Unter Abzug des bereits im Prüfglied ohne organische Düngung erzielten Entzuges konnte im Prüfglied mit der Leguminosen-Zwischenfrucht, in dem im Durchschnitt die höchsten Erträge erzielt wurden, eine N-Ausnutzung bei Grüngutkompost von etwa 5 %, bei Stallmist von 12 % und bei der Gülle von ca. 13 % berechnet werden.

Aus diesen Zahlenbeispielen geht deutlich hervor, dass der größte Anteil an Stickstoff im Versuchszeitraum in der organischen Substanz der Düngemittel und auch der Zwischenfrüchte zunächst noch gebunden geblieben ist. In Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial kam es auf Grund des Humusumsatzes bereits in den drei Versuchsjahren zu einem deutlich sichtbaren stufenweisen Anstieg der Nachlieferung an Stickstoff und anderen pflanzenverfügbaren Nährstoffen, was am Beispiel der Erträge und der Nährstoffentzüge der Hauptfrüchte eindeutig nachgewiesen werden konnte.

Durch die mineralische Grunddüngung an P, K und Mg wurde in der Gefäßversuchsreihe der Pflanzenbedarf bereits überwiegend abgedeckt. Eine Verbesserung der direkten Verfügbarkeit durch die organische Düngung lässt sich aus dieser Versuchsreihe daher schwer ableiten. Höhere Entzüge resultieren vor allem aus der N-Verfügbarkeit der Düngemittel und den damit erfolgten Mehrentzügen. Höhere Gehalte an Grundnährstoffen (P, K, Mg) in den Ernteprodukten der Hauptfrüchte lassen sich statistisch jedoch nicht absichern. Die durch die organische Düngung zugeführten Grundnährstoffe reicherten sich zunächst im Humus des Bodens an und wurden entsprechend den vorherrschenden Mineralisationsbedingungen nach und nach in pflanzenverfügbare Formen überführt. Da sie im Überschuss zugefügt worden sind, kam es mit den Jahren zu einer deutlich zunehmenden Anreicherung an pflanzenverfügbaren Formen, was im Boden der Gefäße gut nachgewiesen werden konnte. Auch bei den Grundnährstoffen war daher eine deutliche Nachwirkung auf die Anteile an pflanzenverfügbaren Nährstoffformen zu verzeichnen.

3.2 Feldversuch

3.2.1 Grundnährstoffgehalte im Boden und Nährstoffentzüge der Hauptfrüchte

Auf Grund der unterschiedlichen ausgebrachten Nährstoffmengen durch die organischen Dünger ergaben sich in den Bodengehalten an pflanzenverfügbaren Nährstoffen vor allem im Prüffaktor der Dünger Unterschiede, die für die jeweiligen Zwischenfrüchte in dieser Deutlichkeit nicht festgestellt werden konnten. Alle nachfolgenden näher erläuterten Werte beziehen sich daher auf Mittelwerte, in denen die Einzelwerte des jeweils anderen Prüffaktors mit einfließen (Hauptwirkungen). Durch die Datenlage mit jeweils sechs Untersuchungsterminen konnten auch statistische Auswertungen vorgenommen werden. Untersucht wurde der Boden vor Applikation der Dünger und vor Aussaat der Zwischenfrucht bzw. nach der Hauptfrucht im Spätsommer vor dem eigentlichen Erntejahr. Demnach beziehen sich die Werte für das Jahr 2002 auf den August 2001 und stellen die Ausgangswerte für den Versuch und die Jahresbetrachtung der Nährstoffgehalte des Faktors A (organische Dünger) dar.

Unterschiede im pH-Wert (Abbildung 44) und dem pflanzenverfügbaren Magnesium (Abbildung 45) lassen sich in diesem Zeitraum somit auch nicht durch die differenzierte Behandlung der Prüfglieder erklären. Generell sind jedoch die Unterschiede im pH-Wert über den Versuchszeitraum gering (Abbildung 44). In den Nachwirkungsjahren von 2007 – 2009, in denen kein Dünger appliziert wurde, deutet sich eine leichte Erhöhung der pH-Werte durch den Kompost und den Stallmist an. Gleiches ist auch für das pflanzenverfügbare Magnesium zu konstatieren, wobei die Differenz nur 0,5 mg Mg/100g Boden beträgt (Abbildung 45). Eine leichte Erhöhung des CAL-löslichen Phosphors und Kalium im Boden ist insbesondere für den Prüffaktor Stallmist zu erkennen, was sicherlich durch die hohen ausgebrachten Nährstoffmengen begründet ist (Abbildung 46 u. Abbildung 47).

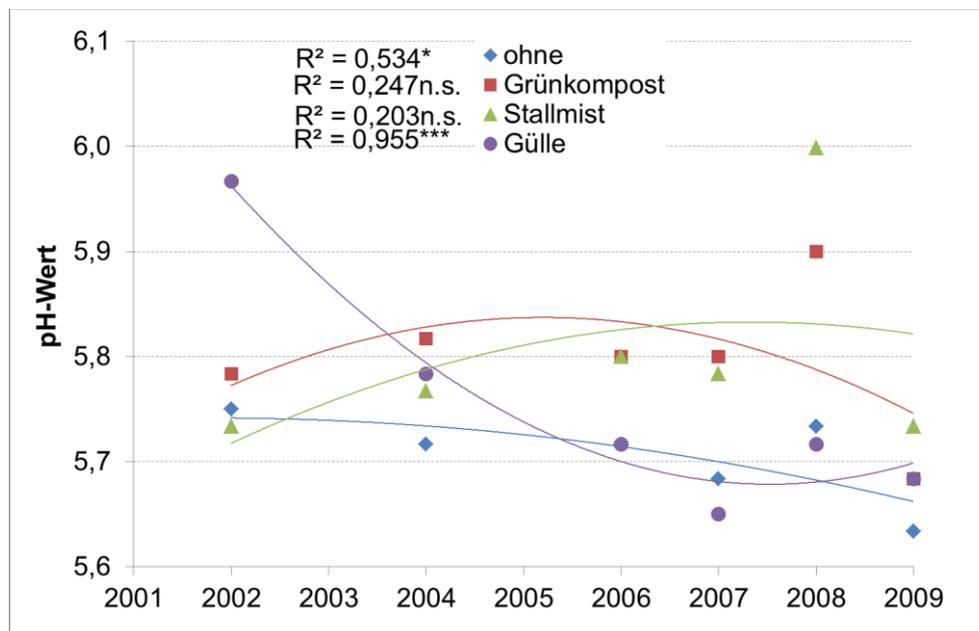


Abbildung 44: Entwicklung der pH-Werte in den Düngevarianten des Feldversuchs

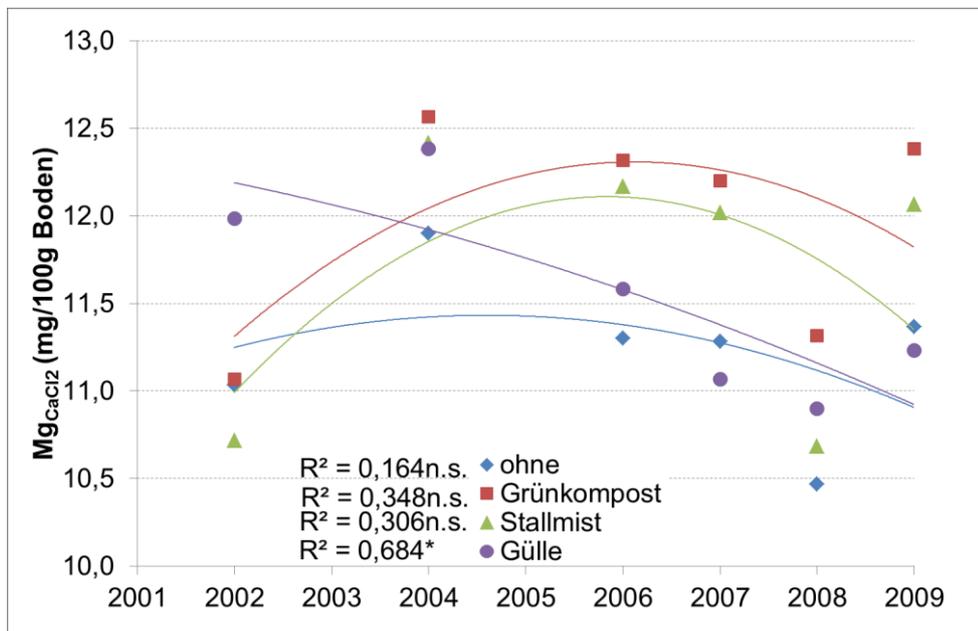


Abbildung 45: Entwicklung des pflanzenverfügbaren Magnesiums in den organischen Düngevarianten

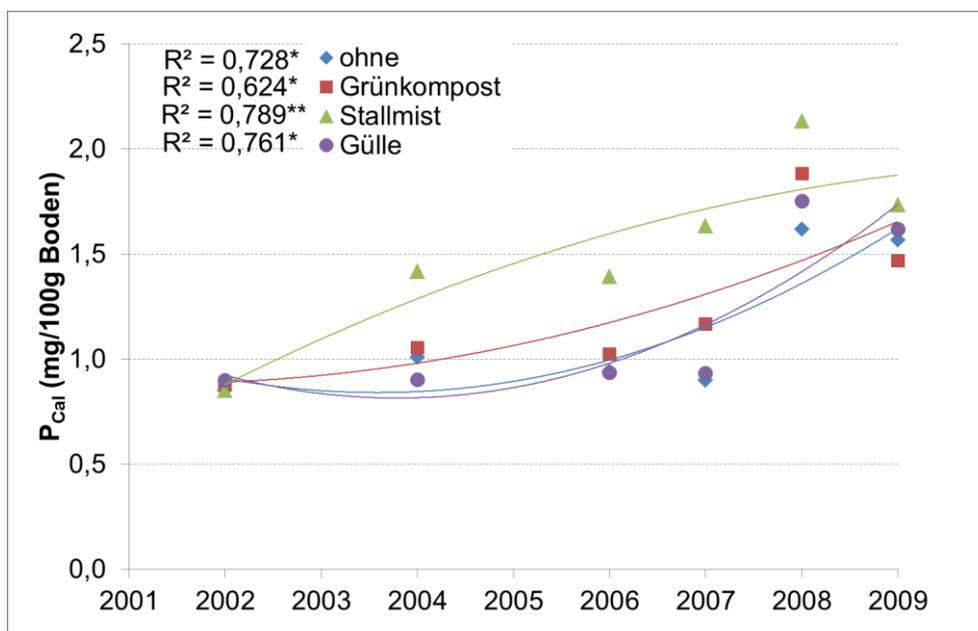


Abbildung 46: Entwicklung des laktatlöslichen Phosphors in den organischen Düngevarianten

Besonders fallen die Ergebnisse für das CAL-lösliche Kalium auf. Durch den Strohannteil des Stallmistes und dem darin gebundenen Kalium sowie den hohen Applikationsmengen, wurden die Werte um bis zu 4 mg K_{CAL} /100g Boden im Vergleich zu den anderen Düngungsvarianten angehoben (Abbildung 47). Dies führte zu einer besseren Verfügbarkeit des Nährstoffes und zu höheren Kaliumentzügen in den Jahren des Kartoffelanbaus.

Zwischen den Einzeljahren bestehen beachtliche Unterschiede in den N_T - und C_{org} -Gehalten des Bodens. Das C:N-Verhältnis ist davon weniger betroffen (Abbildung 48 – Abbildung 50). Im Untersuchungszeitraum bildeten sich noch keine klaren Differenzierungen heraus. Im Trend ist für Gülle und ohne Düngung über den Versuchszeitraum eine leichte Abnahme in den C_{org} -Gehalten zu beobachten. Durch die beiden übrigen Düngungsarten sind dagegen die Gehalte etwas angestiegen. Betrachtet man die C_{org} -Gehalte im letzten Ver-

suchsjahr, so kann festgestellt werden, dass die Düngung mit Grüngutkompost und Stallmist zu einer leichten Erhöhung der Gehalte um 0,07 % bzw. 0,08 % C_{org} geführt hat, was einer Anreicherung des Humusgehaltes um ca. 0,13 % entspricht. Einher geht damit auch eine tendenzielle Erhöhung der potenziellen Nährstoffmineralisation aus der organischen Fraktion des Bodens, was sich vor allem für den Stallmist im Ertragsgeschehen der Wintertriticale im letzten Versuchsjahr bestätigt hat.

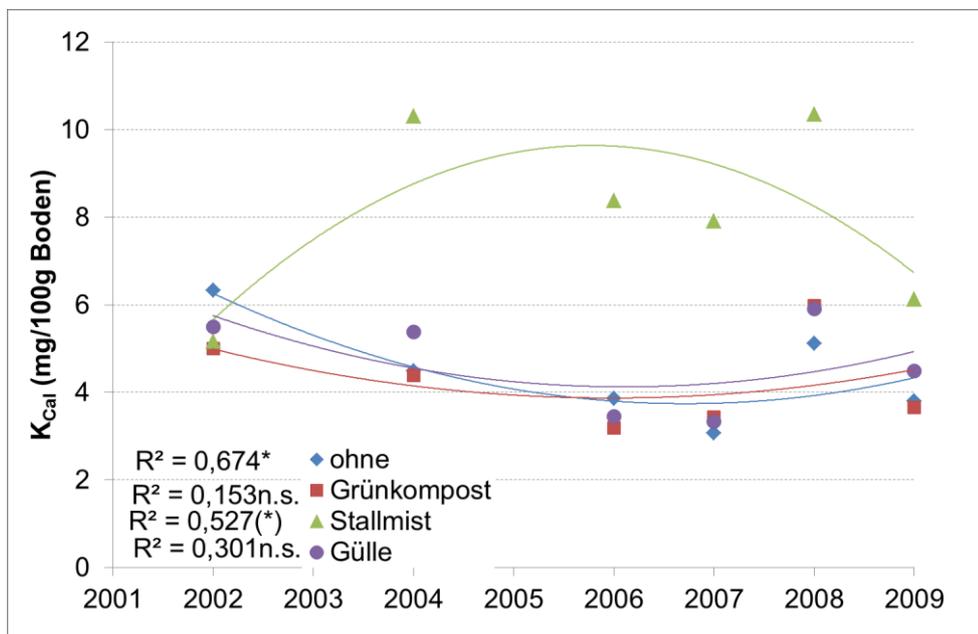


Abbildung 47: Entwicklung des laktatlöslichen Kaliums in den organischen Düngevarianten

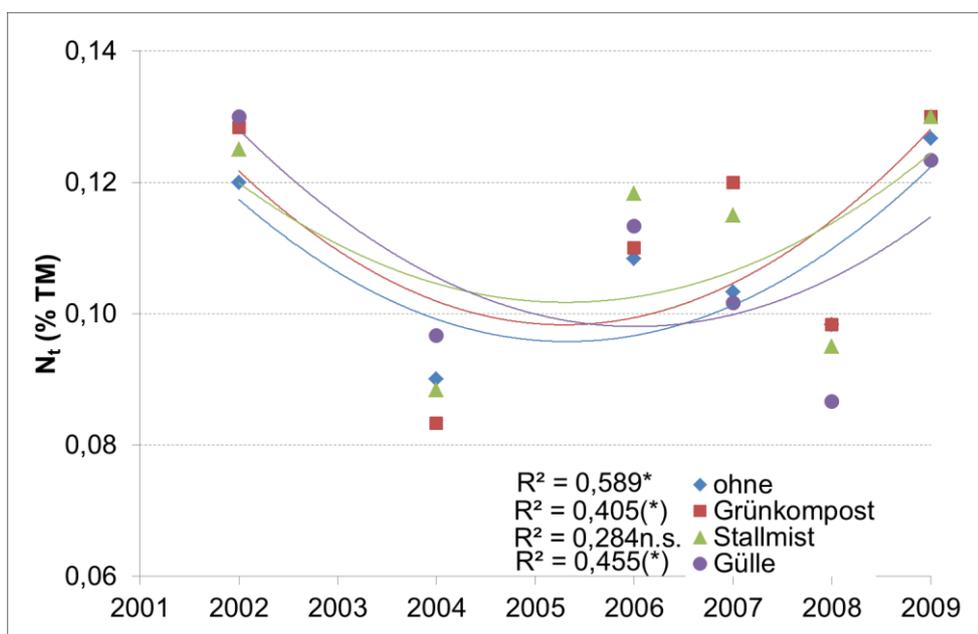


Abbildung 48: Entwicklung der N_t -Gehalte in den Düngevarianten

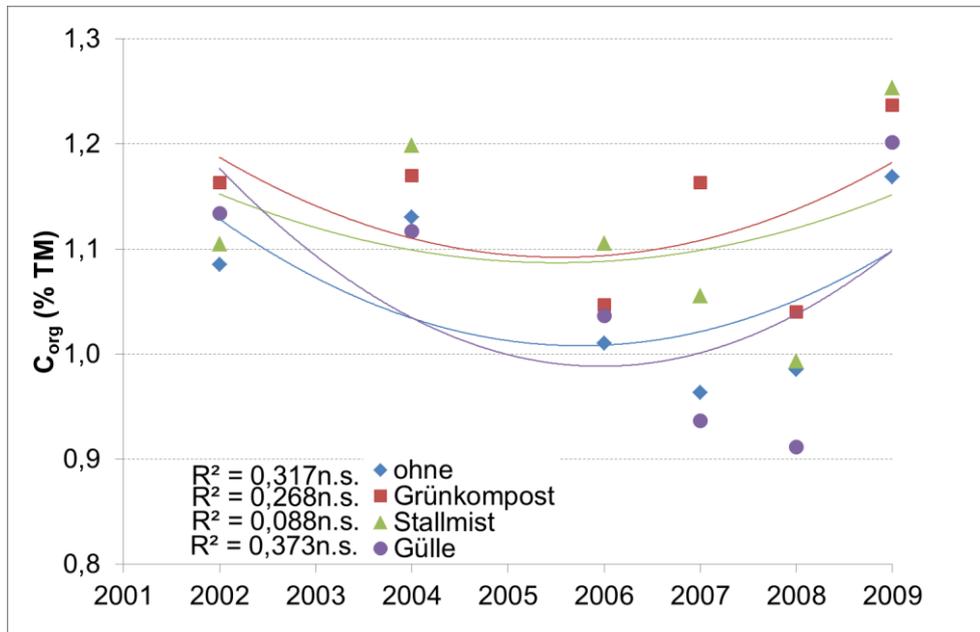


Abbildung 49: Entwicklung der C_{org}-Gehalte in den Düngevarianten

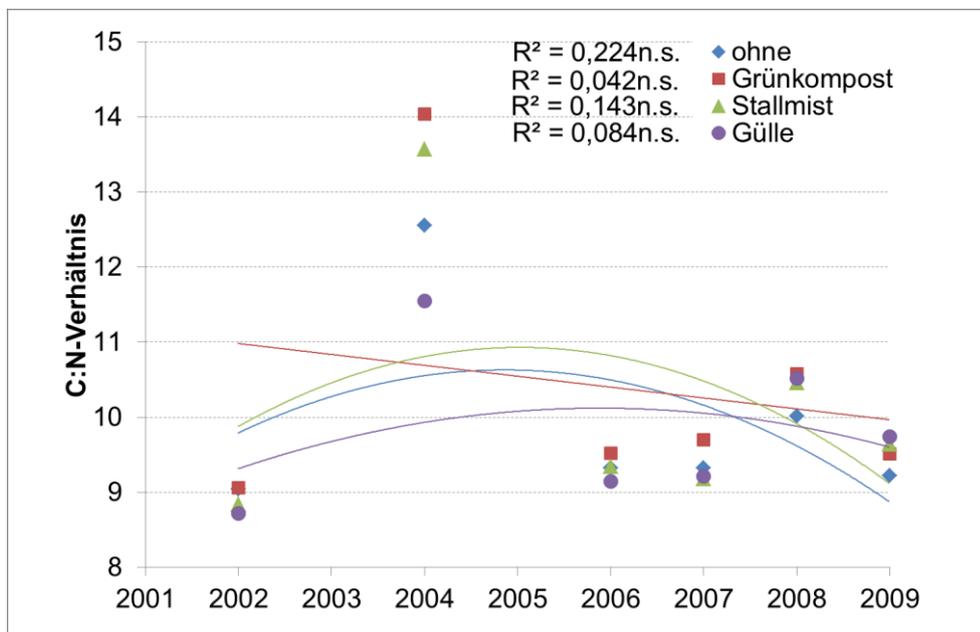


Abbildung 50: Entwicklung der mittleren C:N-Verhältnisse in den Düngevarianten

Trotz der z.T. erheblichen Streuung der Einzelwerte konnte mit Hilfe der linearen und quadratischen Regressionsanalyse für die beschriebenen Bodennährstoffe die zeitlichen Anfangs- und Endwerte zunächst genau bestimmt und dann die mittleren Veränderungen der Werte im Versuchsverlauf berechnet werden, um weitere Analysen anstellen zu können (Tabelle 44, vgl. Kap. 3.2.4).

Nach diesen Ergebnissen der Hauptwirkung Düngung sind in den Varianten ohne Düngung die Nährstoffgehalte im Boden im Versuchszeitraum am deutlichsten abgefallen oder am geringsten angestiegen. Es folgten die Güllevarianten, in denen die pH-Werte am deutlichsten abgefallen sind. Einen nur geringen durchschnittlichen Abfall (pH-Wert, K-Gehalt) bzw. einen Anstieg der Werte konnte dagegen durch die wiederholte Applikation von Grüngutkompost und Stalldung registriert werden (Tabelle 44).

Tabelle 44: Mittlere jährliche Entwicklung der Nährstoffe und anderer Merkmale im Boden der Düngevarianten über den Versuchszeitraum von 2001 – 2009

Organische Düngung	C _{org}	pH-Wert	P	K	Mg
	(% TM)	-	(mg/100 g Boden)		
Ohne organische Düngung	-0,0050	-0,0010	+0,0875	-0,2250	-0,0375
Grüngutkompost	+0,0038	-0,0025	+0,0938	-0,0750	+0,0875
Stallmist	+0,0025	+0,0063	+0,1250	+0,2750	+0,0750
Gülle	-0,0037	-0,0275	+0,1000	-0,1000	-0,1250

Zur Herausarbeitung der Hauptwirkung der Zwischenfrüchte auf die erfassten Bodenmerkmale wurden verschiedene Auswertungsformen angewendet. Einen auffälligen Verlauf zeigt der P_{CAL}-Gehalt in der Variante ohne organische Dünger. In jedem Untersuchungsjahr lag die Nährstoffversorgung des Prüfgliedes ohne Zwischenfrucht meistens über den anderen Werten der Zwischenfrüchte. In Abbildung 51 ist der Vergleich über die Versuchsjahre zwischen den Werten für die Varianten ohne und mit Zwischenfrucht abgebildet. In den jeweiligen Jahren ergeben sich Differenzen von bis zu 0,5 mg P_{CAL}/100 g Boden. Im Verlaufe der Zeit gibt es kaum eine Veränderung der ermittelten Unterschiede zwischen den dargestellten Varianten. Daher kann angenommen werden, dass diese Unterschiede schon vor Versuchsbeginn bestanden haben.

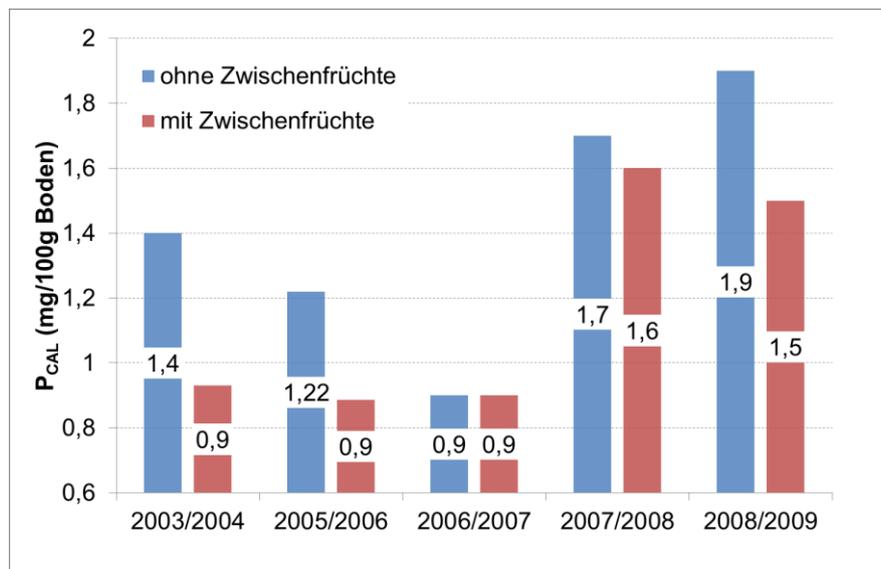


Abbildung 51: P_{CAL}-Gehalte in der Variante ohne organische Dünger

Diese Ansicht wird auch durch die Ergebnisse der Tabelle 45 bestätigt. Durch die exakte Zusammenstellung ist eindeutig zu erkennen, dass der Einfluss der Zwischenfrüchte in den acht Untersuchungsjahren auf die Veränderung der Nährstoffgehalte des Bodens nur als minimal anzusehen ist.

Tabelle 45: Mittlere Bodenuntersuchungsergebnisse der Zwischenfruchtvarianten über den Versuchszeitraum 2001 – 2009

	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	MW (03-09)
P_{CAL} (mg/100g)									
Ohne Zwischenfrüchte	0,90	-	1,12	-	1,10	1,10	1,88	1,70	1,38
Zottelwicke	0,83	-	0,91	-	0,91	1,20	1,72	1,55	1,26
Futtererbse	0,88	-	1,02	-	1,08	1,20	1,80	1,65	1,35
Weidelgras	0,85	-	1,13	-	1,07	1,18	1,88	1,58	1,36
Örettich	0,85	-	1,10	-	1,09	1,10	1,83	1,53	1,33
Buchweizen	0,90	-	1,19	-	1,14	1,13	1,78	1,60	1,37
MW Zwischenfrüchte	0,86	-	1,07	-	1,06	1,16	1,80	1,58	1,33
K_{CAL} (mg/100g)									
Ohne Zwischenfrüchte	5,50	-	5,41	-	4,16	4,25	7,05	4,23	5,02
Zottelwicke	5,17	-	5,47	-	4,01	3,80	6,47	4,50	4,85
Futtererbse	6,25	-	6,77	-	5,38	4,45	7,18	4,75	5,71
Weidelgras	5,00	-	6,01	-	5,19	4,73	7,20	4,65	5,56
Örettich	5,25	-	6,14	-	4,84	4,45	6,05	4,03	5,10
Buchweizen	6,25	-	7,05	-	4,53	4,45	6,75	4,90	5,54
MW Zwischenfrüchte	5,58	-	6,29	-	4,79	4,38	6,73	4,57	5,35
Mg_{CaCl2} (mg/100g)									
Ohne Zwischenfrüchte	11,80	-	12,40	-	12,05	11,63	11,05	11,70	11,77
Zottelwicke	11,53	-	12,18	-	11,55	11,55	10,72	11,70	11,54
Futtererbse	11,25	-	12,23	-	11,53	11,83	10,80	11,93	11,66
Weidelgras	10,98	-	12,58	-	12,63	11,88	10,95	11,88	11,98
Örettich	11,13	-	12,20	-	11,13	11,33	10,95	11,78	11,48
Buchweizen	11,05	-	12,43	-	12,15	11,73	10,68	11,65	11,73
MW Zwischenfrüchte	11,19	-	12,32	-	11,80	11,66	10,82	11,79	11,68
pH Wert									
Ohne Zwischenfrüchte	5,78	-	5,73	-	5,73	5,75	5,77	5,73	5,74
Zottelwicke	5,98	-	5,68	-	5,78	5,73	5,77	5,62	5,72
Futtererbse	5,90	-	5,80	-	5,75	5,73	5,83	5,68	5,76
Weidelgras	5,78	-	5,85	-	5,80	5,80	5,85	5,73	5,81
Örettich	5,75	-	5,80	-	5,65	5,70	5,83	5,70	5,74
Buchweizen	5,83	-	5,83	-	5,80	5,70	6,00	5,65	5,80
MW Zwischenfrüchte	5,85	-	5,79	-	5,76	5,73	5,85	5,67	5,76
N_t (%)									
Ohne Zwischenfrüchte	0,130	-	0,093	-	0,113	0,108	0,098	0,125	0,107
Zottelwicke	0,123	-	0,093	-	0,112	0,102	0,092	0,127	0,105
Futtererbse	0,125	-	0,090	-	0,110	0,108	0,090	0,128	0,105
Weidelgras	0,123	-	0,090	-	0,113	0,118	0,100	0,133	0,111
Örettich	0,130	-	0,083	-	0,115	0,108	0,090	0,125	0,104
Buchweizen	0,128	-	0,090	-	0,113	0,113	0,088	0,125	0,106
MW Zwischenfrüchte	0,126	-	0,089	-	0,112	0,109	0,092	0,127	0,106
C_{org} (%)									
Ohne Zwischenfrüchte	1,16	-	1,16	-	1,05	1,04	1,00	1,20	1,09
Zottelwicke	1,09	-	1,13	-	1,01	0,96	0,93	1,23	1,05
Futtererbse	1,12	-	1,18	-	1,07	0,98	0,99	1,24	1,09
Weidelgras	1,10	-	1,16	-	1,05	1,11	1,00	1,23	1,11
Örettich	1,12	-	1,15	-	1,07	0,96	0,99	1,18	1,07
Buchweizen	1,13	-	1,13	-	1,05	1,05	0,93	1,22	1,08
MW Zwischenfrüchte	1,11	-	1,15	-	1,05	1,01	0,97	1,22	1,08

Tabelle 45: (Fortsetzung)

	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	MW (03-09)
C:N Verhältnis									
Ohne Zwischenfrüchte	8,94	-	12,51	-	9,29	9,67	10,23	9,56	10,25
Zottelwicke	8,88	-	12,14	-	9,07	9,41	10,18	9,68	10,10
Futtererbse	8,95	-	13,11	-	9,73	9,12	10,94	9,69	10,52
Weidelgras	9,02	-	12,92	-	9,29	9,43	10,03	9,26	10,18
Örettich	8,61	-	13,97	-	9,26	8,95	10,97	9,46	10,52
Buchweizen	8,89	-	12,50	-	9,36	9,36	10,66	9,76	10,33
MW Zwischenfrüchte	8,87	-	12,93	-	9,34	9,25	10,56	9,57	10,33

MW = Mittelwert

Nach Konzentrierung der Ergebnisse der Anbaujahre 2002/2003 – 2008/2009 der beiden Faktoren lassen sich auch nur einige Tendenzen über Wechselwirkungen zwischen Düngung und Zwischenfruchtanbau erkennen (Tabelle 46). Die im Zellverbund der Zwischenfrüchte fest eingebundenen Nährstoffe (N, P) werden nach dem Umbruch erst im Rahmen des Humusumsatzes frei. Das kann besonders in der Variante ohne Düngung zu einer geringfügigen Herabsetzung der N-Verfügbarkeit insbesondere bei den eingebrachten Materialien mit weiten C:N-Verhältnissen in der Vegetation führen (siehe weiter unten: N_{\min}). Während die C_{org} -Gehalte durch den Zwischenfruchtanbau zwischenzeitlich stabilisiert werden, können die N_{t} - und P-Gehalte des Bodens offenbar dann etwas abnehmen. Besonders die ausgangs bereits sehr niedrigen laktatlöslichen P-Gehalte des Bodens sind hierdurch in der Tendenz noch weiter abgesunken.

Tabelle 46: Zusammenfassende Ergebnisse über die Veränderung der Nährstoffgehalte und der pH-Werte des Bodens in Folge fortgesetzter organischer Düngung und Zwischenfruchtanbau im Durchschnitt der Anbaujahre 2002 – 2009

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrüchte	Leguminosen	Nichtleguminosen
P_{CAL} (mg/100g)			
ohne organische Düngung	1,42	1,20	1,14
Grüngutkompost	1,22	1,21	1,42
Stallmist	1,52	1,78	1,63
Gülle	1,35	1,19	1,21
MW	1,38	1,35	1,35
K_{CAL} (mg/100g)			
ohne organische Düngung	3,71	3,94	4,27
Grüngutkompost	4,02	4,05	4,22
Stallmist	7,81	8,89	8,70
Gülle	4,52	4,67	4,40
MW	5,02	5,39	5,40
Mg_{CaCl2} (mg/100g)			
ohne organische Düngung	10,56	11,33	11,45
Grüngutkompost	12,76	11,91	12,12
Stallmist	11,98	11,76	11,91
Gülle	11,76	11,28	11,43
MW	11,77	11,57	11,73
pH Wert			
ohne organische Düngung	5,78	5,70	5,67
Grüngutkompost	5,80	5,69	5,87
Stallmist	5,70	5,82	5,85
Gülle	5,68	5,71	5,72
MW	5,74	5,73	5,78
N_t (% TM)			
ohne organische Düngung	0,108	0,105	0,104
Grüngutkompost	0,108	0,107	0,109
Stallmist	0,108	0,112	0,108
Gülle	0,104	0,103	0,105
MW	0,107	0,107	0,107
C_{org} (%TM)			
ohne organische Düngung	1,04	1,06	1,05
Grüngutkompost	1,14	1,11	1,14
Stallmist	1,12	1,16	1,10
Gülle	1,05	1,01	1,06
MW	1,09	1,09	1,09

Die organische Düngung insbesondere mit Kompost und Stalldung führte zu einer geringen Zunahme der C_{org}-Gehalte (Tabelle 46). Demgegenüber werden die über die Düngung zugeführten oder in den Zwischenfrüchten zwischenzeitlich enthaltenen Mengen an Kalium und Magnesium nach der Verbringung in den Boden sehr schnell wieder frei, weil diese Nährstoffe in den Zellverbunden der organischen Materialien nicht fest eingebunden sind. Je nach zugeführter Menge kommt es hierdurch zu einem geringen Anstieg der K-Gehalte (insbesondere Varianten mit Stalldung) und auch die K-Gehalte des Bodens können dann nach (zusätzlichem)

Zwischenfruchtanbau in der Tendenz etwas ansteigen (Tabelle 46). Auch diese Auswertungen zeigen, dass durch den wiederholten Anbau von Zwischenfrüchten keine großen Veränderungen eingetreten sind.

Die beschriebene Nährstoffversorgung des Bodens vor allem mit organischer Düngung hatte zum Teil auch Einfluss auf die Nährstoffentzüge durch die angebauten Hauptfrüchte. So lassen sich beim Kalium über die Jahre enge Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten von bis zu $r = 0,80^{***}$ zwischen dem K_{CAL} -Gehalt des Bodens und dem K-Entzug erkennen (Abbildung 52, Abbildung 53). Nicht so eindeutig über den Zeitraum, aber in Einzeljahren erkennbar, ist der höhere P-Entzug bei einer besseren Nährstoffversorgung des Bodens (Abbildung 54). Im Versuchsjahr 2007/2008 konnte ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,56^{**}$ berechnet werden (Tabelle 47).

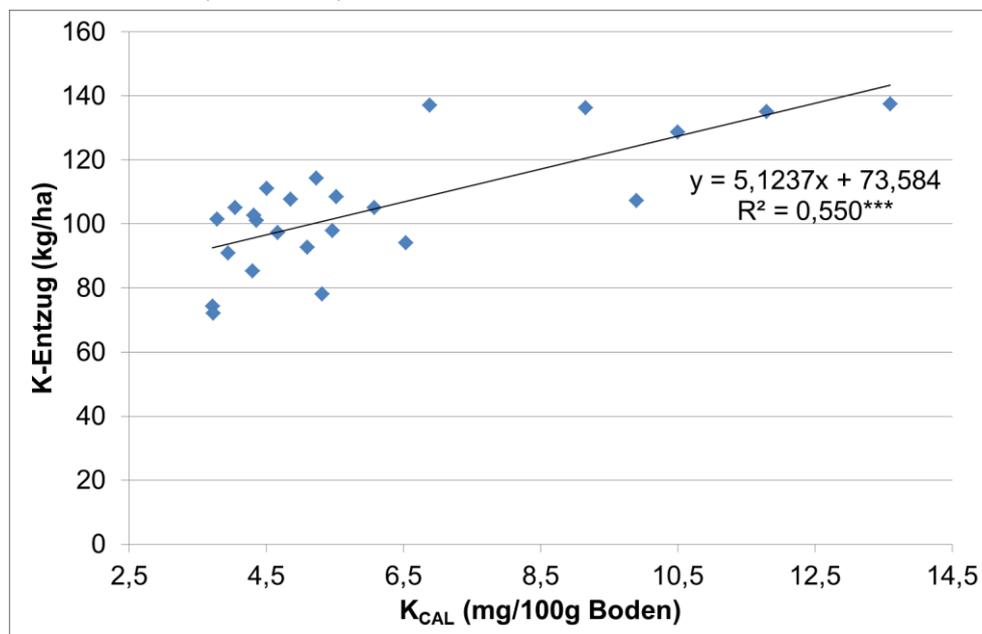


Abbildung 52: Zusammenhang zwischen dem K_{CAL} -Gehalt des Bodens und dem K-Entzug der Hauptfrüchte im Jahr 2003/2004

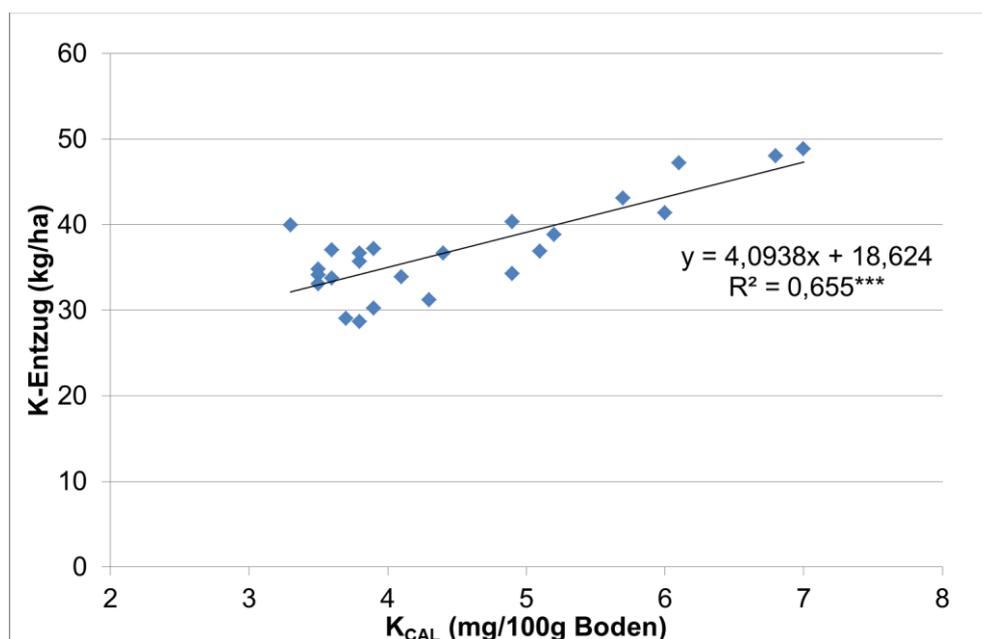


Abbildung 53: Zusammenhang zwischen dem K_{CAL} -Gehalt des Bodens und dem K-Entzug der Hauptfrüchte im Jahr 2008/2009

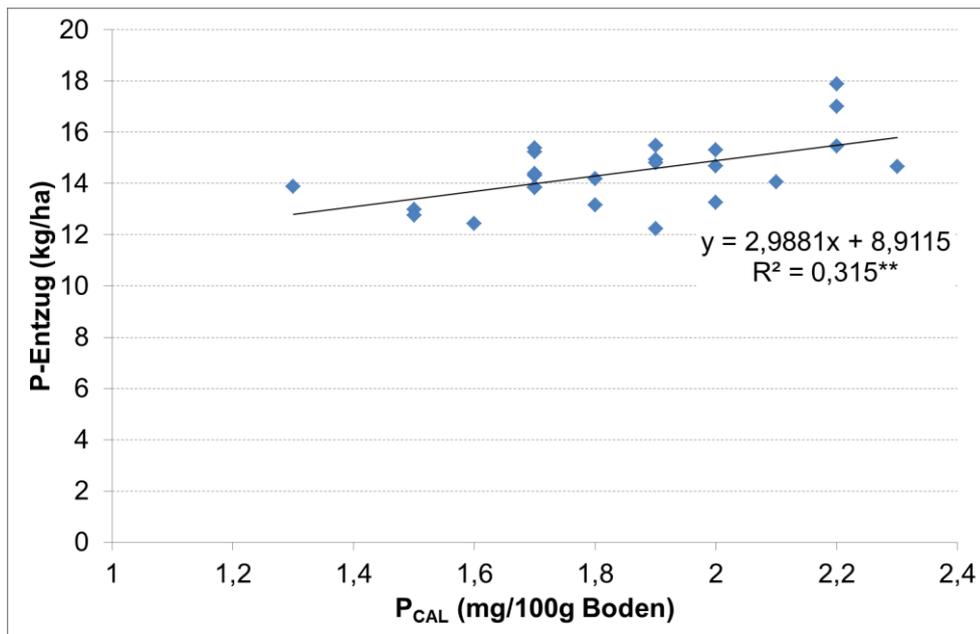


Abbildung 54: Zusammenhang zwischen dem P_{CAL}-Gehalt im Boden und dem P-Entzug durch die angebauten Hauptfrüchte im Jahr 2008/2009

Tabelle 47: Korrelationskoeffizienten zwischen den Bodengehalten und den Nährstoffentzügen der Hauptfrüchte

Nährstoff	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
Kalium	n.b.	n.b.	0,74***	n.b.	n.b.	0,52**	0,66***	0,81***
Phosphor	0,04n.s.	n.b.	0,27n.s.	n.b.	n.b.	0,26n.s.	0,56**	0,34*

n.b. = nicht bestimmt

3.2.2 Zwischenfruchtanbau und N_{min}-Gehalt des Bodens

Im Versuchszeitraum gab es drei Jahre, in denen Zwischenfrüchte angebaut wurden. Der Anbau erfolgte im zweijährigen Rhythmus mit Beginn der Untersuchungen im Herbst 2001. Aufgrund der Trockenheit im Versuchsjahr 2003/2004 bildeten die Futtererbse und der Buchweizen nur geringe Biomassen aus und es konnte keine Substanzbestimmung ermittelt werden. Aufgrund der Unvollständigkeit der Datenlage wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet. In den anderen beiden Jahren ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Prüffaktoren.

Im ersten Anbaujahr existieren gesicherte Unterschiede in den Aufwuchsmengen zwischen den Zwischenfruchtarten, nicht aber zwischen den Düngerarten. Die höchste Substanzbildung erfolgte durch den Ölrettich unabhängig von der organischen Düngung und den damit applizierten Nährstoffmengen. Mit 29 dt/ha bildete er eine mehr als doppelt so hohe Trockenmasse wie die anderen Zwischenfrüchte, die sich bis auf die Zottelwicke auf einem einheitlichen Ertragsniveau bewegten. Tendenziell stieg die gebildete Frischmasse der Nichtleguminosen mit dem pflanzenverfügbaren Stickstoff aus der Gülle an (Tabelle 48).

Vor der Versuchsanlage wurde ein N_{min}-Gehalt von 57 kg N/ha ermittelt (0 – 90 cm Tiefe). Dieser deutet auf eine gute N-Bereitstellung des Standortes hin. Allerdings befanden sich 50 kg N/ha in der Bodenschicht von 30 – 60 cm Tiefe. Zwar wurden alle Zwischenfrüchte zum gleichen Zeitpunkt ausgesät, doch ist zu vermuten,

dass die verfügbare Vegetationszeit unter den spezifischen Jahresbedingungen vor allem für das Weidelgras und den Buchweizen zu kurz war, um diesen Stickstoff vollständig zu erschließen und in entsprechende Biomasse umzusetzen.

Tabelle 48: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002

Organische Düngung	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	8,3	10,3	11,8	30,7	10,9	14,4
Grüngutkompost	6,4	9,6	10,5	28,3	11,2	13,2
Stallmist	6,9	12,1	14,7	25,4	12,6	14,3
Gülle	8,6	11,2	15,5	30,6	14,2	16,0
Mittelwert Zwischenfrucht	7,6	10,8	13,1	28,8	12,2	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				3,6		
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				4,3		
GD 5%; Tukey (AxB)				11,3		

Ein ähnliches Ergebnis konnte für den zweiten Zwischenfruchtanbau im Jahr 2003/2004 konstatiert werden. Nur dass sich unter den trockenen Bedingungen dieses Jahres der Stallmist mit den hohen applizierten N-Gehalten als vorteilhaft erwies und bei allen untersuchten Kulturarten einen Anstieg der gebildeten Trockenmassen bewirkte (Tabelle 49). Wie im ersten Anbaujahr erzielte der Ölrettich im Mittel die höchsten Trockenmasseerträge und unterschied sich dadurch deutlich von der Zottelwicke und dem Weidelgras. Ein Einfluss der organischen Dünger konnte weder auf die Leguminosen- noch auf die Nichtleguminosen-Aufwüchse festgestellt werden.

Tabelle 49: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004

Organische Düngung	Zottelwicke	Felderbse*	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen*	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	9,7	-	8,9	21,2	-	8,0
Grüngutkompost	14,4	-	11,8	19,0	-	9,0
Stallmist	21,0	-	16,3	27,6	-	13,0
Gülle	11,2	-	10,2	21,4	-	8,6
Mittelwert Zwischenfrucht	14,1	-	11,8	22,3	-	-

* ohne Ertragsfeststellung

Auch im dritten Anbaujahr 2005 bildete der Ölrettich die höchsten Erträge an Trockensubstanz bis zum Umbruch vor Winter aus (Tabelle 50). Gleichfalls konnte sich der Buchweizen in diesem Herbst üppig entwickeln. Anders als bei dem Ölrettich waren die Abweichungen der Werte zwischen den Wiederholungen geringer. Durch einen hohen Ertragswert von 69 dt/ha im dritten Block ergab sich für den Ölrettich in der ungedüngten Variante ein Mittelwert von 46,3 dt/ha. Generell betrug die Streubreite zwischen den Wiederholungen ca. 10 dt/ha. Zwischen den Faktoren ergab sich eine signifikante Wechselwirkung.

Tendenziell zeigt sich bei der Futtererbse, dem Weidelgras und dem Ölrettich ein Anstieg der gebildeten Frischmasse mit Zunahme des applizierten pflanzenverfügbaren Stickstoffs. Auffällig ist ferner die geringe Trockenmasse des ungedüngten Weidelgrases. Anders als im ersten Jahr vermochten die Leguminosen eine

entsprechende Trockenmasse von durchschnittlich 19 dt bzw. von 25 dt/ha bilden. Dies deutet bei gleichem Saatzeitpunkt aller Kulturen auf günstigere Wachstumsbedingungen hin. Nicht zuletzt profitierte hiervon auch der Buchweizen, der in diesem Jahr nahezu die gleiche Trockenmasse wie der Örettich ausbildete (Tabelle 50).

Tabelle 50: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006

Organische Düngung	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Örettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	21,7	21,8	10,7	46,3	38,2	27,8
Grüngutkompost	16,0	20,9	12,9	28,0	35,7	22,7
Stallmist	22,2	25,8	17,1	32,0	41,6	27,7
Gülle	17,2	31,8	24,6	45,3	34,7	30,7
Mittelwert Zwischenfrucht	19,3	25,1	16,3	37,9	37,6	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				4,8		
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				5,7		
GD 5%; Tukey (AxB)				15,1		

Das beschriebene Ertragsgeschehen hatte folglich auch einen Einfluss auf die Nährstoffaufnahme bzw. den Nährstoffzug der Zwischenfrüchte vor Winter (Anhang: Tabelle A 2, Tabelle A 3 u. Tabelle A 4). In den erhobenen Werten spiegeln sich die kulturartspezifischen Besonderheiten in den Nährstoffgehalten wider. Nicht eindeutig lassen sich jedoch die Düngungsvarianten erkennen. So weisen die Futtererbse und der Buchweizen in jedem Erntejahr die geringsten K-Gehalte auf. Die P-Gehalte unterscheiden sich kaum. Hingegen gibt es eindeutige Unterschiede hinsichtlich der N-Gehalte und der C:N-Verhältnisse zwischen den Kulturarten. Allgemein werden diese durch die Düngung bei den Leguminosen kaum verändert, während bei den Nichtleguminosen sich die N-Bereitstellung durch das jeweilige Düngungsregime ableiten lässt. Einzig im Trockenjahr 2003/2004 wurden diese Zusammenhänge nicht sichtbar und deuten darauf hin, dass die Wasserversorgung wachstumslimitierend war. Die Entzüge wiederum sind neben den Gehalten auch stark vom witterungsbedingten Ertragsgeschehen und einer entsprechenden Trockenmassebildung abhängig.

Kulturartspezifische Eigenschaften müssen auch für das C:N-Verhältnis konstatiert werden. So wies in den Anbaujahren der Buchweizen das weiteste C:N-Verhältnis auf. Aus Abbildung 56 geht hervor, dass der Buchweizen im ersten Jahr des Zwischenfruchtbaus trotz des geringen Trockenmasseertrages ein durchschnittliches C:N-Verhältnis von über 25 aufwies und das Verhältnis durch Bereitstellung an pflanzenverfügbarem Stickstoff entsprechend abnahm (Gülle-Varianten). Weiterhin wird das engere C:N-Verhältnis der Leguminosen offensichtlich.

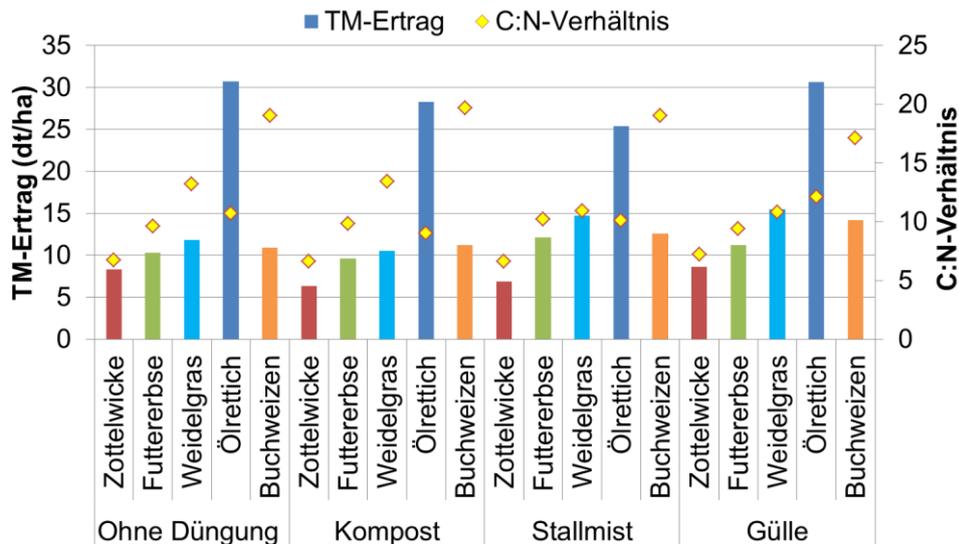


Abbildung 55: Trockenmasseertrag und C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002

Neben dem C:N-Verhältnis reagierte der N-Gehalt in den Leguminosen und im Ölrettich kaum auf die organische Düngung (Abbildung 56). Hingegen zeigte sich eine leichte Steigerung der Gehalte bei dem Weidelgras und dem Buchweizen.

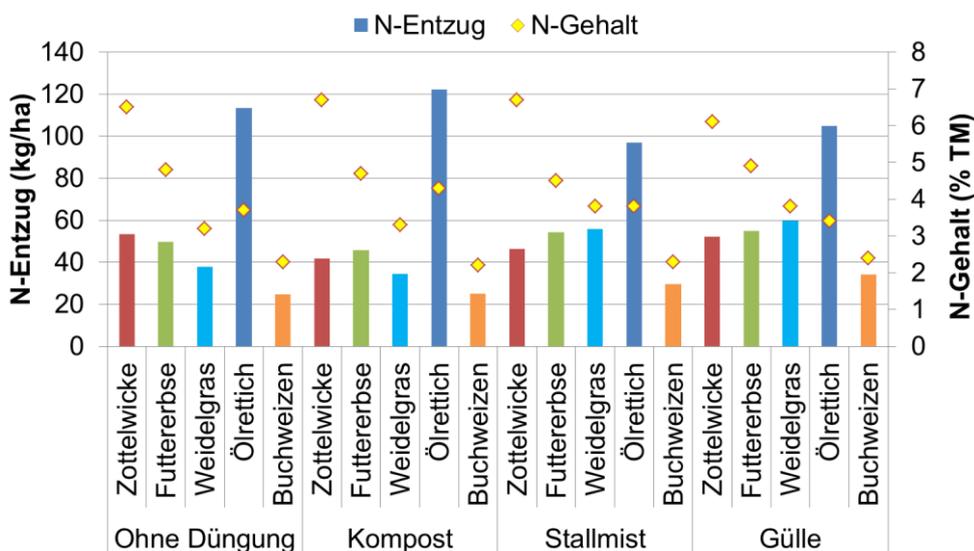


Abbildung 56: N-Entzug und N-Gehalt der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002

Hinsichtlich des Potenzials zur N-Nachlieferung für die nachfolgenden Hauptfrüchte ist ferner das Verhältnis zwischen N-Gehalt und C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte von Interesse. Da der Kohlenstoffgehalt in den Pflanzen relativ konstant ist und der N-Gehalt je nach N-Bereitstellung und Kulturart schwankt, ergibt sich der in Abbildung 57 dargestellte enge Zusammenhang zwischen beiden Parametern. Deutlich wird der Einfluss des N-Gehalts auf das C:N-Verhältnis in den Zwischenfrüchten.

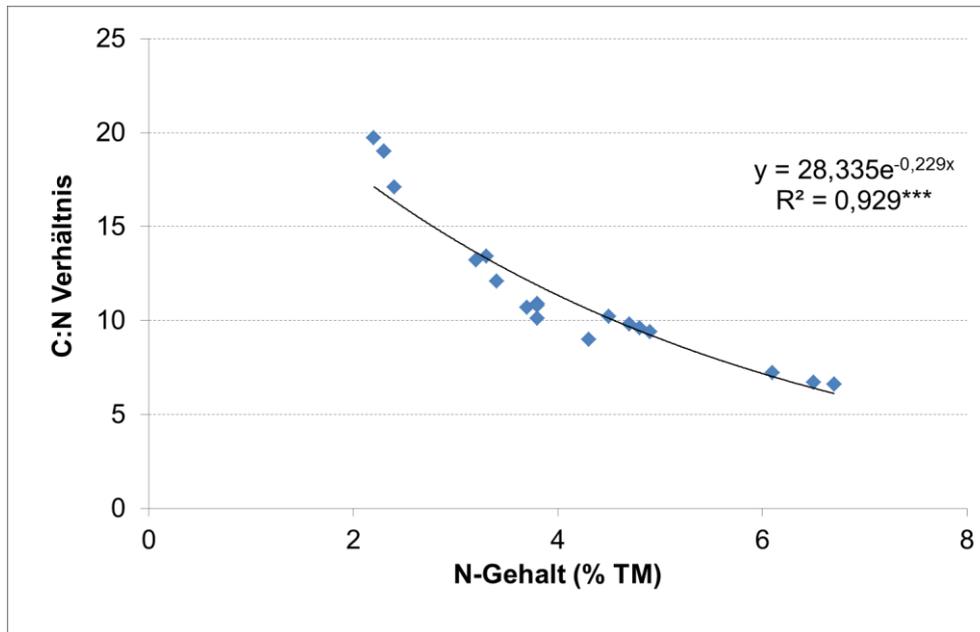


Abbildung 57: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N-Verhältnis in den Zwischenfrüchten im Versuchsjahr 2001/2002

Weiterhin haben die angebauten Zwischenfrüchte einen Einfluss auf die Veränderung der N_{\min} -Gehalte vor und nach dem Winter. Im Versuchsjahr 2001/2002 wurden die Zwischenfrüchte vor Winter in den Boden eingepflügt. Zu diesem Zeitpunkt hatte der Ölrettich ca. 110 kg N/ha in der Biomasse gebunden und nahezu allen mineralischen Stickstoff aus dem Boden aufgenommen, wodurch der N_{\min} -Gehalt mit ca. 20 kg N/ha über alle Düngungsstufen sehr gering war (Abbildung 58). Demgegenüber vermochten der Buchweizen und das Weidelgras den noch im Boden vorhandenen Stickstoff nicht vollständig zu binden.

Besonders deutlich wird dies vor allem beim Weidelgras, welches relativ spät gesät wurde und sich daher trotz eines guten Nährstoffangebotes nicht adäquat entwickeln konnte. Bei den Leguminosen ist die Reaktion der Futtererbse hervorzuheben. Unabhängig vom N-Angebot aus der Düngung bildete sie über alle Varianten die gleiche Biomasse aus und hinterließ ein einheitliches N_{\min} -Niveau in Höhe von ca. 75 kg N/ha. Die Zottelwicke wies eine ähnlich hohe N-Aufnahme wie die Futtererbse auf. Sie hinterließ aber höhere N_{\min} -Werte in den organisch gedüngten Varianten. Nach dem Einsatz von Gülle waren es immerhin 115 kg N/ha (Abbildung 58).

Nach diesen Ergebnissen könnte auch die N-Bindeleistung der Zottelwicke in der ungedüngten Variante geringer als die der Futtererbse gewesen sein. Im Gegensatz zu den Gefäßversuchen deutet sich hier an, dass die legume N-Bindung auch bei Vorhandensein von höheren Stickstoffmengen im Boden stattfand. Unter Umständen erklärt sich dieser Unterschied allerdings durch die vergleichsweise höhere Konzentration an pflanzenverfügbarem Stickstoff und dem begrenzten Bodenvolumen in den Gefäßen (vgl. Kapitel 3.1).

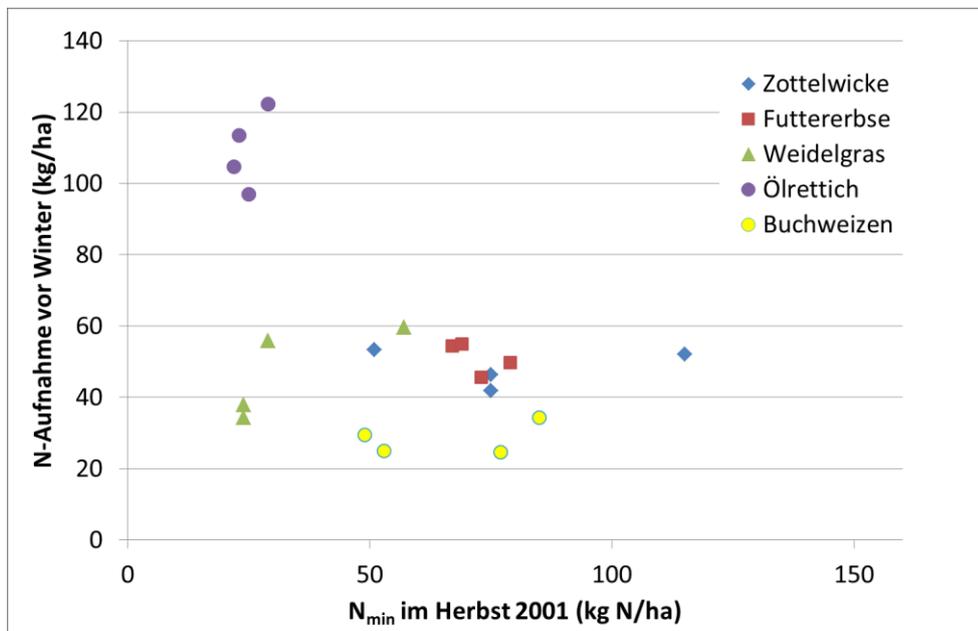


Abbildung 58: N_{min}-Gehalt in 0 – 90 cm Bodentiefe im Herbst in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002

Die Ergebnisse der Bodenproben im zeitigen Frühjahr bestätigen dies. Offensichtlich wird hier auch das hohe N-Nachlieferungspotenzial von Zwischenfrüchten, die ein enges C:N-Verhältnis aufweisen. In den Parzellen des Ölrettichs erhöhten sich die N_{min}-Gehalte um knapp 80 kg N/ha (vgl. Abbildung 58 u. Abbildung 59). Hin- gegen gab es in den Varianten ohne Zwischenfrüchte nur eine geringe N_{min}-Zunahme von durchschnittlich 15 kg N/ha (siehe Tabelle A 5, Anhang).

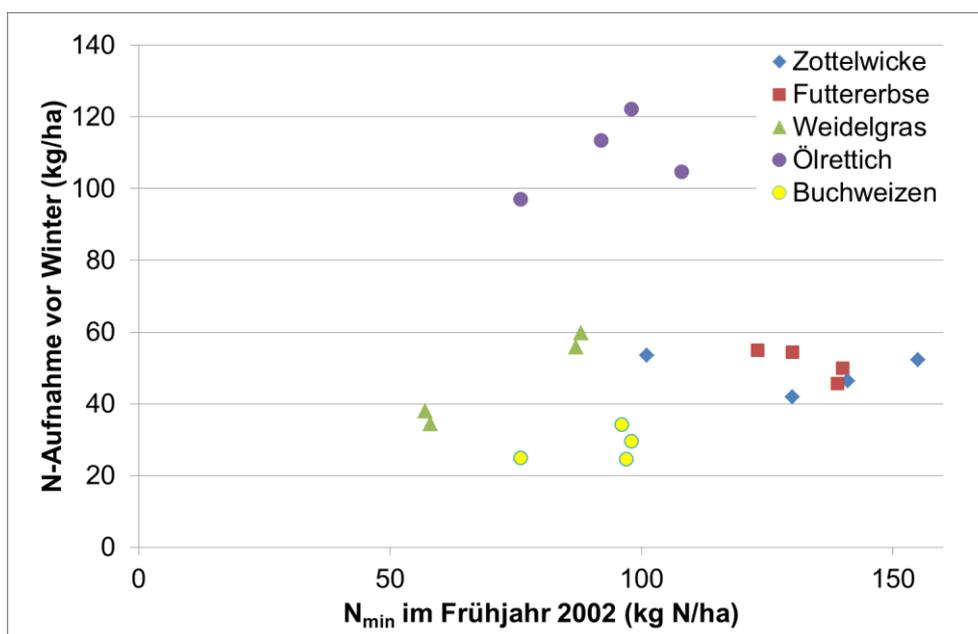


Abbildung 59: N_{min}-Gehalt im Frühjahr in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002

Tendenziell ergeben sich für das trockene Versuchsjahr 2003/2004 ähnliche Ergebnisse. Erstaunlich ist die hohe Trockenmassebildung der Zottelwicke in der Stallmistvariante (Abbildung 60). Weiterhin variiert die N-Aufnahme des Ölrettich stärker als im vorherigen Anbaujahr, was tendenziell mit der N-Bereitstellung aus der

Düngung erklärt werden kann. Mit dem Stallmist wurden 228 kg N, mit dem Grüngutkompost 97 kg N und mit der Gülle 153 kg N/ha ausgebracht. Generell erkennt man anhand der N-Aufnahme sehr gut diese unterschiedliche Düngungszufuhr im Besonderen bei dem Ölrettich und dem Weidelgras (Abbildung 61).

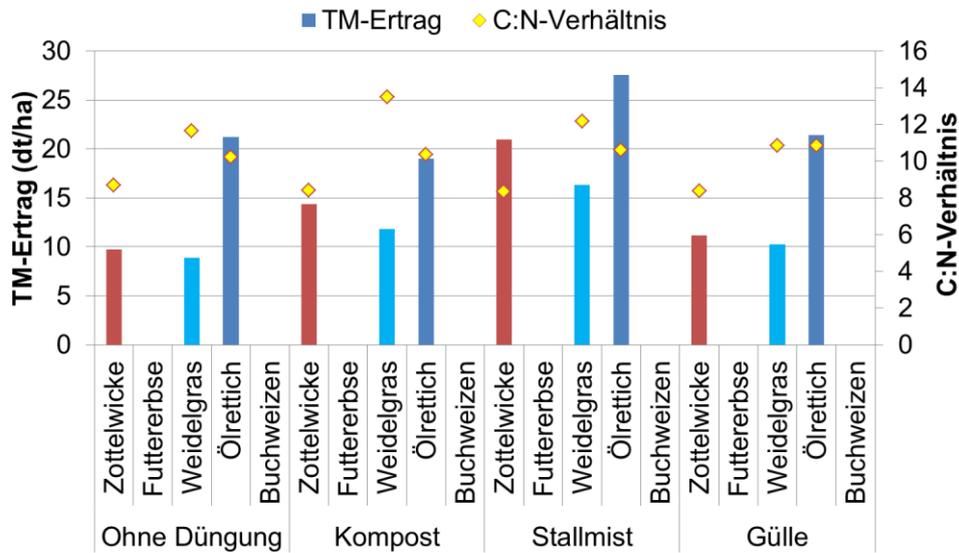


Abbildung 60: Trockenmasseertrag und C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004

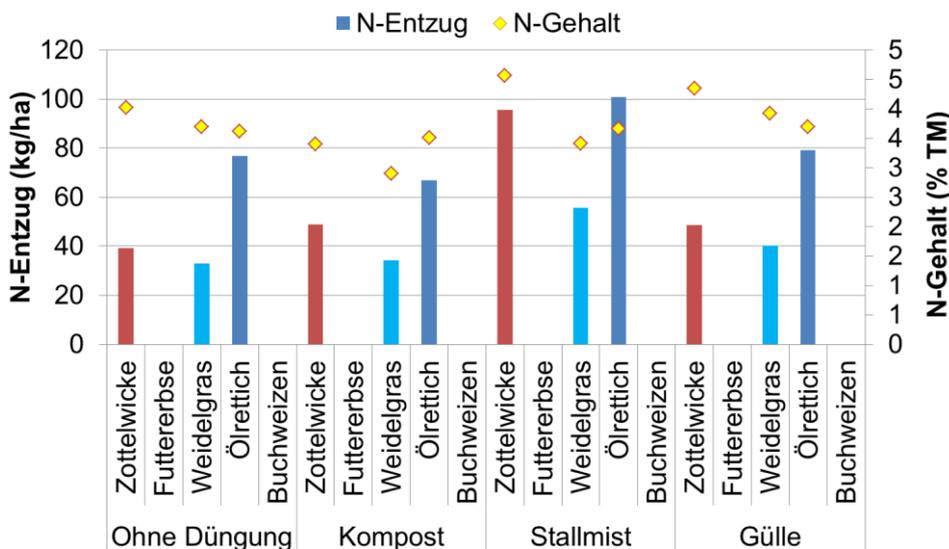


Abbildung 61: N-Entzug und N-Gehalt der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004

Augenscheinlich ist abermals der Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N-Verhältnis in den Zwischenfrüchten (Abbildung 62). Die Beziehung ist aber nicht so eng wie in den anderen Versuchsjahren. Auch im Anbaujahr 2003/2004 war der Ölrettich in der Lage, den pflanzenverfügbaren Stickstoff weitgehend aufzunehmen. Er hinterließ wiederum die geringsten N_{\min} -Mengen vor Winter. Wie im Vorjahr wurden lediglich 20 kg N/ha ermittelt. Abhängig vom N-Angebot fanden sich unter der Zottelwicke die höchsten N_{\min} -Werte. In der Gülle- bzw. Stallmistvariante waren es jeweils ca. 80 kg N/ha (Abbildung 63).

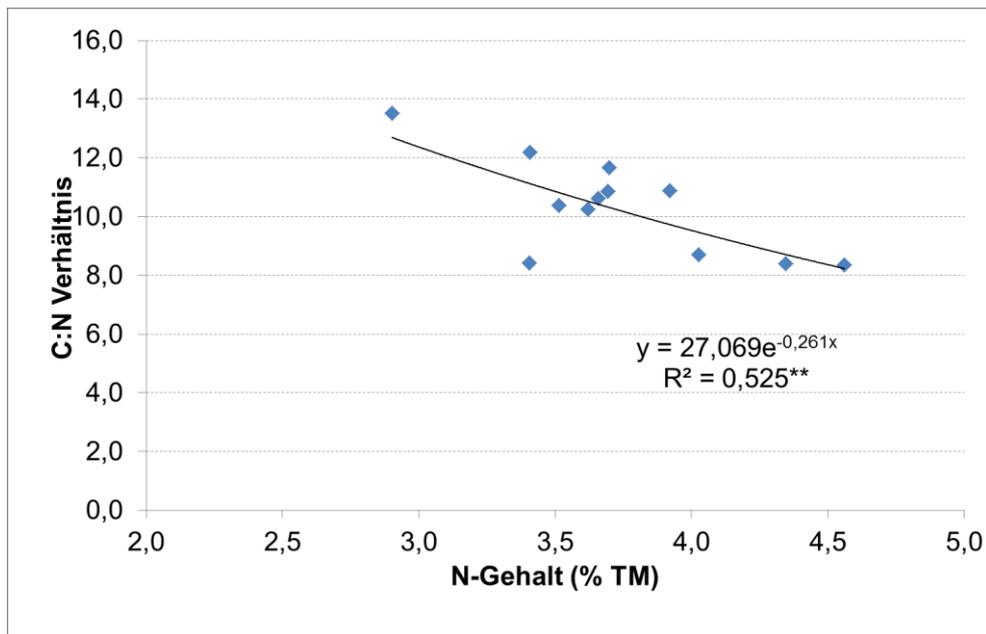


Abbildung 62: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004

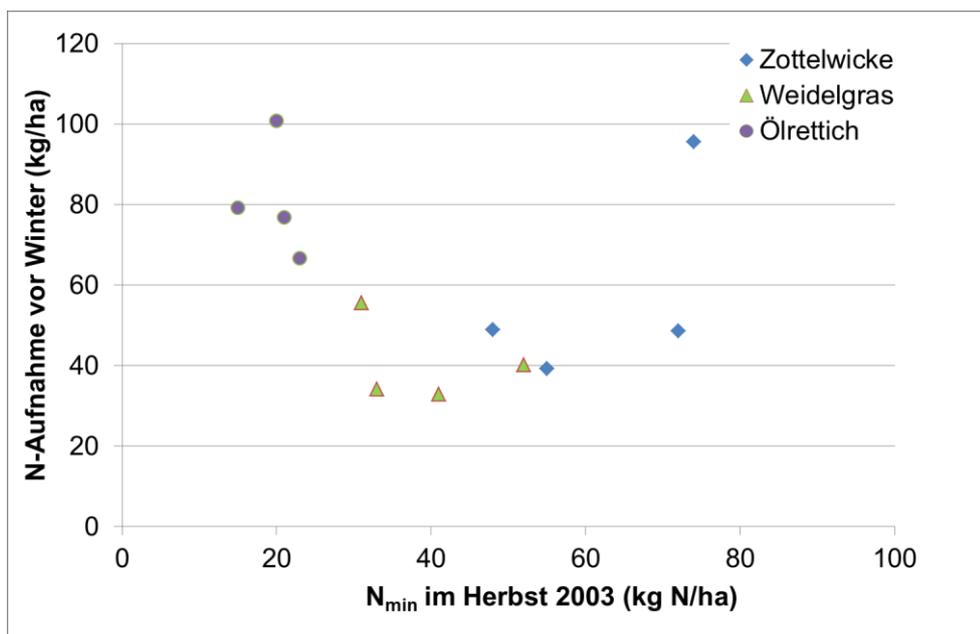


Abbildung 63: N-Aufnahme der Zwischenfrüchte und N_{min}-Gehalt des Bodens im Herbst des Versuchsjahres 2003/2004

Über den Winter wurde aus dem Pflanzenmaterial des nicht eingearbeiteten Ölrettich bereits Stickstoff freigesetzt (Abbildung 64). Gleichfalls stiegen die N_{min}-Werte nach der Zottelwicke an. Eine Ausnahme bildete das Weidelgras. Da es nicht umgebrochen wurde, kann vermutet werden, dass durch das Gras bis zur Bodenprobenahme Mitte März weiterhin Stickstoff aufgenommen worden ist. Sehr gut zu erkennen ist die Spreizung der N_{min}-Einzelwerte der Zwischenfruchtvarianten, die einen Rückschluss auf das verabreichte Düngungsniveau erkennen lässt: keine Düngung < Grüngutkompost < Gülle < Stallmist (Abbildung 64).

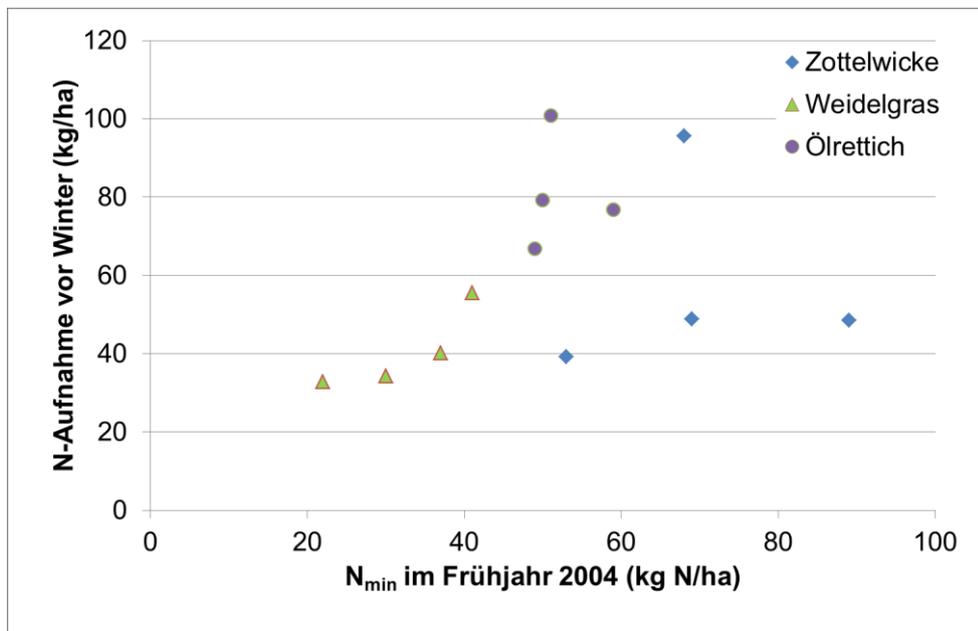


Abbildung 64: N_{min} -Gehalt im Frühjahr in Abhängigkeit von der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004

Auffällig für das Anbaujahr 2005/2006 sind die hohen Trockenmasseerträge und die weiten C:N-Verhältnisse bei allen Zwischenfrüchten, vor allem bei den Nichtleguminosen. Diese Ergebnisse deuten auf eine intensive Vegetation vor dem Winter aufgrund von vorteilhaften Witterungsbedingungen hin. Für den Buchweizen wurde hierdurch in der ungedüngten Variante ein C:N-Verhältnis von 30:1 ermittelt (Abbildung 65). Offensichtlich wird bei den Nichtleguminosen weiterhin eine Abnahme des C:N-Verhältnisses durch die organische Düngung bewirkt. Zwar wurden ähnliche N-Mengen appliziert, sie unterscheiden sich jedoch im Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff. Demnach stand den Pflanzen in der Güllevariante die höchste Menge an schnell verfügbarem N zum Wachstum zur Verfügung.

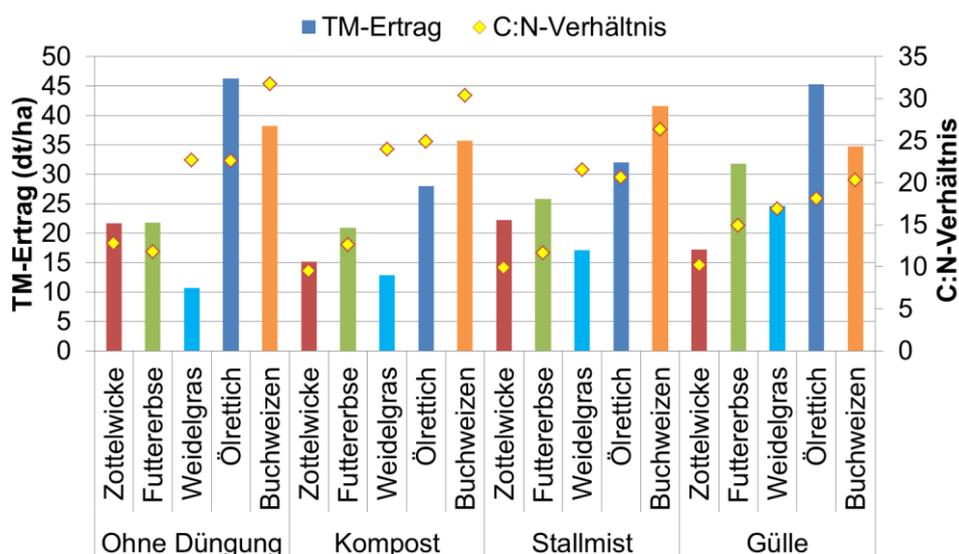


Abbildung 65: Trockenmasseertrag und C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006

Für die Ölrettich-Varianten kann ferner festgestellt werden, dass die N-Aufnahme mit der Düngung abgenommen hat. Nur in der Variante mit Gülledüngung wurde ein höherer Ertrag erreicht als in der Standardvariante. Anders der Buchweizen und das Weidelgras, die, wie in den Anbaujahren zuvor, positiv auf die Düngung reagiert haben (Abbildung 66). Tendenziell wurden die N-Gehalte der Zottelwicke durch die Düngung etwas angehoben, demgegenüber verringerten sie sich bei der Futtererbse, so dass bei der N-Aufnahme durch die Leguminosen keine klaren Tendenzen abgeleitet werden können.

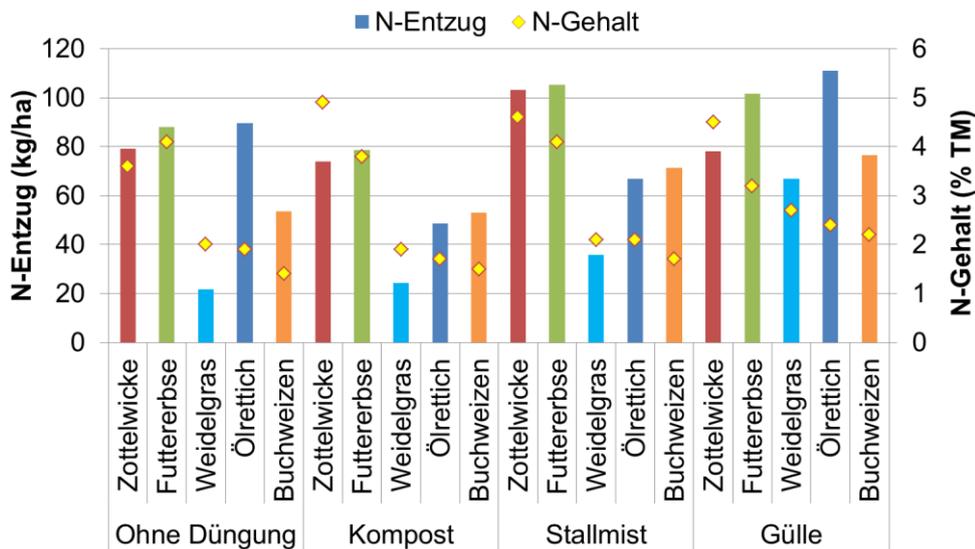


Abbildung 66: N-Entzug und N-Gehalt der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006

Durch die unterschiedliche N-Bereitstellung ergibt sich eine breite Spreizung der N-Gehalte in den Zwischenfrüchten. Gleichzeitig war ein enger Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N-Verhältnis in den Pflanzen zu erkennen (Abbildung 67).

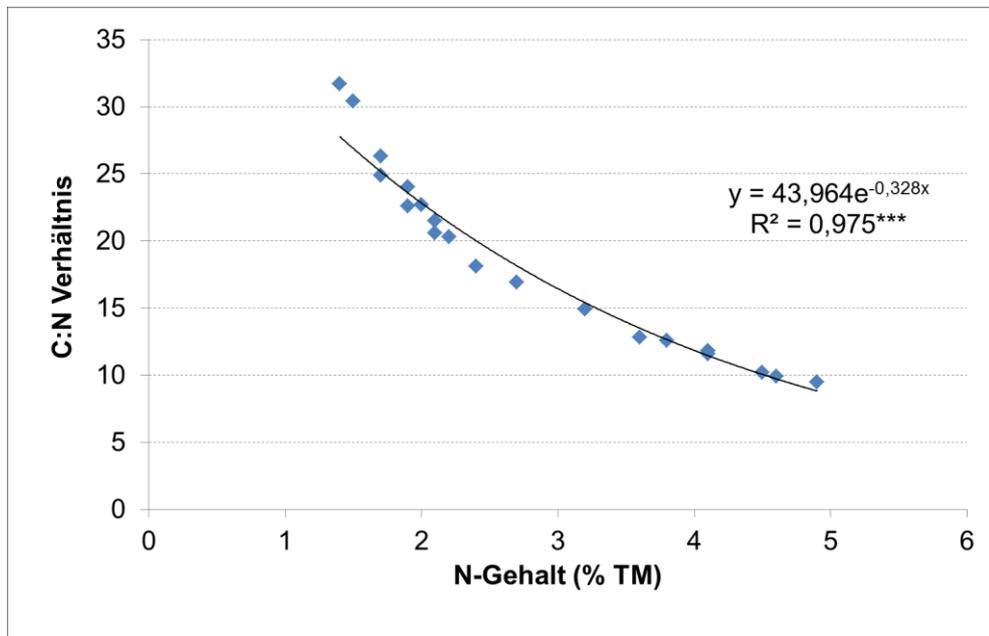


Abbildung 67: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N-Verhältnis der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006

Die Höhe der N_{\min} -Werte im Frühjahr bestätigen das bisher beschriebene Bild. Nach durchschnittlich 100 kg N im ersten und 60 kg N/ha im zweiten Anbaujahr wurden für das Frühjahr 2006 in dem Prüfglied mit Ölrettich ca. 70 kg N/ha ermittelt, wobei auch in diesem Jahr die Streuung der Werte sehr gering war. Die Zottelwicke ließ wiederum eine große Spreizung der N_{\min} -Werte in Abhängigkeit von der Düngung erkennen. Hingegen zeigte die Futtererbse bis auf die Stallmistvariante ein relativ einheitliches N_{\min} -Niveau. Bei den Weidelgras- und Buchweizen-Varianten werden durch die N_{\min} -Werte im Frühjahr die Düngungsvarianten deutlich abgebildet (Abbildung 68).

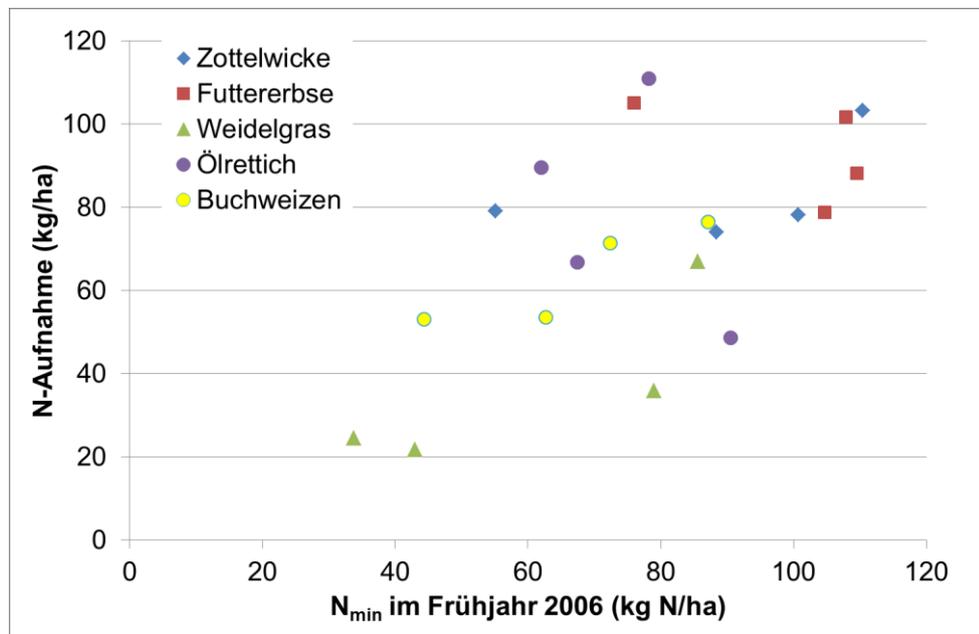


Abbildung 68: Zusammenhang zwischen N_{\min} -Gehalt im Frühjahr und der N-Aufnahme der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006

In Abbildung 69 ist der Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt und dem C:N-Verhältnis über den gesamten Versuchszeitraum dargestellt. Sehr gut ist zu erkennen, dass mit Abnahme des N-Gehaltes das C:N-Verhältnis ansteigt und dies unabhängig von dem jeweiligen Versuchsjahr. Somit ist es möglich, über den N-Gehalt das C:N-Verhältnis relativ sicher zu bestimmen und eine Aussage über die N-Verfügbarkeit des in der Zwischenfrucht gebundenen Stickstoffs zu geben.

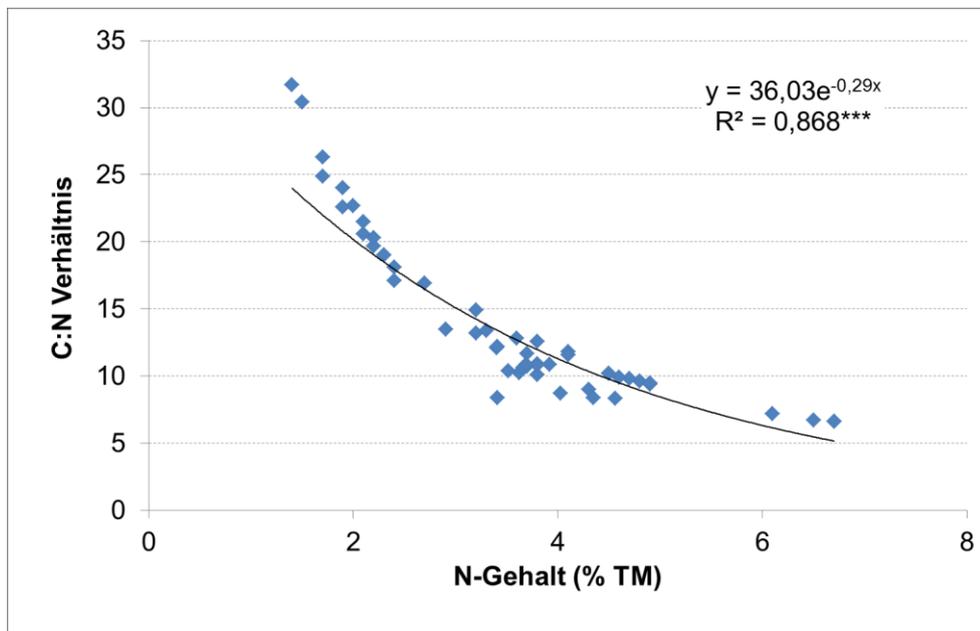


Abbildung 69: Regression zwischen N-Gehalt und C:N-Verhältnis der angebauten Zwischenfrüchte in der gesamten Versuchsreihe

Zwischen den N_{\min} -Gehalten vom Herbst und im Frühjahr in den Jahren des Zwischenfruchtanbaus bzw. der organischen Düngung bestehen signifikante positive Korrelationskoeffizienten (Tabelle 51). Die Menge an verfügbarem Stickstoff nahm je nach Jahresbedingungen von der Herbst- zur Frühjahrsprobenahme im Durchschnitt proportional zu (Abbildung 70). Generell wurde bei dem Umbruch der Zwischenfrüchte im Frühjahr 2004 eine geringe Zunahme der N_{\min} -Werte registriert.

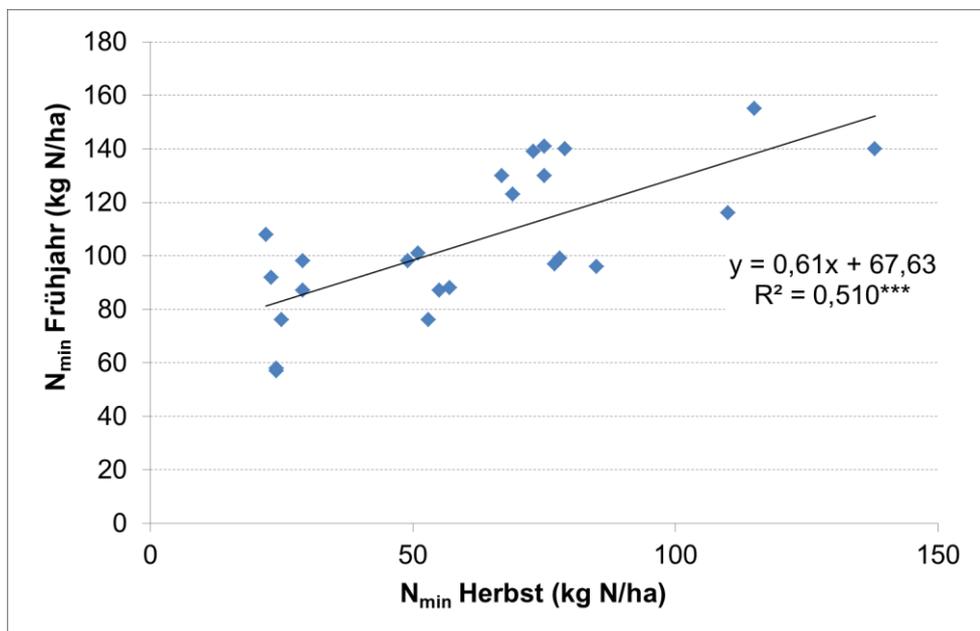


Abbildung 70: Beziehung zwischen den N_{\min} -Gehalten im Herbst und im Frühjahr – 2001/2002

Tabelle 51: Korrelationskoeffizienten zwischen den Herbst- und den Frühjahrs- N_{\min} -Werten

Zeitpunkt	2001/2002	2002/2003	2003/2004
Herbst / Frühjahr	0,71***	0,52**	0,59**

Bei genauerer Betrachtung der Veränderung der N_{\min} -Werte über den Winter kommt neben den Umbrucherminen und den vorherrschenden Wetterbedingungen der gebildeten Biomasse eine entscheidende Bedeutung zu. Im ersten Zwischenfruchtjahr (2001/2002) wurden die Kulturen im November mit dem Pflug eingearbeitet. Im zweiten Jahr (2003/2004) hingegen erfolgte eine Frühjahrsfurche. Dadurch konnte im Vergleich zu 2002 das Pflanzenmaterial bis zum Termin der Bodenprobenahme im Frühjahr nicht oder nur geringfügig von den Mikroorganismen im Boden zersetzt und mineralisiert werden.

Folglich war die Relation als Quotient der N_{\min} -Veränderung zur N-Aufnahme bei allen Zwischenfrüchten im ersten Jahr wesentlich höher (Tabelle 52; Einzelwerte in Tabelle A 5, Anhang). Durch die N-Bindung der Leguminosen gelangte zusätzlich Stickstoff in den Boden, wodurch die N_{\min} -Werte angestiegen sind. Eine N-Auswaschung aus der beprobten Bodentiefe fand auf diesem tiefgründigen Standort bei den gegebenen Niederschlägen vermutlich nicht statt.

Tabelle 52: N-Aufnahme vor Winter durch die Zwischenfrüchte, Veränderung der N_{\min} -Gehalte über Winter sowie Relation zwischen der N-Aufnahme und den N_{\min} -Werten in den Jahren 2001/2002 und 2003/2004

	Zottelwicke	Futtererbse	Weidelgras	Örettich	Buchweizen
2001/2002					
N-Aufnahme (kg N/ha)	48	51	47	109	29
ΔN_{\min} -Werte (kg N/ha)	53	61	39	69	26
Relation	110	119	83	63	89
2003/2004					
N-Aufnahme (kg N/ha)	58	-	41	81	-
ΔN_{\min} -Werte (kg N/ha)	8	-	-7	33	-
Relation	13	-	-17	40	-

Bei der weiteren Analyse der N_{\min} -Werte lassen sich zum Teil enge Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Probenahmeterminen nach vorhergegangener organischer Düngung feststellen (Tabelle 53). In Abbildung 71 und Abbildung 72 können diese Zusammenhänge verdeutlicht werden. Die hierbei gemessenen N_{\min} -Mengen variieren stark und sind abhängig von den Jahresbedingungen und der angebauten Kultur. Bekanntlich lassen sich z.B. hohe Mengen pflanzenverfügbaren Stickstoffs nach der Ernte von Kartoffeln im Boden feststellen. Hingegen ist der Mais in der Lage bis zur Ernte Nährstoffe aus dem Boden aufzunehmen. Über Winter erfolgt dann, wie auch im Versuchsjahr 2006/2007 nachzuweisen ist, eine Mineralisation der Wurzelrückstände. Dies wird in den Versuchsergebnissen durch die hohen N_{\min} -Werte im Frühjahr 2007 vor dem Legen der Kartoffeln deutlich.

Weiterhin weisen die relativ geringen N_{\min} -Gehalte nach der Ernte des Getreides auf ein insgesamt niedriges N-Düngeregime hin (Tabelle A 6, Tabelle A 7 u. Tabelle A 8 im Anhang). In den Jahren, in denen die Nachlieferungswirkung untersucht wurde (2006/2007 – 2008/2009), nehmen die N_{\min} -Ausgangswerte kontinuierlich ab. Sicherlich jahresbeeinflusst deuten diese Werte auch auf eine sukzessive Abreicherung hin. Dabei sind keine klaren Tendenzen zwischen den Prüffaktoren zu erkennen (siehe Tabelle A 9, Anhang).

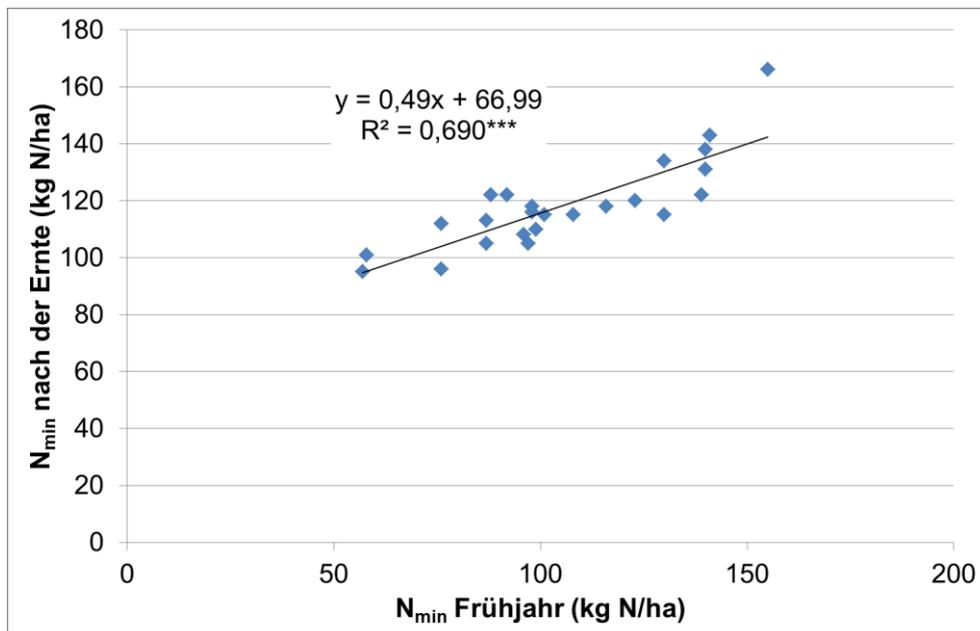


Abbildung 71: Beziehung zwischen den N_{\min} -Werten im Frühjahr und nach der Ernte – 2001/2002

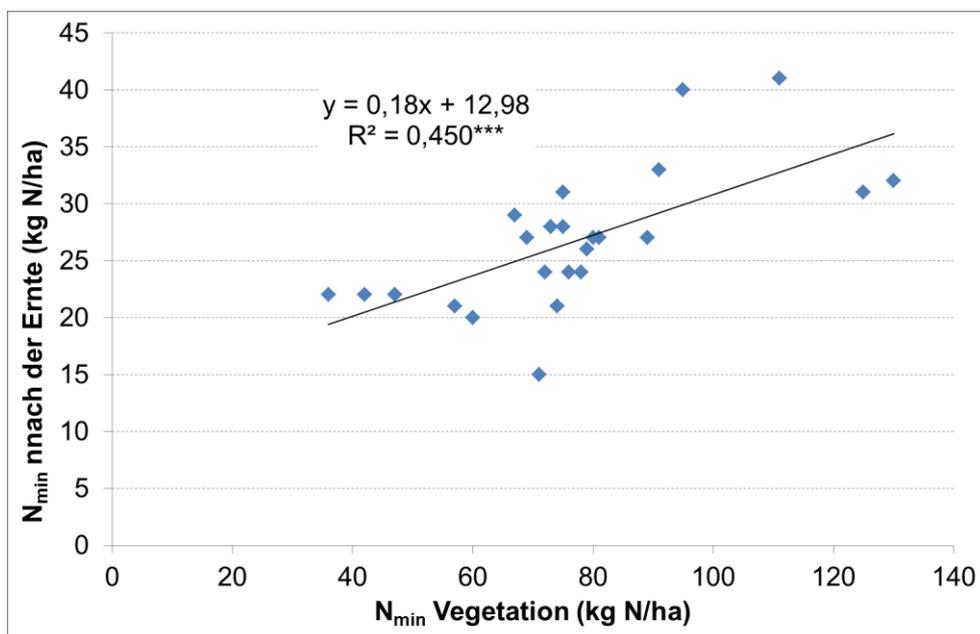


Abbildung 72: Beziehung zwischen den N_{\min} -Gehalten in der Vegetation und nach der Ernte – 2005/2006

Tabelle 53: Übersicht über die ermittelten Korrelationskoeffizienten der N_{\min} -Untersuchungen

Zeitpunkt	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
Frühjahr / Vegetation	0,35*	0,46*	0,22n.s.	0,10n.s.	0,66***	n.b.	n.b.	0,00n.s.
Frühjahr / nach Ernte	0,83***	0,54**	0,71***	0,00n.s.	0,53**	0,52**	0,10n.s.	0,32(*)
Vegetation / nach Ernte	0,44*	0,46*	0,22n.s.	0,26n.s.	0,70***	n.b.	n.b.	0,48**

n.b. = nicht bestimmt

Nach Komprimierung der N_{\min} -Ergebnisse auf die beiden Hauptfaktoren Düngung und Zwischenfruchtanbau können folgende Erkenntnisse zusammenfassend abgeleitet werden (Tabelle 54). Entsprechend der Zufuhrhöhe wurden die N_{\min} -Werte durch die organische Düngung besonders im Frühjahr um z.T. über 20 kg N/ha angehoben (Stallmist, Gülle). In der Vegetationszeit wurden die Werte nur angehoben, wenn gleichzeitig Zwischenfrüchte angebaut worden sind (besonders Leguminosen). Nach der Ernte waren nur noch geringfügig höhere N_{\min} -Werte durch organische Düngung zu erkennen, besonders zur zweiten Untersuchungsphase.

Tabelle 54: Zusammenfassende Ergebnisse über die Veränderung der N_{\min} -Werte (kg N/ha) im Frühjahr, in der Vegetationsmitte und nach der Ernte im ersten Abschnitt (2001/2002 – 2004/2005) und im zweiten Versuchsabschnitt (2005/2006 – 2008/2009)

Untersuchungsphase:	MW 2002 - 2005			MW 2006 - 2009		
Organische Düngung	Ohne Zwischenfrüchte	Leguminosen	Nicht-leguminosen	Ohne Zwischenfrüchte	Leguminosen	Nicht-leguminosen
N_{\min}-Frühjahr (0 – 90 cm Bodentiefe)						
Ohne organische Düngung	59	70	61	61	76	59
Grüngutkompost	67	81	62	53	71	56
Stallmist	80	77	62	83	83	73
Gülle	87	86	70	79	88	72
N_{\min} Mitte Vegetation (0 – 60 cm Bodentiefe)						
Ohne organische Düngung	61	57	55	45	52	44
Grüngutkompost	52	72	55	52	66	47
Stallmist	62	71	68	45	69	50
Gülle	59	80	66	55	72	49
N_{\min} nach Ernte (0 – 90 cm Bodentiefe)						
Ohne organische Düngung	54	58	54	36	47	36
Grüngutkompost	55	58	54	38	46	41
Stallmist	63	70	60	43	50	55
Gülle	63	69	60	40	45	43

Der Anbau von legumen Zwischenfrüchten hatte einen Anstieg der N_{\min} -Gehalte zwischen 6 – 13 kg N/ha zur Folge, besonders in der Mitte der Vegetationsphase (Tabelle 54). Der Anstieg war umso größer, je geringer die Nährstoffversorgung über die Düngung einzuschätzen war, besonders zum Untersuchungstermin im Frühjahr (hohe N_{\min} -Werte reduzieren die legume N_2 -Bindung). Der Anbau von Nichtleguminosen als Zwischenfrüchte führte im Vergleich zu keinem Anbau in der Regel im zeitigen Frühjahr zunächst zu einer Reduzierung der N_{\min} -Gehalte in den Varianten mit Stalldung- oder Gülle-Zufuhr um ca. 7 kg N/ha, während in der Vegetation und nach der Ernte tendenziell geringfügig höhere Werte zu verzeichnen waren (besonders nach der Ernte in der zweiten Untersuchungsphase, Tabelle 54).

Während die Verhältnisse bei den N_{\min} -Werten des Bodens plausibel sind, lassen sich von diesem Parameter, bis auf das Versuchsjahr 2003/2004, keine direkten Zusammenhänge zum Ertragsgeschehen der Hauptfrüchte feststellen. Lediglich die Varianten, in denen im Jahr 2004 Kartoffeln angebaut worden sind, weisen sowohl zwischen den N_{\min} -Werten im Frühjahr als auch zwischen den während der Vegetation ermittelten Beträgen und den Erträgen positive Korrelationen von $r > 0,50^{**}$ auf (Abbildung 73). Insgesamt liefern die N_{\min} -Gehalte

des Bodens jedoch einen wertvollen Beitrag zur Erklärung der registrierten Ertragsleistungen (siehe nächstes Kapitel).

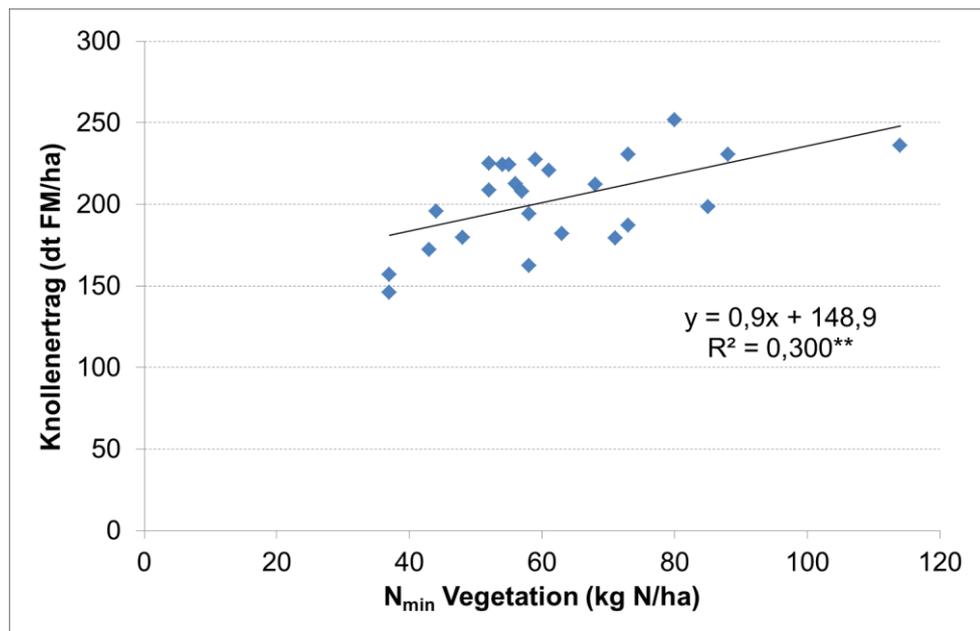


Abbildung 73: Beziehung zwischen dem N_{min}-Gehalt in der Vegetation (0 – 60 cm Bodentiefe) und dem Ertrag an Kartoffeln im Anbaujahr 2003/2004

3.2.3 Erträge der Hauptfrüchte in den einzelnen Untersuchungsjahren

Für die drei angebauten Kulturartengruppen wurden deutlich unterschiedlich hohe Erträge geerntet. In den drei Jahren des Kartoffelbaus wurde nur ein mittleres Ertragsniveau von 150 – 200 dt/ha Frischmasse erreicht. Krankheiten und Schädlinge zur Abreife verhinderten höhere Ernten. Mit dem Einsetzen der Krautfäule konnten dann keine weiteren Assimilate mehr gebildet werden. Dadurch wurde die Ertragsbildung zeitlich eingeschränkt und deutlich begrenzt (Tabelle 55, Tabelle 56, Tabelle 57).

Dennoch reagierte die Kartoffel vorwiegend positiv auf den Stallmist und die durch ihn verabreichten Nährstoffe. Generell unterscheiden sich in allen Jahren die Düngungsvarianten z.T. signifikant voneinander. Hingegen sind gesicherte Unterschiede zwischen den Zwischenfrucht-Varianten nur im Jahr 2003/2004 durch die geringen Erträge in den Varianten mit Weidelgras zu finden. Dies deutete sich bereits im Versuchsjahr 2001/2002 an, konnte aber nicht statistisch gesichert werden.

Abweichend hiervon müssen die Ergebnisse aus den Anbaujahren 2006/2007 betrachtet werden, weil die Düngung und der Zwischenfruchtanbau bereits im Vorjahr erfolgt ist. Dennoch war auch dort der Einfluss der Düngung auf den Ertrag unverkennbar. Die Variante ohne organische Düngung erbrachte die geringsten Erträge. In den Varianten des Grüngutkompostes wurden in diesem Jahr die höchsten Erträge erzielt, die signifikant über denen der Güllevariante und der Variante ohne Düngung lagen (Tabelle 57).

Tabelle 55: Knollenerträge (dt FM/ha) bei Kartoffeln der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2001/2002

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	125,3	142,3	148,3	136,9	119,4	143,7	136,0
Grüngutkompost	134,9	120,2	156,5	124,3	134,1	134,7	134,1
Stallmist	177,6	186,9	190,5	155,4	185,5	160,5	176,1
Gülle	171,6	136,2	145,5	147,0	164,2	151,8	152,7
Mittelwert Zwischenfrucht	152,4	146,4	160,2	140,9	150,8	147,6	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				18,6			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				25,5			
GD 5%; Tukey (AxB)				66,1			

Tabelle 56: Knollenerträge (dt FM/ha) von Kartoffeln der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2003/2004

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	182,0	162,5	187,1	145,9	198,4	179,8	175,9
Grüngutkompost	208,5	212,6	225,0	157,1	230,4	195,7	204,9
Stallmist	230,4	236,2	251,7	179,3	220,9	224,3	223,8
Gülle	207,7	227,4	194,1	172,3	224,4	212,4	206,4
Mittelwert Zwischenfrucht	207,1	209,7	214,5	163,6	218,5	203,1	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				19,4			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				26,5			
GD 5%; Tukey (AxB)				68,9			

Tabelle 57: Knollenerträge (dt FM/ha) bei Kartoffeln der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2006/2007

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	125,0	135,7	96,3	143,6	132,6	147,5	130,1
Grüngutkompost	191,3	183,6	204,3	203,8	165,5	188,9	189,6
Stallmist	186,4	178,3	164,6	153,5	191,6	161,5	172,7
Gülle	175,7	140,9	152,6	137,2	169,1	160,0	155,9
Mittelwert Zwischenfrucht	169,6	159,6	154,4	159,5	164,7	164,5	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				28,5			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				39,1			
GD 5%; Tukey (AxB)				101,5			

Für das Getreide wurden im Versuchszeitraum sehr inhomogene Erträge ermittelt (Tabelle 58, Tabelle 61). Erstaunlich war das Ertragsniveau im Versuchsjahr 2004/2005 bei der Wintergerste. Darüber hinaus wird in den Nachwirkungsjahren ein leicht rückläufiger Ertragstrend sichtbar, der sich auf das Ausbleiben der organischen Düngung zurückführen lässt. Der Winterweizen bzw. die Wintertriticale wurden im zweiten bzw. dritten Jahr nach der letzten organischen Düngung angebaut. Der Einfluss der Düngung führte zu signifikanten Resultaten mit dem höchsten Ertragsgeschehen in allen Jahren in der Variante Stallmist. Ursache hierfür dürfte

im Vergleich zu den anderen Düngungsvarianten die insgesamt z.T. deutlich höhere zugeführte Nährstoffmenge sein.

Auf die Ertragshöhe von Wintergerste und Winterweizen hatte die ein bzw. zwei Jahre zuvor angebaute Weidelgras-Zwischenfrucht einen negativen Einfluss. In dem Jahr der Ausbringung der organischen Dünger konnte festgestellt werden, dass zwischen den Varianten ohne Düngung und mit Grüngutkompost kaum Ertragsunterschiede bestanden, während nach Stallung- und Güllezufuhr höhere Erträge ermittelt werden konnten. Gleiches gilt auch für die Erträge der Wintergerste, die generell ein sehr hohes Ertragsniveau erreichte. Die Düngung wurde zu dieser Kultur ein Jahr vor dem Anbau durchgeführt. Selbst zu den Kornerträgen an Winterweizen konnte diese Tendenz noch erkannt und für den Stallmist statistisch gesichert werden (Tabellen 58 – 61).

Tabelle 58: Kornerträge (dt FM/ha) von Wintertriticale der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2002/2003

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Örettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	49,7	49,1	55,4	52,0	51,2	55,0	52,1
Grüngutkompost	56,6	56,9	57,8	53,5	56,6	51,6	55,5
Stallmist	60,6	65,0	61,0	64,1	64,6	60,1	62,6
Gülle	62,1	61,8	64,1	59,9	64,9	63,3	62,7
Mittelwert Zwischenfrucht	57,3	58,2	59,6	57,4	59,3	57,5	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				5,7			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				7,8			
GD 5%; Tukey (AxB)				20,4			

Tabelle 59: Kornerträge (dt FM/ha) bei Wintergerste der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2004/2005

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Örettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	80,5	80,2	83,2	78,6	82,1	86,2	81,8
Grüngutkompost	84,8	84,1	81,2	73,2	78,5	81,3	80,5
Stallmist	94,2	95,6	92,9	85,6	87,1	94,1	91,6
Gülle	89,7	89,4	87,1	83,7	85,0	90,3	87,6
Mittelwert Zwischenfrucht	87,3	87,3	86,1	80,2	83,2	88,0	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				4,7			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				6,4			
GD 5%; Tukey (AxB)				16,7			

Tabelle 60: Kornerträge (dt FM/ha) von Winterweizen der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2007/2008

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	40,4	41,5	44,4	39,1	43,2	42,6	41,9
Grüngutkompost	41,7	41,9	44,4	39,2	45,6	40,4	42,2
Stallmist	42,8	49,7	47,6	42,6	44,4	47,5	45,8
Gülle	42,2	44,1	42,1	43,7	42,9	43,4	43,1
Mittelwert Zwischenfrucht	41,8	44,3	44,6	41,1	44,0	43,5	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				2,2			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				3,0			
GD 5%; Tukey (AxB)				7,7			

Tabelle 61: Kornerträge (dt FM/ha) von Wintertriticale der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2008/2009

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	32,5	33,9	32,6	32,2	32,4	30,6	32,4
Grüngutkompost	32,7	33,9	34,5	34,7	34,4	33,7	34,0
Stallmist	36,7	39,1	36,9	38,0	35,9	36,5	37,2
Gülle	32,2	33,8	32,8	34,2	33,2	34,9	33,5
Mittelwert Zwischenfrucht	33,5	35,2	34,2	34,8	34,0	33,9	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				1,6			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				2,3			
GD 5%; Tukey (AxB)				5,9			

Der Ertrag an Silomais im Jahr 2006 wurde offenbar neben der Düngung stark von den angebauten Zwischenfrüchten beeinflusst (Tabelle 62). In den Buchweizen- und Ölrettich-Varianten wurden im Herbst 2005 eine sehr hohe Biomasse über alle Düngungsvarianten ausgebildet, die gleichzeitig von allen Varianten die weitesten C:N-Verhältnisse aufwiesen. Der Anbau von Weidelgras zeigte zwar wie bei allen anderen Nichtleguminosen auch negative Auswirkungen auf die Erträge, jedoch waren diese nicht so stark ausgeprägt. Demgegenüber wirkten sich die angebauten legumenes Zwischenfrüchte deutlich positiv aus und führten in fast allen Düngungsvarianten zu einem Ertragsanstieg (Tabelle 62).

Tabelle 62: Silomaiserträge (dt FM/ha) der Prüffaktoren für das Versuchsjahr 2005/2006

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert Düngung
Ohne organische Düngung	347,7	398,4	426,0	405,7	382,3	357,8	386,3
Grüngutkompost	424,0	440,9	470,8	410,3	421,1	389,6	426,1
Stallmist	426,3	510,1	446,9	423,5	414,1	434,6	442,6
Gülle	424,1	451,0	452,8	452,4	427,5	398,5	434,4
Mittelwert Zwischenfrucht	405,5	450,1	449,1	423,0	411,2	395,1	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				22,7			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				31,0			
GD 5%; Tukey (AxB)				80,5			

Werden die Ergebnisse über die Berechnung von Getreideeinheiten (GE) vereinheitlicht, so ergeben sich im Vergleich zu keiner Düngung ähnliche Abstufungen zwischen den Erträgen, die jeweils den positiven Einfluss von Stalldung, Gülle und zum Teil auch von Grüngutkompost erkennen lassen. In Abbildung 74 und Abbildung 75 sind die GE-Erträge in Abhängigkeit von der organischen Düngung zusammengestellt worden (Einzelwerte im Anhang Tabelle A 10 u. Tabelle A 11). Fast in jedem Jahr wiesen die Varianten der organischen Düngung höhere GE-Erträge auf. Es konnte folgende Rangfolge erkannt werden: Stalldung (wegen der hohen Zufuhrmengen) > Gülle > Kompost > Ohne Düngung. Folgende mittleren Werte wurden ermittelt:

- Ohne Düngung 53,0 dt GE/ha = 100 %
- Grüngutkompost 57,4 dt GE/ha = 108 %
- Stalldung 62,3 dt GE/ha = 117 %
- Gülle 59,1 dt GE/ha = 112 %.

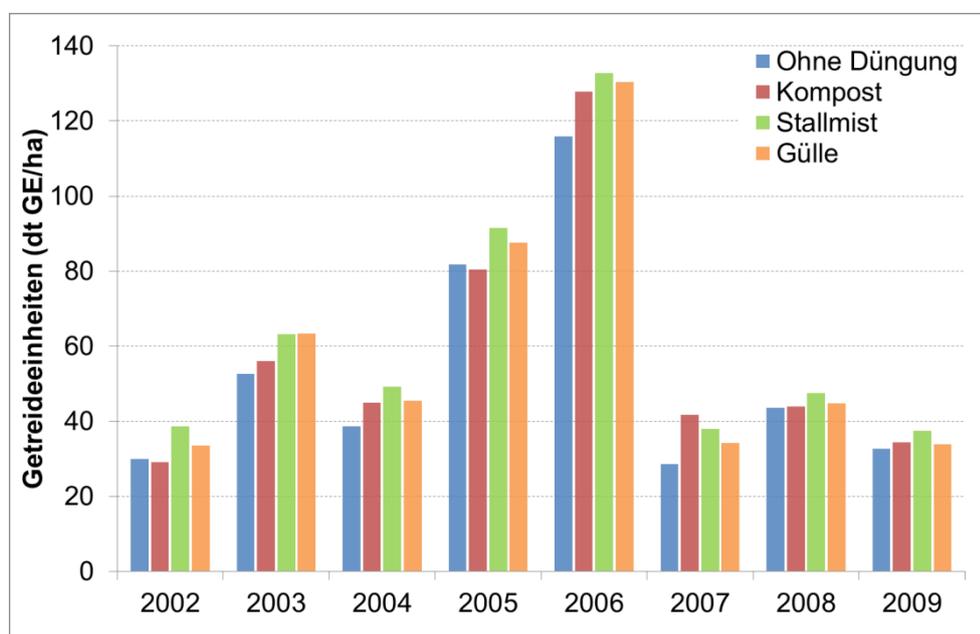


Abbildung 74: Erträge der Hauptfrüchte in Getreideeinheiten der Düngungsvarianten über den Versuchszeitraum

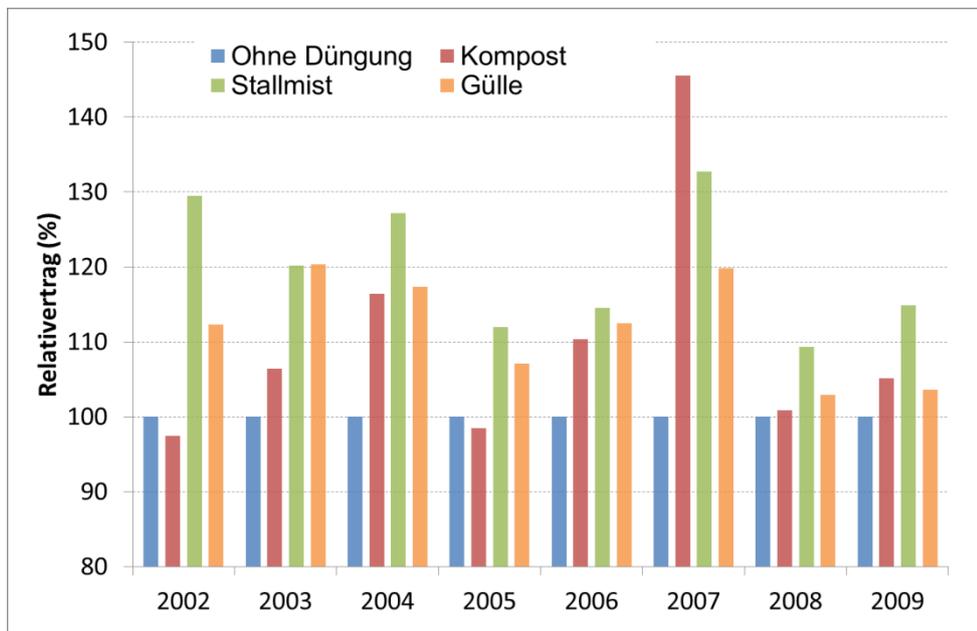


Abbildung 75: Relativerträge der Hauptfrüchte der Düngungsvarianten über den Versuchszeitraum (Varianten ohne Düngung = 100 %)

Diese grundlegende Abstufung setze sich auch in den Jahren der Nachwirkung fort (Tabelle 63). In der ersten Versuchshälfte (2002 – 2005) wurden Düngungsmaßnahmen durchgeführt. Dies führte zu einem Ertragsanstieg im Durchschnitt der vier Anbaujahre von 112,2 % im Vergleich zu keiner Düngung (= 100 %). In der zweiten Versuchshälfte wurde keine Düngung mehr gegeben. Trotzdem war wiederum im Durchschnitt dieser vier Nachwirkungsjahre ein Ertragsanstieg von ebenfalls 112,8 % zu verzeichnen. Offensichtlich wird der starke positive Einfluss der Düngung mit Grüngutkompost bzw. Stallmist. Ein Beleg für die langfristige gute Nachlieferung der Nährstoffe aus diesen organischen Düngern (vgl. Ergebnisse von KOLBE, 2007).

Tabelle 63: Zusammenfassende Ergebnisse an Getreideeinheiten (dt GE/ha) der Hauptfrüchte in den Varianten ohne und mit Düngung in der ersten und zweiten Versuchshälfte (ohne Düngung = 100 %)

Organische Düngung	Erste Versuchshälfte (2002 – 2005)	Zweite Versuchshälfte (2006 – 2009)
Ohne organische Düngung (abs.)	50,8 dt	55,2 dt
Mit organischer Düngung (abs.)	57,0 dt	62,3 dt
Mit organischer Düngung (rel.)	112,2 %	112,8 %

Der Einfluss des Zwischenfruchtanbaus tritt dagegen deutlich zurück (Abbildung 76 u. Abbildung 77). In diesen Darstellungen wurden die entsprechend zusammengefassten Ergebnisse über die GE-Erträge der Hauptfrüchte in Folge des wiederholten Anbaus verschiedener Zwischenfrüchte dargestellt (Einzelwerte im Anhang Tabelle A 10 u. Tabelle A 12). Die Wirkung der Zwischenfrüchte ist auf die GE-Erträge zwar deutlich geringer ausgeprägt. Es sind aber trotzdem einige relativ stetige Wirkungen zu erkennen.

Die legumen Zwischenfrüchte haben die Erträge der Hauptfrüchte meistens positiv beeinflusst, die nicht-legumen Arten dagegen in der Regel etwas negativ. Folgende Rangfolge war zu erkennen (ohne Zwischenfrüchte: 57,6 dt GE/ha = 100 %):

■ Positive Wirkung:	Futtererbse	59,8 dt GE/ha	= 104 %
	Zottelwicke	59,5 dt GE/ha	= 103 %
	Ölrettich	58,0 dt GE/ha	= 101 %
■ Negative Wirkung	Buchweizen	57,2 dt GE/ha	= 99 %
	Weidelgras	55,6 dt GE/ha	= 97 %.

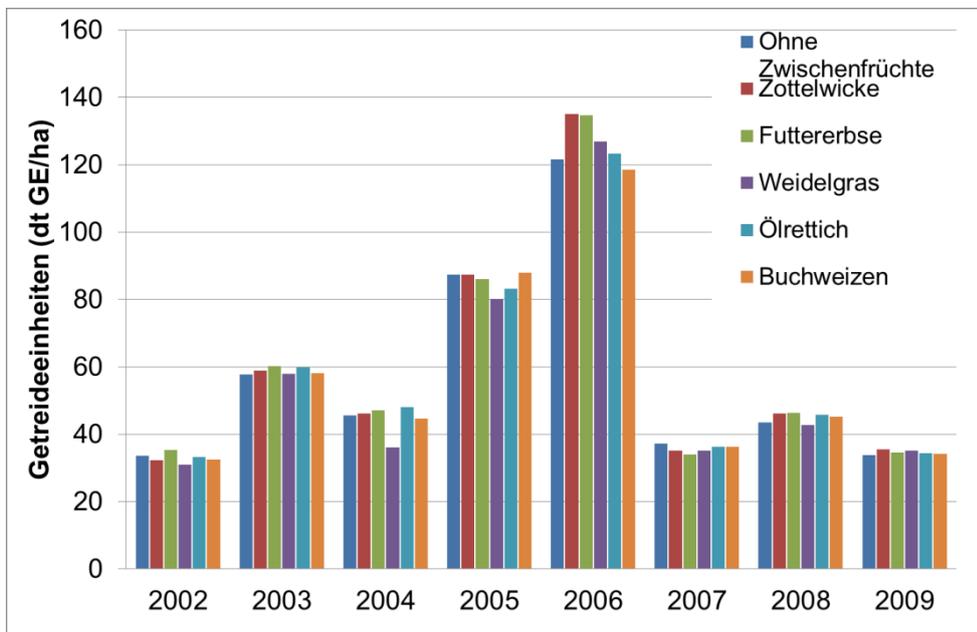


Abbildung 76: Erträge der Hauptfrüchte in Getreideeinheiten der Zwischenfruchtvarianten über den Versuchszeitraum

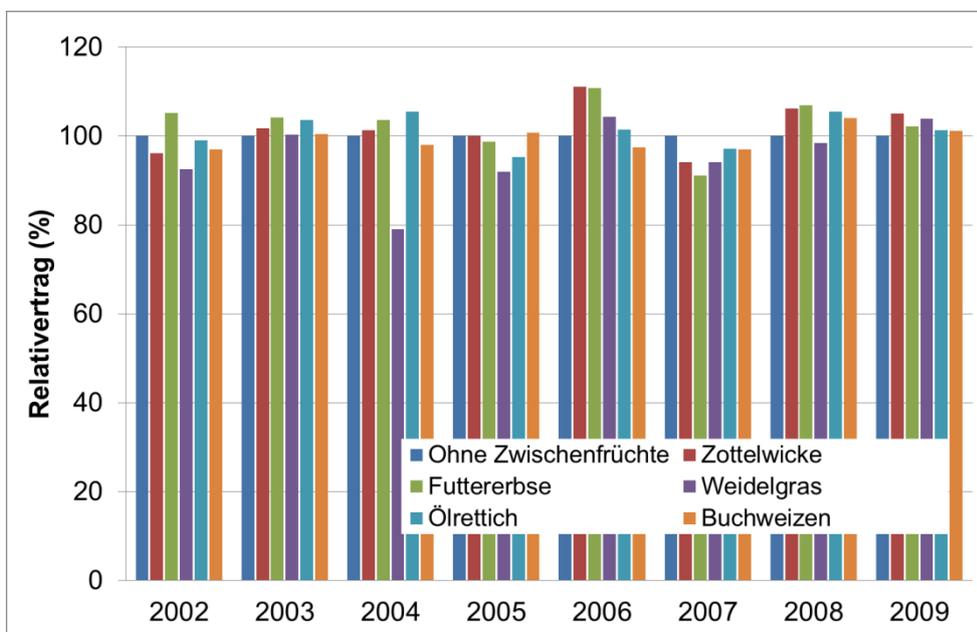


Abbildung 77: Relativerträge der Hauptfrüchte in Abhängigkeit von den angebaute Zwischenfrüchten im Versuchszeitraum (Variante ohne Zwischenfrüchte = 100 %)

Ähnlich den Ergebnissen der organischen Düngung war auch der wiederholte Anbau von Zwischenfrüchten durch eine z.T. deutliche Nachwirkung auf die Erträge der Hauptfrüchte gekennzeichnet, wobei zwischen den Leguminen und nicht-Leguminen Arten zu unterscheiden ist (Tabelle 64). Während in der ersten Versuchshälfte Zwischenfrüchte zum Anbau kamen, war das in der zweiten Hälfte nicht der Fall. Hierdurch wurden die durchschnittlichen GE-Erträge der Hauptfrüchte durch den Anbau von Leguminen Zwischenfrüchten in der ersten Hälfte lediglich um 1 % gegenüber keinem Anbau angehoben. In der Nachwirkungsphase demgegenüber betragen die Mehrerträge jedoch 6 %, obwohl keine Leguminosen mehr zum Anbau kamen.

Bei den Nichtleguminosen waren hingegen in der ersten Versuchshälfte meistens geringere GE-Erträge um 3 % zu verzeichnen. Erst in der Nachwirkungsphase nahmen die Ertragsausfälle ab und es konnte im Durchschnitt in der Tendenz sogar ein leichter Mehrertrag durch den Zwischenfruchtanbau erreicht werden (Tabelle 64).

Tabelle 64: Zusammenfassende Ergebnisse der GE-Erträge (dt/ha) der Hauptfrüchte durch den Zwischenfruchtanbau in der ersten und zweiten Versuchshälfte (ohne Zwischenfrüchte = 100 %)

Zwischenfrüchte	Erste Versuchshälfte (2002 – 2005)	Zweite Versuchshälfte (2006 – 2009)
Ohne Zwischenfrüchte (abs.)	56,1 dt	59,1 dt
Leguminosen (abs.)	56,7 dt	62,7 dt
Leguminosen (rel.)	101 %	106 %
Nichtleguminosen (abs.)	54,4 dt	59,5 dt
Nichtleguminosen (rel.)	97 %	101 %

3.2.4 Nährstoffbilanzen

Die nachfolgend erstellten Ergebnisse zur Nährstoffbilanzierung unterliegen insofern Unsicherheiten, weil die Nährstoffmengen in einigen Jahren nicht genau quantifiziert werden konnten, da nicht in allen Jahren Untersuchungsprotokolle vorlagen, die eine genaue Berechnung erlaubt hätten (siehe Kapitel 2.2). Weiterhin geben die Effizienzberechnungen nur bedingt einen Aufschluss über die Düngewirkung der eingesetzten Nährstoffe, da die Mineralisation der geprüften organischen Dünger und damit die Nachlieferung über viele Jahre hinweg stattfindet und der Untersuchungszeitraum dafür zu kurz war. Bei allen aufgeführten Nährstoffen ist jedoch eindeutig der positive Einfluss der Düngung auf den Entzug und den Saldo der Versuchsvarianten zu erkennen (Tabelle 65, Tabelle 66, Tabelle 67).

Tabelle 65: Zufuhr*, Entzug, Saldo und Ausnutzung an Stickstoff in den Prüfgliedern über den Versuchszeitraum von acht Jahren

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert
N-Zufuhr (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	0	120	97	0	0	0	36
Grüngutkompost	541	656	725	541	541	541	591
Stallmist	816	988	928	816	816	816	863
Gülle	590	715	700	590	590	590	629
N-Entzug (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	599	653	656	599	629	641	630
Grüngutkompost	660	673	699	603	659	629	654
Stallmist	729	796	743	670	707	713	726
Gülle	718	726	702	671	707	708	705
N-Saldo (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	-599	-533	-559	-599	-629	-641	-593
Grüngutkompost	-119	-17	26	-62	-118	-88	-63
Stallmist	87	192	185	146	109	103	137
Gülle	-128	-11	-2	-81	-117	-118	-76
N-Mehrentzug (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	0	0	0
Grüngutkompost	61	19	43	4	30	-12	24
Stallmist	130	143	87	71	78	73	97
Gülle	119	73	46	73	78	67	76
N-Ausnutzung (%)							
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	0	0	0
Grüngutkompost	11	3	6	1	5	-2	4
Stallmist	16	15	9	9	10	9	11
Gülle	20	10	7	12	13	11	12

*N-Zufuhr inklusive legume N-Bindung (siehe Tabellen A2 – A4, Anhang)

Aufgrund des relativ hohen Ertragsniveaus erfolgte eine hohe Nährstoffabfuhr, wodurch lediglich die Stalldungzufuhr in ausreichender Höhe erfolgt ist und zu einem positiven N-Saldo geführt hat (Tabelle 65). Die in dem bisher achtjährigen Untersuchungszyklus erfolgte N-Ausnutzung lag zwischen 4 % beim Grüngutkompost und 12 % bei der Gülle und bewegt sich somit im Rahmen bekannter Faustzahlen (KTBL, 2015).

Tabelle 66: Düngung, Entzug, Saldo und Ausnutzung an Phosphor in den Prüfgliedern über den Versuchszeitraum von acht Jahren

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert
P-Düngung (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	0	0	0
Grüngutkompost	146	146	146	146	146	146	146
Stallmist	285	285	285	285	285	285	285
Gülle	92	92	92	92	92	92	92
P-Entzug (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	106	111	110	105	104	106	107
Grüngutkompost	115	115	117	109	117	115	115
Stallmist	126	134	135	118	127	123	127
Gülle	121	119	117	115	123	122	120
P-Saldo (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	-106	-111	-110	-105	-104	-106	-107
Grüngutkompost	32	32	29	37	30	32	32
Stallmist	159	151	150	167	158	162	158
Gülle	-29	-27	-24	-23	-30	-30	-27
P-Mehrentzug (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	0	0	0
Grüngutkompost	9	4	7	4	13	8	8
Stallmist	20	23	25	13	23	17	20
Gülle	15	8	7	10	19	16	13
P-Ausnutzung (%)							
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	0	0	0
Grüngutkompost	6	3	5	3	9	6	5
Stallmist	7	8	9	4	8	6	7
Gülle	16	9	7	11	20	17	13

Auch bei den Nährstoffen Phosphor und Kalium werden in den gedüngten Varianten z.T. deutlich höhere Nährstoffentzüge realisiert (Tabelle 66, Tabelle 67). Durch die unterschiedlich hohe Zufuhr konnten jedoch nur beim Grüngutkompost und beim Stalldung positive P- und K-Salden und beim Kalium lediglich nach Stalldungzufuhr ein positiver K-Saldo erzielt werden. Die P-Ausnutzung lag zwischen 5 – 13 %, die von Kalium mit 19 – 29 % auf entsprechend höherem Niveau. Da insgesamt eine 70 – 80-prozentige Nährstoffausnutzung erwartet werden kann, ist also noch mit einer langfristig fortgesetzten Nachlieferung zu rechnen (KOLBE, 2000, 2015).

Tabelle 67: Düngung, Entzug, Saldo und Ausnutzung von Kalium in den Prüfgliedern über den Versuchszeitraum von acht Jahren

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert
K-Düngung (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	0	0	0
Grüngutkompost	308	308	308	308	308	308	308
Stallmist	981	981	981	981	981	981	981
Gülle	375	375	375	375	375	375	375
K-Entzug (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	482	489	504	484	516	505	497
Grüngutkompost	559	561	579	516	567	558	557
Stallmist	694	715	715	622	706	688	690
Gülle	622	611	598	583	617	613	607
K-Saldo (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	-482	-489	-504	-484	-516	-505	-497
Grüngutkompost	-251	-253	-271	-208	-259	-250	-249
Stallmist	287	266	266	359	275	293	291
Gülle	-247	-236	-223	-208	-242	-238	-232
K-Mehrentzug (kg/ha)							
Ohne organische Düngung	0	7	22	2	35	23	15
Grüngutkompost	77	72	75	31	50	53	72
Stallmist	212	226	211	137	190	183	193
Gülle	140	122	94	99	100	108	111
K-Ausnutzung (%)							
Ohne organische Düngung	0	0	0	0	0	0	0
Grüngutkompost	25	23	24	10	16	17	19
Stallmist	22	23	21	14	19	19	20
Gülle	37	32	25	26	27	29	29

Die über den Versuchszeitraum ausgebildeten Nährstoffbilanzen nehmen Einfluss auf bestimmte Nährstoffkomponenten im Boden, so dass sich bei einer genügend langen Versuchszeit typische statistische Beziehungen zwischen diesen Komponenten und den Nährstoffsaldo ausbilden können. Eng verbunden sind bei organischer Düngung z.B. die Zufuhr an Trockenmasse und die zugeführten Nährstoffmengen. Als Beispiel kann hierzu der Stickstoff herangezogen werden. So besteht weitgehend unabhängig von der Düngerart auch in diesen Feldversuchen von lediglich 8 Jahren Dauer bereits eine tendenzielle Beziehung zwischen den umgerechneten N-Salden je Jahr (brutto: inkl. 30 kg N/ha u. Jahr N-Deposition; siehe MEYER et al., 2021) und der jährlichen Veränderung der C_{org} -Gehalte des Bodens (Abbildung 78, siehe Tabelle 44 u. Tabelle 65).

Bei weitgehend ausgeglichenen N-Salden kommt es dann auch nicht mehr zu Veränderungen in den C_{org} -Gehalten des Bodens. Im Prinzip fallen bei negativen Salden die C_{org} -Werte ab, bei positiven können die Gehalte mit der Zeit auch ansteigen. Es ist zu erkennen, dass im Durchschnitt bei ähnlich hohen N-Salden die C_{org} -Gehalte nach Kompost- und Stalldungdüngung etwas stärker angehoben worden sind als nach Güllezu-

fuhr. Bei längerer Unterlassung der Düngung können die C_{org} -Werte mit der Zeit abfallen, dann wurden deutlich negative N-Salden vorgefunden.

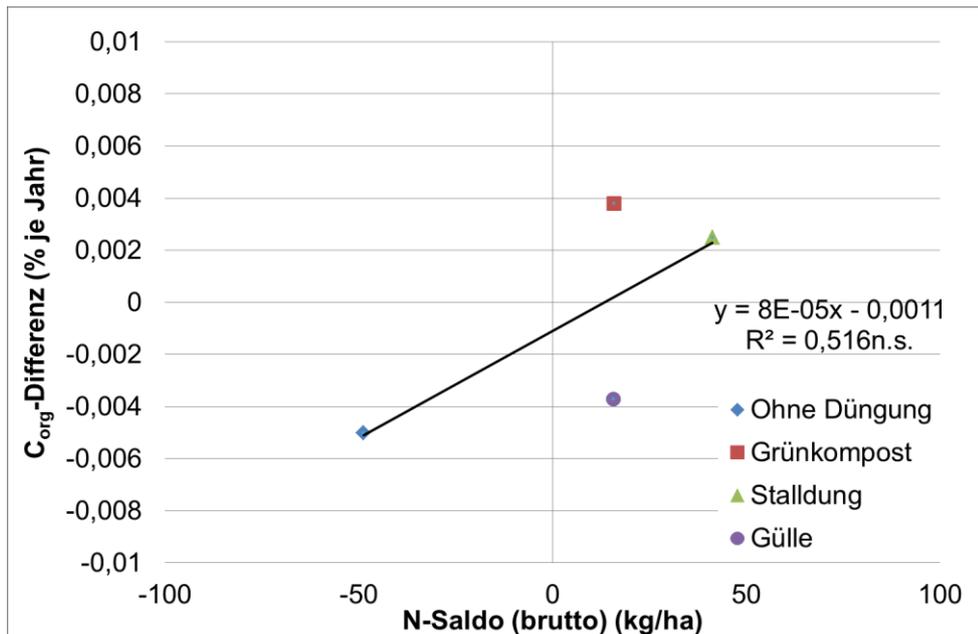


Abbildung 78: Beziehungen zwischen den N-Salden und der jährlichen Veränderung der C_{org} -Gehalte des Bodens in Folge acht Versuchsjahren

Bei den Grundnährstoffen Phosphor und Kalium hat die Versuchszeit bereits ausgereicht um signifikante Beziehungen zwischen den Nährstoffsalden und der Veränderung der CAL-löslichen Nährstoffgehalte des Bodens zu bewirken. In diesen Versuchen sind bei allen Varianten die löslichen P-Gehalte angestiegen. Zwischen den P-Salden und der Veränderung der P-Gehalte des Bodens bestehen positive Beziehungen relativ unabhängig von der Düngerart ($r = 0,91^*$, ohne Darstellung). Auch zwischen den K-Salden und der Bodenveränderung der löslichen K-Gehalte bestehen enge Beziehungen, die nicht von der Düngerart, sondern weitgehend nur von der Höhe der Saldowerte beeinflusst worden sind. Es wird beim Nährstoff Kalium deutlich, dass auf diesem Lehmboden ein Saldo von ca. -20 kg K/ha ausreicht, um ein Gleichgewicht der K-Gehalte aufrecht zu erhalten in dem keine Veränderung der K-Gehalte des Bodens mehr zu beobachten ist (Abbildung 79, sowie Tabelle A 13 u. Tabelle 65).

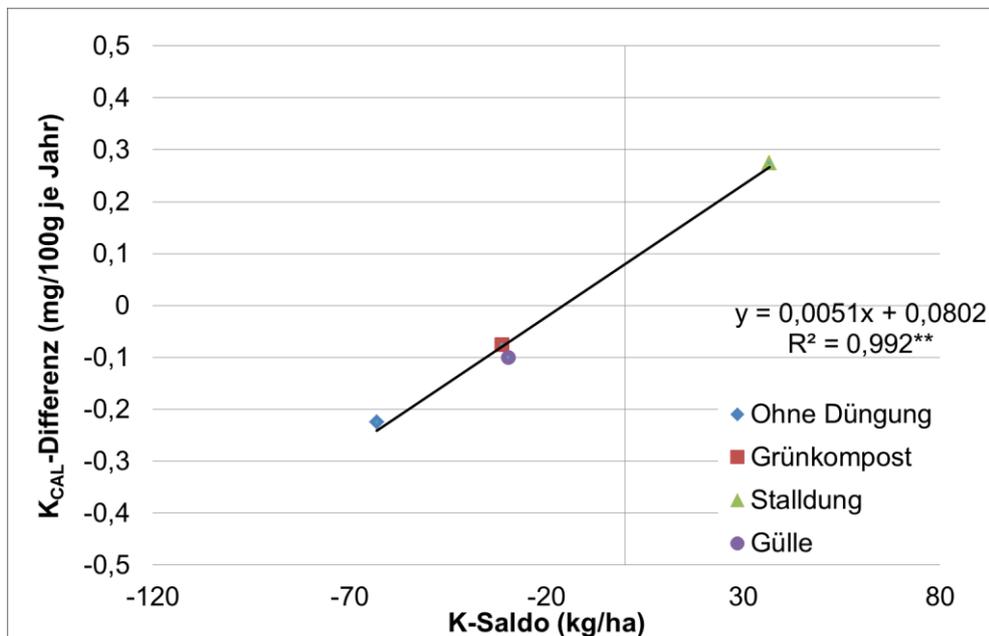


Abbildung 79: Beziehungen zwischen den K-Salden und der jährlichen Veränderung der CAL-löslichen K-Gehalte im Boden

3.2.5 Qualitätsparameter

In allen Untersuchungsjahren konnten in diesen Versuchen für die jeweils als Hauptfrucht angebauten Kartoffeln bei den Parametern Chlorophyll im Blatt, Stärke- und N-Gehalt in den Knollen sowie einigen Pflanzenkrankheiten und Qualitätseigenschaften nur sehr geringe Zusammenhänge zwischen den Prüffaktoren gefunden werden (Tabelle 68, sowie Tabelle A 13 im Anhang).

Tabelle 68: Chlorophyll-, Stärke- und N-Gehalt in den Prüfgliedern über die Versuchsjahre bei den Kartoffeln

	2002		2004		2007		
	Chlorophyllgehalt (Relativwert)	Stärke (% i.d. FM)	N-Gehalt (% i.d. TM)	Chlorophyllgehalt (Relativwert)	N-Gehalt (% i.d. TM)	Stärke (% i.d. FM)	N-Gehalt (% i.d. TM)
Ohne organische Düngung							
Ohne Zwischenfrucht	41,5	15,4	1,9	44,6	1,3	15,1	1,6
Zottelwicke	43,5	14,3	2,0	47,5	1,7	15,7	1,8
Futtererbse	44,4	14,0	2,0	47,0	1,6	15,1	1,8
Weidelgras	44,4	14,4	1,8	44,5	1,4	15,6	1,7
Örettich	42,6	13,4	1,9	47,7	1,5	15,5	1,8
Buchweizen	45,6	14,5	2,0	46,0	1,5	15,1	1,7
Grüngutkompost							
Ohne Zwischenfrucht	45,8	14,1	1,9	45,3	1,3	14,2	1,6
Zottelwicke	46,4	14,4	2,0	46,1	1,5	14,8	1,7
Futtererbse	47,4	14,1	2,0	45,6	1,4	14,5	1,6
Weidelgras	45,9	14,6	1,8	42,6	1,4	15,0	1,7
Örettich	44,8	14,6	1,9	45,8	1,4	15,1	1,7
Buchweizen	46,2	14,4	1,8	44,8	1,4	15,1	1,5
Stallmist							
Ohne Zwischenfrucht	43,4	15,2	2,0	44,0	1,4	15,2	1,7
Zottelwicke	45,4	14,6	2,1	44,2	1,5	15,0	1,7
Futtererbse	41,5	14,5	1,8	42,8	1,3	15,1	1,6
Weidelgras	44,9	14,5	2,0	41,7	1,2	15,0	1,6
Örettich	43,1	14,4	1,8	44,6	1,3	14,8	1,6
Buchweizen	42,9	13,6	2,0	42,3	1,3	14,1	1,6
Gülle							
Ohne Zwischenfrucht	44,2	14,6	1,9	45,2	1,4	13,3	1,8
Zottelwicke	46,3	15,1	2,0	47,5	1,5	13,9	1,8
Futtererbse	46,5	14,5	1,9	45,3	1,5	14,1	1,7
Weidelgras	45,9	14,2	1,9	44,4	1,3	14,6	1,7
Örettich	45,2	14,8	1,9	46,2	1,3	13,5	1,8
Buchweizen	43,9	14,2	1,8	45,8	1,4	14,2	1,7

Das trifft besonders für die erste Versuchshälfte zu, während in der Nachwirkungszeit ein geringer Anstieg des N-Gehaltes und eine Tendenz zu niedrigen Stärkegehalten in den Knollen insbesondere durch fortgesetzte Gülleddüngung bestanden haben. Darüber hinaus wurde im Jahr 2003/2004 ein deutlich positiver Einfluss der Wuchshöhe und des Krautbedeckungsgrades auf den Kartoffelertrag ermittelt. Durch eine steigende Blattmasse wurde anscheinend die Bildung von Kohlenhydraten verbessert, wodurch ein höherer Knollenertrag ausgebildet werden konnte (Abbildung 80, Abbildung 81)

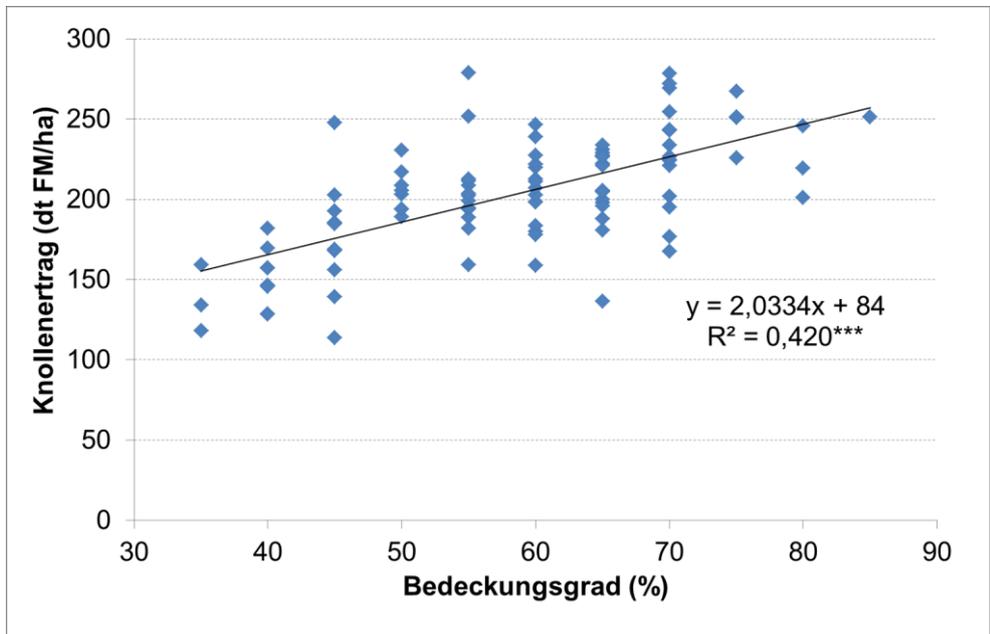


Abbildung 80: Beziehung zwischen dem Bedeckungsgrad und dem Kartoffelertrag im Versuchsjahr 2003/2004

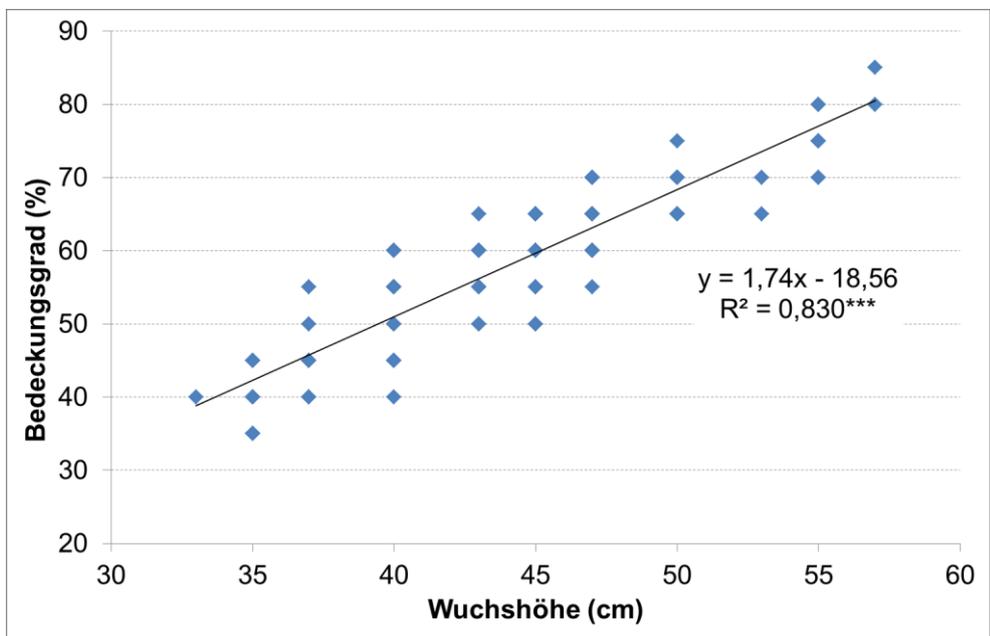


Abbildung 81: Beziehung zwischen der Wuchshöhe und dem Bedeckungsgrad des Kartoffelkrautes im Versuchsjahr 2003/2004

Auch für die untersuchten Getreidearten und den Silomais wurden die jeweils erfassten Ertragskomponenten, Qualitätsparameter und der N-Gehalt im Erntematerial miteinander und mit dem Ertrag verglichen (Tabelle

69). Markante Zusammenhänge ergaben sich in fast allen Jahren unabhängig von der Pflanzenart zwischen dem Ertrag und der Wuchshöhe. Demnach bilden höhere kräftigere Pflanzen einen größeren Ertrag aus (Abbildung 82). Ebenso besteht eine positive Beziehung zwischen der TKM und den Kornerträgen. Tendenziell lässt sich an den Korrelationsbeziehungen weiterhin ablesen, dass die TKM leicht positiv auf die Wuchshöhe reagiert und nicht mit zunehmender Pflanzenzahl je laufenden Meter abgenommen hat (Tabelle 69, Abbildung 83). Weitere Beziehungen lassen sich zwischen den N- und den Stärkegehalten finden, da mit steigendem N-Niveau innerhalb der Pflanze der Stärkegehalt abnimmt. Auch wird der Ertrag in einigen Jahren positiv vom N-Gehalt im Ernteprodukt beeinflusst (Tabelle 69).

Tabelle 69: Korrelationen zwischen einigen Ertragskomponenten und Inhaltsstoffen bei den angebauten Getreidearten und Silomais

Beziehung	2002/2003	2004/2005	2005/2006	2007/2008	2008/2009
	Triticale	Gerste	Silomais	Weizen	Triticale
Ertrag - TKM	0,00n.s.	0,22*	n.b.	0,62*** ¹⁾	n.b.
Ertrag - Chlorophyll	n.b.	0,32**	0,14n.s.	n.b.	0,22*
Ertrag – Ähren/ lfd. m	n.b.	0,22*	n.b.	0,10n.s.	0,14n.s.
Ertrag - Wuchshöhe	n.b.	0,57***	0,45***	0,51***	0,35**
Chlorophyll-Ähren/lfd. m	n.b.	0,00n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
Chlorophyll – Wuchshöhe	n.b.	0,44***	0,32**	n.b.	n.b.
Ähren/m ² - Wuchshöhe	n.b.	0,44***	n.b.	0,37**	0,14n.s.
TKM – Wuchshöhe	n.b.	0,14n.s.	n.b.	0,41* ¹⁾	0,14n.s.
TKM – Ähren/lfd. m	n.b.	0,14n.s.	n.b.	0,22*	0,17(*)
Ertrag - Stärke	0,00n.s. ¹⁾	0,10n.s. ¹⁾	n.b.	0,56** ¹⁾	n.b.
Stärke – N-Gehalt	-0,46* ¹⁾	-0,58** ¹⁾	n.b.	-0,69*** ¹⁾	n.b.
Ertrag – N-Gehalt	0,41* ¹⁾	0,48** ¹⁾	n.b.	0,17n.s. ¹⁾	0,00n.s. ¹⁾

n.b. = nicht bestimmt

1) Korrelationskoeffizient über Mittelwerte der jeweiligen Varianten und deren Wiederholungen gebildet

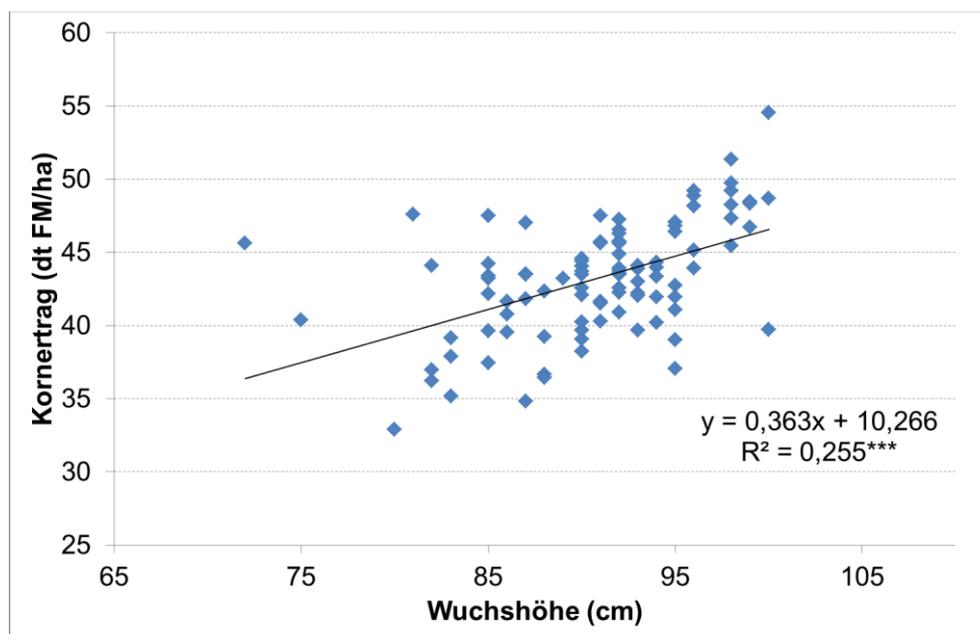


Abbildung 82: Beziehung zwischen dem Kornertrag und der Wuchshöhe bei Winterweizen

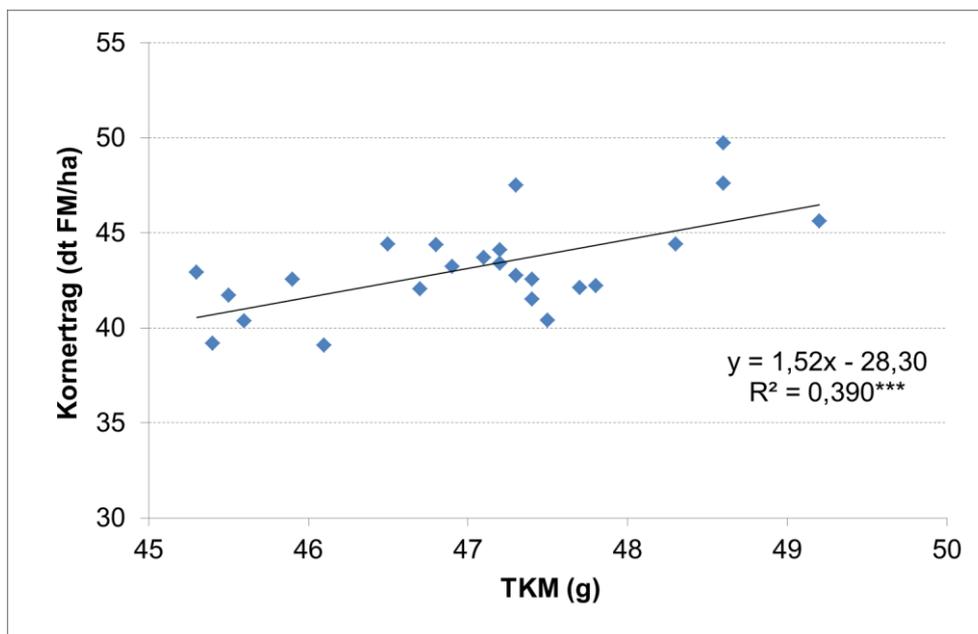


Abbildung 83: Beziehung zwischen dem Kornertrag und der TKM von Winterweizen

Aus den nachfolgenden Anhangstabellen Tabelle A 14 bis Tabelle A 21 kann der positive Einfluss der Düngung und des wiederholten Zwischenfrucht-Anbaus auf die Ertragskomponenten und die Wuchshöhe des Getreides im Detail studiert werden.

3.2.6 Schlussfolgerungen zum Feldversuch

Mit der Feldversuchsreihe Ro24 wurde der Einfluss von unterschiedlichen organischen Düngern in Kombination mit legumen und nicht-legumen Zwischenfrüchten auf die nachfolgenden Hauptfrüchte (Phase 1: 5 Jahre) sowie die langfristige Nachwirkung (Phase 2: 3 Jahre) auf dem Ökofeld Roda in Sachsen geprüft (MEYER et al., 2021). Ein wichtiger Schwerpunkt der Untersuchungen war, wie bereits im Gefäßversuch veranschlagt, inwieweit die einzelnen Zwischenfruchtarten auf die verschiedenen dargebotenen Dünger reagieren und welche Wirkungen in Kombination mit den Düngern auf die nachgebauten Hauptfrüchte eintreten können. Insgesamt gab es drei Versuchsjahre mit dem Anbau von Zwischenfrüchten vor Kartoffeln bzw. vor Mais. Der Anbau der Zwischenfrüchte mit Düngung erfolgte im zweijährigen Turnus. In den dazwischen liegenden Jahren konnte jeweils die Nachwirkung der Maßnahmen geprüft werden. Zum Abschluss der Versuchsserie erfolgte ein nochmaliger dreijähriger Nachbau von Hauptfrüchten ohne Düngung, um die Aussagen zur Nachhaltigkeit der Kombinationen aus organischer Düngung und Zwischenfrüchten zu vertiefen.

Zunächst einige Anmerkungen zum Versuchsverlauf. Da vor der Ausbringung der organischen Dünger deren Nährstoffgehalte nicht bekannt waren, und bei der Festlegung der Düngermenge mit Faustzahlen gearbeitet wurde, kam es abweichend vom Versuchsplan zu unterschiedlichen Aufwandmengen an den einzelnen Nährstoffen, wobei sicher die zugeführte N-Menge von besonderer Relevanz war. Während bei dem Grüngutkompost und der Gülle mit 540 kg bzw. 590 kg N/ha annähernd die gleichen N-Mengen in der Summe der drei Jahre ausgebracht wurden, kamen mit dem Stallmist immerhin 816 kg N/ha zur Anwendung. Diese Unterschiede sind bei der Bewertung der Wirkung der organischen Dünger jeweils in Betracht zu ziehen.

Die Etablierung der Zwischenfrüchte und die gebildeten Biomasseerträge wurden stark von den spezifischen Jahresbedingungen beeinflusst. Insbesondere im Trockenjahr 2003 war die Biomassebildung gering, so dass nur die Parzellen mit Weidelgras, Ölrettich und Zottelwicke geerntet und die gebildete Biomasse bestimmt werden konnte. Die Einarbeitung wurde je nach Jahresbedingungen im Herbst oder aber im Frühjahr (2003/2004) durchgeführt. Für die Aussaat konnten manchmal die für die jeweilige Kultur vorgegebenen Saattermine nicht eingehalten werden. Dadurch ergaben sich sicherlich suboptimale Wachstumsbedingungen vor allem für die Leguminosen und das Weidelgras (SCHLIEPHAKE und ALBERT, 2003; KOLBE et al., 2004). Meistens erfolgte die Aussaat erst Mitte August. Am besten kamen damit der Ölrettich und der Buchweizen zurecht. Insgesamt bildete der Ölrettich in allen Versuchsjahren die höchsten Trockenmasseerträge und das relativ unabhängig von den eingesetzten Düngern und dem verfügbaren Stickstoff.

Im Hinblick auf die legume N-Bindung wurde eine differenzierte Reaktion der Zottelwicke im Vergleich zur angebauten Futtererbse sichtbar. Die N_{\min} -Gehalte im Boden vor und nach Winter weisen darauf hin, dass bei der Futtererbse die N-Bindeleistung stark von der N-Versorgung abhängig war. Die ermittelten N_{\min} -Werte blieben hierdurch relativ homogen und unabhängig von den Düngungsvarianten. Hingegen reduzierte die Zottelwicke im Versuch die N-Bindung nicht so stark, wodurch eine größere Spreizung der N_{\min} -Gehalte des Bodens festgestellt wurde. Betrachtet man die Summe aus dem N_{\min} vor Winter und der N-Aufnahme, so kann festgestellt werden, dass bei der Erbse im ersten Jahr des Zwischenfruchtbaus unabhängig vom Prüffaktor über die Bestimmungsmethode 125 kg N/ha ermittelt wurden.

Bei der Zottelwicke hingegen wurden 105 kg bzw. 175 kg N/ha für die Variante ohne Düngung bzw. mit Gülle festgestellt. Vergleicht man diese Werte mit den Varianten ohne Zwischenfruchtanbau, so ergeben sich ein um ca. 50 kg N/ha höherer Stickstoffgehalt in der Variante ohne Düngung und ein um ca. 30 kg N/ha höherer Stickstoffgehalt mit Gülldüngung im Prüfglied der Zottelwicke. Bei der Erbse konnte in der Variante mit Güllagebe keine zusätzliche N-Fixierung über diese Methode bestimmt werden. Somit kann sich die legume N-Bindung je nach Pflanzenart bei gegebenem N-Angebot unterschiedlich stark reduziert haben. Die allgemeine Reduktion der legumen N-Bindung durch eine höhere N-Bereitstellung im Boden wurde von mehreren Autoren beschrieben (siehe u.a. MÜLLER und THORUP-KRISTENSEN, 2001; MÖLLER und REENTS, 2009).

Das Weidelgras reagierte sehr stark auf die über die Düngung bzw. den Boden angebotene N-Menge. Vergleicht man die N_{\min} -Mengen vor Winter der Variante ohne Zwischenfrucht mit denen des Weidelgrases, so richtet sich der Biomasseaufwuchs stark nach dem N_{\min} -Angebot und letztendlich nach der durch die Düngung verabreichten Menge an Stickstoff. Offensichtlich besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem N_{\min} -Gehalt ohne Zwischenfrucht und der Summe aus N-Aufnahme und N_{\min} -Gehalt des Weidelgrases über die Düngerarten. Diese Beziehung ließ sich jedoch weder für den Buchweizen noch für den Ölrettich finden. Erstaunlicherweise nahm der Ölrettich unabhängig von der Düngung sehr viel Stickstoff auf und hinterließ vor Winter geringe N_{\min} -Restmengen im Boden. Der Buchweizen reagierte mit einer differenzierten Substanzbildung stärker auf die organische Düngung. Diese Arten zeichnen sich also durch eine gute Nährstoffkonservierung aus.

Dabei differenzierten sich die Rest- N_{\min} -Mengen vor Winter auch in Abhängigkeit von der Düngung bei Buchweizen. Die höchsten N_{\min} -Mengen hinterließen die Leguminosen. Anders als in Untersuchungen von MÖLLER und REENTS (2009) sowie SCHLIEßER et al. (2010) konnten erhebliche N_{\min} -Restmengen in Höhe von bis zu 115 kg N/ha in 0 – 60 cm Tiefe gefunden werden, wodurch die Gefahr von N-Verlusten durch Auswaschung zu dem Zeitpunkt der Untersuchung gegeben war. Die geringsten N_{\min} -Gehalte im Boden hinterließ der Ölrettich mit ca. 20 – 50 kg N/ha. Beim Weidelgras hingegen trat in den Jahren eine stärkere Spreizung der Werte

auf, wodurch sichtbar wurde, dass die Kultur aufgrund der langsamen vegetativen Entwicklung den dargebotenen Stickstoff nicht in gleicher Effizienz verwerten konnte.

Der Einarbeitungszeitpunkt spielt eine wesentliche Rolle bei der nachfolgenden Mineralisation der durch die Zwischenfrüchte aufgenommenen N-Menge. Ergebnisse von MÖLLER et al. (2007) konnten durch die differenzierten Umbruchstermine der Zwischenfrüchte vor bzw. nach Winter in den Jahren 2001/2002 bzw. 2003/2004 bestätigt werden. Durch die Einarbeitung der Zwischenfrüchte im Frühjahr 2004 erhöhten sich die N_{\min} -Gehalte im Vergleich zum Termin vor Winter nur unwesentlich. Im ersten Anbaujahr der Zwischenfrüchte kam es gerade bei dem Ölrettich, der Zottelwicke und der Futtererbse zu einer hohen Zunahme der N_{\min} -Gehalte. Bei den Leguminosen erhöhten sich die N_{\min} -Werte deutlich über die aufgenommenen N-Mengen hinaus. Beim Ölrettich erhöhte sich der N_{\min} -Gehalt über Winter um etwa 70 % des in der Biomasse im Herbst eingebundenen Stickstoffs, wodurch ebenfalls Ergebnisse aus den Feldversuchen von SCHLIEßER et al. (2010) bestätigt werden konnten.

Dieses Verhalten ist sicherlich durch die unterschiedlichen C:N-Verhältnisse der Zwischenfrüchte begründet. Über alle Zwischenfrüchte und Versuchsjahre hinweg konnte ein sehr enger Zusammenhang zwischen den C:N-Verhältnissen und den N-Gehalten der Arten bestimmt werden. Es zeigte sich, dass bereits über den N-Gehalt ein Rückschluss auf das C:N-Verhältnis gezogen werden kann. Generell reagierten die Nichtleguminosen Weidelgras und Buchweizen durch die Stickstoffdüngung mit einer Abnahme der C:N-Verhältnisse. Meistens waren die Werte bei der eingesetzten Gülle am geringsten, wodurch die höhere N-Verfügbarkeit aus diesem Dünger offensichtlich wird. Jedoch wurden sie auch maßgeblich von den Jahres- und anderen Bedingungen beeinflusst.

Für den Ölrettich zeigte sich in den Anbaujahren 2001 und 2003 ein durchschnittliches Verhältnis von 10,5:1. Im Anbaujahr 2005 betrug es hingegen 21,6:1. Parallel hiermit waren eine sehr gute Pflanzenentwicklung und die höchste gebildete Trockenmasse, aber nicht die höchste N-Aufnahme, verbunden. Daher war sicherlich das N-Angebot im Boden auch nach dem zuvor erzielten sehr hohen Ertrag der Nachfrucht Gerste stark reduziert, wodurch der Nährstoff den Pflanzen der Nachfrucht nicht mehr ausreichend zur Verfügung stand. Gleiches konnte im selben Jahr auch für den Buchweizen konstatiert werden, der ebenfalls den höchsten Trockenmasseertrag im Versuchszeitraum erzielte und gleichfalls ein sehr weites C:N Verhältnis aufwies. Bei den Leguminosen veränderte sich das C:N Verhältnis durch die legume N-Fixierung nur geringfügig und blieb trotz hoher Biomassebildung auf einem Niveau zwischen 10:1 – 12:1.

Für die Bewahrung des Reststickstoffs im Herbst ist der Anbau von Untersaaten oder Zwischenfrüchten ein bewährtes Mittel. Bei Nutzung von Leguminosen ergeben sich zwar gute Nachwirkungen für die folgende Frucht. Bei zeitlich sehr früher Mineralisation ist im Freiland aber auch die Gefahr von N-Austrägen groß. Als gangbare Alternativen werden von FRIEDEL et al. (2006) sowie MÖLLER und REENTS (2009) Gemische von Leguminosen und Nicht-Leguminosen empfohlen, um damit die schnelle Freisetzung des Stickstoffs aus den stickstoffreichen Leguminosen auszugleichen.

Die beschriebenen Trockenmassen und C:N-Verhältnisse der Zwischenfrüchte hatten in mehreren Jahren einen Einfluss auf das Ertragsgeschehen der Nachfrüchte. Statistisch gesicherte Zusammenhänge konnten z.B. für das erste und zweite Anbaujahr der Zwischenfrüchte bei den nachgebauten Kartoffeln festgestellt werden. Das Weidelgras beeinflusste das Ertragsniveau dagegen negativ. Vor allem im Versuchsjahr 2003/2004, in dem trockenheitsbedingt der Umbruch der Zwischenfrüchte erst im Frühjahr erfolgte, wurde ein um ca. 50 dt/ha niedrigerer Frischmasseertrag gegenüber den anderen Varianten erzielt. Neben den erwähnten C:N-Verhältnissen, wird sicherlich die N-Immobilisation im Frühjahr durch Umsetzungsprozesse der ein-

gearbeiteten kohlenstoffreichen und stickstoffarmen Ernte- und Wurzelreste der Zwischenfrüchte ein Grund hierfür gewesen sein.

Interessanterweise hatte das Weidelgras jedoch keinen negativen Effekt auf den Silomaissertrag. Im Vergleich zur Kartoffel setzt die Hauptstickstoffaufnahme beim Silomais später in der Vegetationsperiode ein, wodurch die Ernte- und Wurzelrückstände bis dahin offenbar bereits mineralisiert werden konnten. Allerdings führten die durchschnittlich sehr hohen Aufwuchsmengen des Buchweizens und des Ölrettichs von ca. 37,5 dt TM/ha und das weite C:N Verhältnis von 20:1 bzw. 25:1 zu einem signifikant geringeren Maisertrag in diesen Zwischenfruchtvarianten. Demgegenüber verbesserte der legume Zwischenfruchtanbau zu Mais das Ertragspotenzial durch eine höhere N-Nachlieferung im Vergleich zu allen anderen Varianten.

Der Anbau von Mais wies in den Untersuchungen eine hohe Pflanzengesundheit auf. Einmal etabliert reagierte die Kulturart dann deutlich auf Unterschiede im Wasser- und Nährstoffangebot und war somit eine ideale Pflanze, um Differenzen hinsichtlich der Nährstoffversorgung zu analysieren. Im Vergleich hierzu war beim Anbau von Kartoffeln zu beobachten, dass die Krautbestände mit Einsetzen der Phytophthora schnell zusammengebrochen waren, wodurch oft relativ früh die Bildung von Assimilaten unterbunden worden ist. Hierdurch kam es nicht zu einer deutlichen Differenzierung im Ertragsgeschehen. Dadurch können die geringen Kartoffelerträge im Bereich von etwa 150 – 200 dt/ha erklärt werden.

In Bezug auf die Varianten der organischen Düngung konnten in allen Untersuchungsjahren signifikante Ertragsunterschiede ermittelt werden. Vor allem der Stallmist war durch einen deutlichen Ertragseffekt gekennzeichnet. Im Vergleich zu keiner Düngung wurden auch durch Gülle- und Kompostdüngung höhere Erträge bei den Nachfrüchten erzielt, diese blieben aber bis auf eine Ausnahme unter dem Ertragsniveau des Stallmists. Die Getreidearten reagierten in der ersten Versuchshälfte vor allem positiv auf die Düngung mit Stallmist und Gülle und weniger auf die mit Kompost. Offensichtlich ist hierfür die bessere direkte N-Verfügbarkeit aus den beiden Düngern im Vergleich zum Kompost verantwortlich. Werden die Differenzen in den N-Applikationsmengen berücksichtigt, so konnte eine höhere N-Ausnutzung in den Güllevarianten im Vergleich zu den Stallmistvarianten in den ersten Jahren berechnet werden. MAYER et al. (2011) konnten in Modellversuchen aufzeigen, dass bei Grüngutkomposten der überwiegende Anteil des Stickstoffs zunächst in den stabilen N-Pool des Bodens übergeht und deshalb langfristige Nachwirkungen zu erwarten sind.

So stieg im Verlauf der Versuchsjahre das Ertragsniveau besonders der Kompost-, aber auch der Stalldüngvarianten im Vergleich zur Nullvariante durch die einsetzende Nährstoffnachlieferung der applizierten Dünger an. Bis in das letzte Jahr der zweiten Versuchshälfte, in dem Getreide angebaut worden ist, wurde durch die erhöhte Nährstoffnachlieferung in den gedüngten Varianten das Ertragsniveau besonders durch die festen organischen Dünger angehoben.

Das absolute Ausmaß des Ertragsanstiegs der Stallmistvariante beruhte auf dem insgesamt größeren Nährstoffangebot und die langanhaltende Mineralisierung, was auf die beschriebenen unterschiedlich hohen applizierten Düngermengen zurückgeführt werden konnte. So wurden mit dem Stallmist z.B. auch große Mengen an Kalium in den jeweiligen Versuchspartellen ausgebracht. Nach der Applikation wurde das Kalium schnell pflanzenverfügbar und führte im Versuch zu einer deutlichen Erhöhung des CAL-löslichen Kaliums im Boden und es wurde ein mehr direkter Bezug zwischen K-Versorgung und dem K-Entzug ermittelt.

Beim Phosphor hingegen konnte dieser direkte Zusammenhang zwischen Düngung und Entzug nicht konstatiert werden. Zumeist als Phytin in der organischen Fraktion gebunden, findet der P-Freisetzungsprozess ähnlich dem des Stickstoffs über einen längeren Zeitraum im Rahmen des Humusumsatzes statt, wodurch das

CAL-lösliche Phosphat entsprechend der unterschiedlichen P-Düngermengen langsamer anstieg und somit keinen direkten Rückschluss auf das Düngungsniveau und den Entzug zuließ. Trotzdem bestanden zwischen der Veränderung der Nährstoffgehalte im Boden und den Nährstoff-Salden an Stickstoff, Phosphor und Kalium typische, meistens enge positive statistische Beziehungen.

Des Weiteren hatten die angebauten Zwischenfrüchte, anders als von MÖLLER und REETS (2009) beobachtet, keinen direkten Einfluss auf den P-Entzug. Jahresbedingt schwankten auch die P-Gehalte bei der Zottelwicke, so dass im zweiten Anbaujahr diese sogar unter denen des Örettichs lagen. Für viele analysierte Parameter konnten auch im Bereich der Zwischenfrüchte statistisch gesicherte Differenzen beobachtet werden.

Eine Zusammenfassung der Relativerträge über den Versuchszeitraum von acht Jahren verdeutlicht sehr gut den Einfluss der untersuchten Einflussfaktoren (Tabelle 70). Ohne Düngung erbringen die Zwischenfrüchte im Mittel des Versuchszeitraums einen Ertragsanstieg um 4 – 5 %, der Unterschied zwischen den legumen und nicht-legumen Arten (mit Ausnahme von Weidelgras) blieb gering. Komposteinsatz bringt einen Ertragsanstieg ohne Zwischenfruchtanbau im Durchschnitt der Jahre um 15 %. In Kombination mit dem Anbau der legumen Zwischenfrüchte steigt diese Ertragsdifferenz noch weiter an.

Die Anwendung von Stallmist führte im Durchschnitt der Jahre zu den höchsten Relativerträgen, die sich in Kombination mit Leguminosen noch deutlich erhöhten. Werden Nichtleguminosen als Zwischenfrüchte angebaut, so ist zunächst in den ersten Versuchsjahren sogar ein leichter Rückgang der Relativerträge unter den Wert des Prüfgliedes ohne Zwischenfrüchte zu beobachten, was besonders für Arten mit weiten C:N-Verhältnissen zutrifft (Weidelgras, Buchweizen).

Tabelle 70: Zusammenfassende Ergebnisse über die Relativerträge der Hauptfrüchte in Abhängigkeit von Düngung und Zwischenfruchtanbau im Mittel der Jahre (Kombination der Varianten ohne Düngung u. ohne Zwischenfruchtanbau = 100 %)

Düngung	Mittlerer Relativertrag über die Jahre (in %)		
	Ohne Zwischenfrucht	Leguminosen	Nichtleguminosen
Ohne Düngung	100	105	104
Grüngutkompost	115	118	111
Stallmist	125	130	121
Gülle	119	115	116

Gülledüngung im Herbst führt auf diesem Standort im Durchschnitt der Jahre auch ohne Zwischenfrüchte zu einem höheren Relativertrag als nach Kompostdüngung, bleibt aber hinter dem Stallmist zurück. Eine Ursache hierfür ist sicherlich die insgesamt im verfolgten Zeitraum vergleichsweise höhere Zufuhr an Stalldung. Gülleinsatz zum Anbau eines reinen Leguminosenbestandes erweist sich nicht als optimale Lösung. Zwar liegt der Relativertrag im Mittel der acht Jahre um ungefähr 10 % über den entsprechenden Werten ohne Düngung, bleibt aber im Bereich der legumen und nicht-legumen Arten unterhalb der Beträge ohne einen Anbau von Zwischenfrüchten.

Die Ergebnisse des Prüfgliedes mit Gülle sind ein typisches Resultat für tiefgründige niederschlagsarme Standorte. Unter praktischen Bedingungen wäre sicher die Kombination Zwischenfrucht im Herbst und Einsatz des flüssigen Düngers direkt zur nachgebauten Hauptfrucht im Frühjahr die optimale Variante, während beim Einsatz von Kompost und Stallmist die Ausbringung im Sommer zum Anbau einer Zwischenfrucht als günsti-

gere Vorgehensweise angesehen werden kann. Da die N-Verfügbarkeit des Grüngutkompostes sehr niedrig ist, kann hierzu in jedem Fall zur N-Anreicherung der zusätzliche Anbau von Leguminosen empfohlen werden.

Im Vergleich zu dem ungedüngten Prüfglied ohne Zwischenfrüchte lassen sich auch über die Relativerträge Tendenzen im Hinblick auf die Nachwirkung ablesen, diese war in Abhängigkeit von der Düngung und der Zwischenfruchtart in der ersten Versuchsphase geringer als in der zweiten Phase. In Folge der erhöhten Nährstofffreisetzung durch den Humusumsatz waren Vorteile durch wiederholten Komposteinsatz und Anbau von nicht-legumen Zwischenfrüchten zu erkennen, so dass die Ertragsabstände der nachgebauten Hauptfrüchte sich im Vergleich zu den anderen geprüften Varianten mit der Zeit verringert haben.

Im Durchschnitt der Zwischenfrucht-Varianten können die Nachwirkung der geprüften Düngemittel im Verlauf der Versuchszeit genau nachvollzogen werden (Abbildung 84). Im Vergleich zur Variante ohne Düngung (= 100 %) steigt die Wirkung der Kompostanwendungen von anfangs 104 % auf 115 % am Ende der 2. Versuchsphase kontinuierlich an. Stallmist wurde in deutlich höheren Mengen verabreicht, so dass ein direkter Vergleich erschwert ist. Eine mittlere Nachwirkung ist aber auch für diesen organischen Dünger zu erkennen. Bei der Gülle ist eine relativ hohe direkte Wirkung am Beginn der ersten Versuchsphase festzustellen. Bei Daueranwendung ist aber mit der Zeit eine abnehmende Nachwirkung verbunden, so dass die durchschnittliche Ertragsleistung bis zum Ende der 2. Versuchsphase sogar unter die von Stallmist und Grüngutkompost abfällt (Abbildung 84).

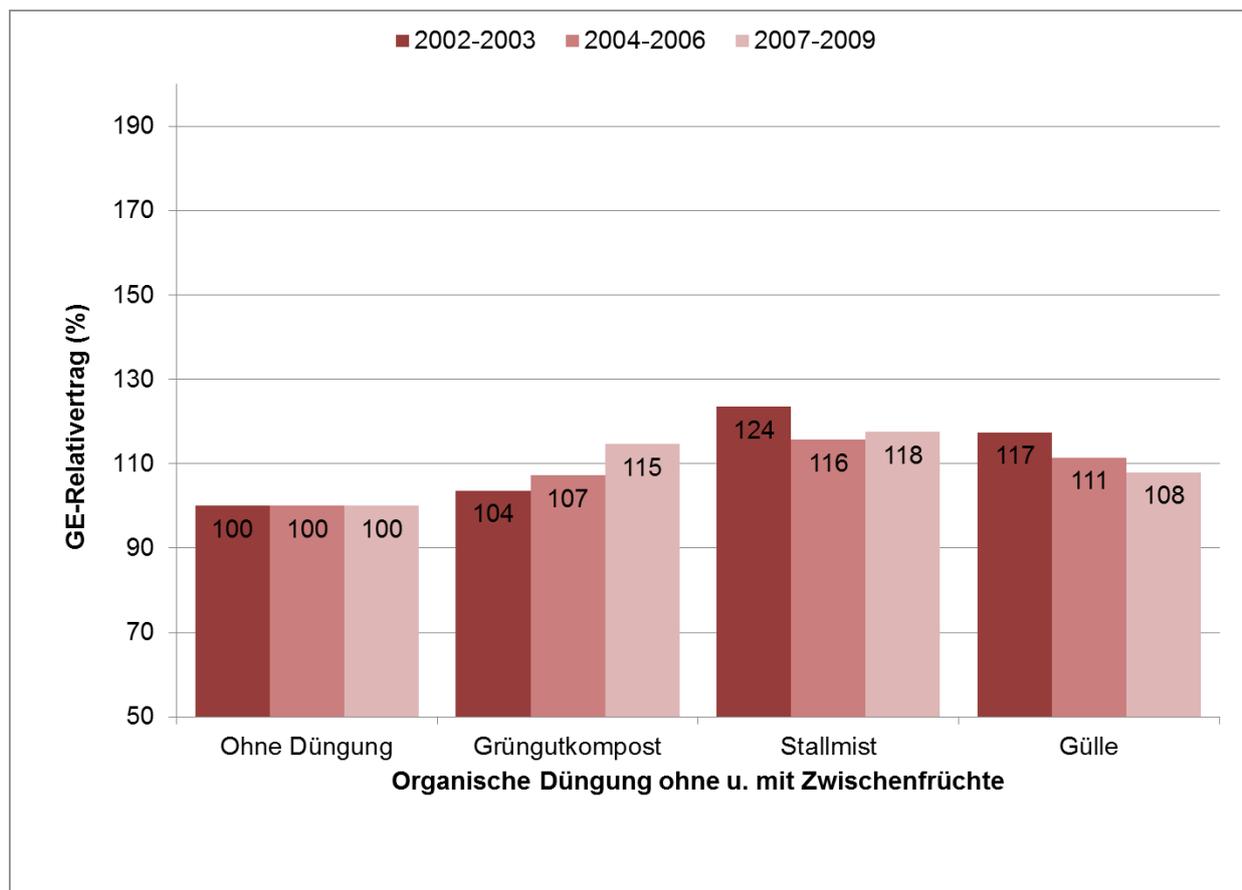


Abbildung 84: Relative Veränderung der GE-Erträge der Hauptfrüchte im Versuchsverlauf durch wiederholte Applikation organischer Düngemittel im Durchschnitt der Zwischenfrucht-Varianten im Feldversuch (Variante ohne Düngung = 100 %)

4 Fazit

Zur Ermittlung der mehrjährigen Nachwirkung von organischen Düngemitteln (Kompost, Stalldung, Gülle) und des Anbaus von legumen und nicht-legumen Zwischenfrüchten auf die Nachfrüchte (Kartoffeln, Getreidearten, Mais) wurden ein 3-jähriger Gefäßversuch und ein 8-jähriger Feldversuch (5 Jahre Anbau von Zwischenfrüchten und Düngung, 3 Nachwirkungsjahre) durchgeführt. Sowohl im Gefäßversuch als auch unter den Feldbedingungen hatten die eingesetzten organischen Dünger einen deutlichen Einfluss auf die Biomassebildung der angebauten Zwischenfrüchte. Bei vergleichbarem N-Einsatz auf Basis des Gesamtstickstoffs profitierten im Gefäßversuch die nicht-legumen Zwischenfrüchte deutlich vom Einsatz der Gülle wegen des hohen Anteils an sofort pflanzenverfügbarem Stickstoff.

Auch bei Anbau der Zottelwicke konnte im Durchschnitt der drei Versuchsjahre eine sehr hohe Biomassebildung beobachtet werden. Hinsichtlich der Wirkung auf die Aufwuchsmengen der Zwischenfrüchte ergab sich folgende Rangfolge: Gülle > Stallmist > Grüngutkompost > ohne Düngung. In dieser Abfolge war dann auch die Wirkung auf die nachfolgenden Hauptfrüchte einzuschätzen. Die absolute Ertragshöhe wurde allerdings von den angebauten Zwischenfrüchten bestimmt.

Da die Bedingungen in den Gefäßen, mit dem durch Quarzsand verdünnten Boden und dem begrenzten Wurzelraum, eher einem nachlieferungsschwachen flachgründigen Standort entsprachen, ist es nicht verwunderlich, dass der Anbau einer Leguminose von besonderem Vorteil war und hier die höchsten Erträge bei den nachfolgenden Hauptfrüchten erzielt wurden. Deutlich wurde auch, dass im Vergleich hierzu die Erträge nach den nicht-legumen Zwischenfrüchten abfielen. Sie lagen am Versuchsanfang jeweils noch deutlich unter den Beträgen des Prüfgliedes ohne Zwischenfruchtanbau.

Der Minderertrag wurde im Wesentlichen von der gebildeten Biomasse bestimmt. Dabei zeigte sich, dass der Buchweizen in allen Jahren die größten Biomasseerträge erzielte. Die nachfolgenden Früchte reagierten allerdings dann auch mit entsprechenden Mindererträgen. Gleiches galt für das Weidelgras. Bei guter Bestandausbildung im ersten Jahr waren bei den nachfolgenden Hauptfrüchten dann niedrigere TM-Erträge der Nachfrüchte erzielt worden. Bei verhaltenem Wachstum mit geringer Frischmassebildung zeigte sich im dritten Versuchsjahr ein Anstieg des Ertragsniveaus, so dass eine ähnliche differenzierende Ertragswirkung zu beobachten war wie bei unterlassenem Zwischenfruchtanbau.

Im Freilandversuch im Feld traten negative Ertragseffekte auf die Hauptkulturen insbesondere durch die Weidelgras-Zwischenfrucht auf. Im ersten und dritten Anbaujahr hingegen wirkten sich die Zwischenfrucht-Leguminosen vor allem in der ungedüngten Variante tendenziell positiv auf den Ertrag der Nachfrüchte aus. In der Güllevariante hingegen waren die Ertragseffekte der Zottelwicke wahrscheinlich durch eine geringere legume N-Bindung aufgrund des pflanzenverfügbaren Stickstoffs aus der Gülle eher geringer. Der Ölrettich und der Buchweizen hatten im Vergleich zur Variante ohne Zwischenfruchtanbau einen geringen Einfluss auf das Ertragsgeschehen der nachgebauten Hauptfrüchte.

Generell war die Vorzüglichkeit des Zwischenfruchtanbaus mit Leguminosen vor allem zu Silomais gegeben. Mit dem Anbau von Silomais war eine hohe Nährstoffaufnahme bis zur Abreife gewährleistet und Unterschiede hinsichtlich der Nährstoffbereitstellungen aus dem Boden beeinflussten das Ertragsgeschehen deutlich. Im Kartoffelanbau konnte hingegen oft beobachtet werden, dass mit dem Einsetzen der *Phytophthora infestans* das Absterben des Kartoffelkrauts und damit das Ende einer weiteren Assimilat- und Ertragsbildung der Knollen beginnt. Dies hatte letztendlich auch einen Einfluss auf die im Freilandversuch konstatierten Ergebnisse

zum Zwischenfruchtanbau, wodurch ein stark begrenzender Einfluss auf das Kartoffelwachstum ausgeübt worden ist.

Den größten Effekt auf das Ertragsgeschehen hatten in allen Jahren jedoch die organischen Dünger. Vorteilhaft wirkte sich vor allem der Einsatz von Stallmist aus. Selbst im letzten Versuchsjahr, vier Jahre nach der letzten organischen Düngung, konnte durch eine höhere Nährstoffnachlieferung in den Stallmistvarianten noch ein gesicherter Einfluss auf den Kornertrag von Wintertriticale festgestellt werden. Jedoch ist zu bedenken, dass mit dem Stallmist höhere absolute Nährstoffmengen im Vergleich zu den anderen Prüfgliedern appliziert worden sind. Dies hat eine genaue Abschätzung der Wirkung der organischen Dünger erschwert. Es wird jedoch offensichtlich, dass besonders der Kompost und auch die Gülle die Nährstoffaufnahme im Versuch im Laufe der Zeit erhöht haben und somit auch zu einer verbesserten Pflanzenversorgung in der zweiten Versuchsphase beigetragen haben.

Ein Einfluss der organischen Düngung und des Zwischenfruchtanbaus auf den N_T - und C_T -Gehalt des Bodens war nur sehr schwach ausgeprägt. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung wiesen jahresbedingt eine deutliche Streuung auf. Beim CAL-löslichen Kalium lagen die Prüfglieder mit Stallmist in ihren Gehalten deutlich über denen der übrigen Behandlungen. Die pflanzenverfügbaren Grundnährstoffe P, K und Mg sind im Verlauf der achtjährigen Versuchsdurchführung über alle Düngungsvarianten angestiegen.

Zusammenfassend kann durch diese Versuchsserie festgehalten werden, dass die Ertragswirkungen in der ersten Versuchsphase noch weitgehend den Regeln der N-Verfügbarkeit im Jahr der Anwendung von Düngemitteln bzw. entsprechend den C:N-Verhältnissen der Zwischenfrüchte folgte, wodurch insbesondere die Gülle und die Leguminosen im Vorteil waren, während der Kompost nur zu einem geringen Ertragsanstieg und bestimmte Nichtleguminosen (Weidelgras, Buchweizen) sogar zu Mindererträgen bei den nachfolgenden Hauptfrüchten geführt haben. In der zweiten Versuchsphase konnte allerdings ermittelt werden, dass der Ertragsabstand durch die wiederholte Kompostdüngung und die nicht-legumen Zwischenfrüchte durch die von Jahr zu Jahr verbesserte Nährstoffnachlieferung geringer geworden bzw. sogar aufgehoben worden ist. In der Nachwirkungsphase zeigte der Kompost dann sogar eine höhere Ertragsleistung der Hauptfrüchte als die Varianten mit Güllezufuhr.

Letztlich waren ähnliche Ergebnisse zwischen Gefäß- und Feldversuchen zu beobachten. Sie sind aber meistens nicht direkt in die landwirtschaftliche Praxis übertragbar. Wenn die Besonderheiten der Gefäßanlagen mit ihren extremeren Ergebnissen und der Aufzeigung prinzipieller Lösungen bedacht werden, so können sie eine bedeutende Bereicherung im ökologischen Versuchswesen darstellen.

5 Literaturverzeichnis

- ALBERT, E., FÖRSTER, F., ERNST, H., KOLBE, H., DITTRICH, B., LABER, H., HANDSCHACK, M., KRIEGHOFF, G., HEIDENREICH, T., RIEHL, G., HEINRICH, S. und W. ZORN (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Broschüre. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- ANONYM (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Amtsblatt der Europäischen Union L189 vom 20.07. 2007, 1 – 23.
- FRIEDEL, J., GABLER, CHR. und S. ZEIDLER (2006): Auswirkungen unterschiedlicher legumer Haupt- und Zwischenfrucht-Vorfrüchte auf Ertrag, Qualität und den Schaderregerbefall der ersten Nachfrucht (Kartoffel) sowie Ertrag und Qualität der zweiten Nachfrucht (Weizen). Abschlussbericht Projekt-Nr. 1252. Institut für Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien, Österreich.
- KOLBE, H. (2000): Landnutzung und Wasserschutz. WLW Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig.
- KOLBE, H. (2007): Wirkungsgrad organischer Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Ökologischen Landbau. In: Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau. Schriftenreihe Sächsische Landesanstalt Landwirtschaft, Heft 9, 22 – 46.
- KOLBE, H. (2015): Humusumsatz und Nährstoffbilanzen – Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus Dauerversuchen Mitteleuropas. In: 50 Jahre Dauerversuche L 28 in Methau, Spröda und Bad Salzungen, Vortragsveranstaltung, Landwirtschafts- und Umweltzentrum, LfULG, Nossen.
- KOLBE, H. und B. KÖHLER (2008): Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau. Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung. Schriftenreihe Landesamt Umwelt, Landwirtschaft, Geologie, Heft 36, 1 – 253. <https://orgprints.org/id/eprint/15101/>
- KOLBE, H., SCHUSTER, M., HÄNSEL, M., GRÜNBECK, A., SCHLIEßER, I., KÖHLER, A., KARALUS, W. und B. KRELLIG (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Fachmaterial der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KÖRDEL, W., HERRCHEN, M., MÜLLER, J., KRATZ, S., FLECKENSTEIN, J. und E. SCHNUG (2007): Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung. UBA-Texte 30, Umweltbundesamt, Dessau.
- KTBL (2015): Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- MAYER, J., KOEPPE, P. und A. DUBOIS (2011): Umsatz von Kompost N in einer biologischen Modellfruchtfolge. Ein Vergleich direkter und indirekter ¹⁵N Tracermethoden. Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin. Bd.1, 181 – 183.
- MENGEL, K. und D. STEFFENS (1982): Beziehung zwischen Kationen/Anionen-Aufnahme von Rotklee und Protonenabscheidung der Wurzeln. Zeitschrift Pflanzenernährung Bodenkunde 145, 229 – 236.
- MEYER, D., KOLBE, H. und M. SCHUSTER (2021): Berichte aus dem Ökolandbau 2021 – Das Ökofeld Roda. Ergebnisse zur langjährigen Bewirtschaftung von Feldversuchsflächen der Versuchsstation Roda in Sachsen. Dr. H. Kolbe, Schkeuditz, 1 – 139. <https://slub.qucosa.de/api/qucosa%3A76643/attachment/ATT-0/>
- MÖLLER, K. und H.-J. REENTS (2009): Effects of various cover crops after peas on nitrate leaching and nitrogen supply to succeeding winter wheat or potato crops. J. Plant Nutr. Soil Sci. 172, 277 – 287.
- MÖLLER, K., STINNER, W. und G. LEITHOLD (2007): Einfluss der organischen Düngung auf Wachstum, Zusammensetzung und Nährstoffaufnahme eines leguminosenbetonten Zwischenfruchtgemenges. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. <https://orgprints.org/id/eprint/9639/>
- MÜLLER, T. und K. THOUROP-KRISTENSEN (2001): N-Fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. Biol. Agric. Hortic. 18, 345 – 363.
- SCHLIEPHAKE, W., und E. ALBERT. (2003): Vermeidung von Stickstoffverlusten. Schriftenreihe Sächsische Landesanstalt, Landwirtschaft, Heft 9, Dresden.
- SCHLIEßER, I., SCHUSTER, M. und H. KOLBE (2010): Zwischenfrüchte im Ökolandbau. Schriftenreihe Landesamt Umwelt, Landwirtschaft, Geologie, Heft 27, Dresden.

6 Anhang

6.1 Gefäßversuche

Tabelle A 1: Gehalte an pflanzenverfügbaren Spurennährstoffen (mg/kg Boden) nach dreijähriger Versuchsdurchführung im Versuchsboden der jeweiligen Prüfglieder des Gefäßversuches

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Buchweizen	Örettich	Welsches Weidelgras	Zottelwicke	Mittelwert
Kupfer						
Ohne Düngung	3,6	3,9	3,9	3,6	2,6	3,5
Grüngutkompost	3,2	3,3	3,4	3,5	3,1	3,3
Stallmist	3,3	3,2	2,8	3,1	3,2	3,1
Gülle	11,1	8,6	7,6	8,2	9,5	9,0
Mittelwert	5,3	4,8	4,4	4,6	4,6	4,7
Zink						
Ohne Düngung	5,2	5,4	5,2	5,7	4,6	5,2
Grüngutkompost	10,1	12,3	11,4	13,4	12,7	12,0
Stallmist	11,4	12,8	11,3	13,9	13,9	12,7
Gülle	16,1	14,5	13,8	14,4	18,4	15,4
Mittelwert	10,7	11,3	10,4	11,8	12,4	11,3
Bor						
Ohne Düngung	2,4	2,6	2,2	2,6	1,6	2,3
Grüngutkompost	3,5	2,6	7,4	4,0	2,8	4,1
Stallmist	4,8	2,6	2,4	1,6	3,7	3,0
Gülle	2,1	2,1	1,9	2,5	3,8	2,5
Mittelwert	3,2	2,5	3,5	2,7	3,0	3,0
Molybdän						
Ohne Düngung	0,015	0,021	0,018	0,022	0,004	0,016
Grüngutkompost	0,066	0,065	0,080	0,089	0,050	0,070
Stallmist	0,101	0,083	0,092	0,106	0,086	0,094
Gülle	0,113	0,084	0,090	0,092	0,101	0,096
Mittelwert	0,074	0,063	0,070	0,077	0,060	0,069
Mangan						
Ohne Düngung	124	121	149	130	104	119
Grüngutkompost	126	118	135	119	96	112
Stallmist	123	105	119	102	111	123
Gülle	158	106	118	106	128	118
Mittelwert	133	113	130	114	110	118

6.2 Feldversuche

Tabelle A 2: Trockenmasseerträge, Nährstoffgehalte sowie -entzüge der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2001/2002

Organische Düngung	Zottelwicke	Futtererbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen
TM (dt/ha)					
Ohne organische Düngung	8,3	10,3	11,8	30,7	10,9
Grüngutkompost	6,3	9,6	10,5	28,3	11,2
Stallmist	6,9	12,1	14,7	25,4	12,6
Gülle	8,6	11,2	15,5	30,6	14,2
N-Entzug (kg/ha)					
Ohne organische Düngung	53,4*	49,8*	37,9	113,5	24,6
Grüngutkompost	41,8*	45,6*	34,4	122,3	24,9
Stallmist	46,4*	54,4*	55,8	97,0	29,5
Gülle	52,2*	54,9*	59,7	104,8	34,3
N-Gehalt in der TM (%)					
Ohne organische Düngung	6,5	4,8	3,2	3,7	2,3
Grüngutkompost	6,7	4,7	3,3	4,3	2,2
Stallmist	6,7	4,5	3,8	3,8	2,3
Gülle	6,1	4,9	3,8	3,4	2,4
C:N-Verhältnis					
Ohne organische Düngung	6,7	9,6	13,2	10,7	19,0
Grüngutkompost	6,6	9,8	13,4	9,0	19,7
Stallmist	6,6	10,2	10,9	10,1	19,0
Gülle	7,2	9,4	10,8	12,1	17,1
P-Entzug (kg/ha)					
Ohne organische Düngung	4,9	3,2	3,7	11,7	3,8
Grüngutkompost	3,4	3,3	3,5	11,1	4,2
Stallmist	4,0	3,9	5,5	12,1	6,7
Gülle	4,8	3,9	5,7	11,6	6,9
P-Gehalt in der TM (%)					
Ohne organische Düngung	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4
Grüngutkompost	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4
Stallmist	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5
Gülle	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5
K-Entzug (kg/ha)					
Ohne organische Düngung	30,4	22,4	41,4	121,2	15,0
Grüngutkompost	22,7	25,1	37,8	107,1	16,7
Stallmist	26,5	26,3	58,2	91,0	20,7
Gülle	32,4	31,8	61,8	120,7	23,9
K-Gehalt in der TM (%)					
Ohne organische Düngung	3,7	2,2	3,5	3,9	1,4
Grüngutkompost	3,6	2,6	3,6	3,8	1,5
Stallmist	3,8	2,2	4,0	3,6	1,6
Gülle	3,8	2,8	4,0	3,9	1,7

*Legume N-Bindung (kg N/ha) = N-Entzug x 0,7 (KOLBE und KÖHLER, 2008)

Tabelle A 3: Trockenmasseerträge, Nährstoffgehalte sowie -entzüge der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2003/2004

Organische Düngung	Zottelwicke	Futtererbse	Weidelgras	Örettich	Buchweizen
TM (dt/ha)					-
Ohne organische Düngung	9,7	-	8,9	21,2	-
Grüngutkompost	14,4	-	11,8	19,0	-
Stallmist	21,0	-	16,3	27,6	-
Gülle	11,2	-	10,2	21,4	-
N-Entzug (kg/ha)					-
Ohne organische Düngung	39,2*	-	32,9	76,9	-
Grüngutkompost	48,9*	-	34,2	66,8	-
Stallmist	95,6*	-	55,6	100,9	-
Gülle	48,6*	-	40,1	79,2	-
N-Gehalt in der TM (%)					-
Ohne organische Düngung	4,0	-	3,7	3,6	-
Grüngutkompost	3,4	-	2,9	3,5	-
Stallmist	4,6	-	3,4	3,7	-
Gülle	4,3	-	3,9	3,7	-
C:N-Verhältnis					-
Ohne organische Düngung	8,7	-	11,7	10,2	-
Grüngutkompost	8,4	-	13,5	10,4	-
Stallmist	8,4	-	12,2	10,6	-
Gülle	8,4	-	10,9	10,9	-
P-Entzug (kg/ha)					-
Ohne organische Düngung	2,3	-	2,2	7,5	-
Grüngutkompost	2,7	-	2,9	6,1	-
Stallmist	6,4	-	5,0	10,7	-
Gülle	2,7	-	2,6	7,7	-
P-Gehalt in der TM (%)					-
Ohne organische Düngung	0,2	-	0,2	0,4	-
Grüngutkompost	0,2	-	0,2	0,3	-
Stallmist	0,3	-	0,3	0,4	-
Gülle	0,2	-	0,3	0,4	-
K-Entzug (kg/ha)					-
Ohne organische Düngung	19,0	-	25,7	53,7	-
Grüngutkompost	22,6	-	29,0	46,7	-
Stallmist	55,0	-	50,6	74,8	-
Gülle	22,9	-	31,0	59,9	-
K-Gehalt i.d. TM (%)					-
Ohne organische Düngung	2,0	-	2,9	2,5	-
Grüngutkompost	1,6	-	2,5	2,5	-
Stallmist	2,6	-	3,1	2,7	-
Gülle	2,1	-	3,0	2,8	-

*Legume N-Bindung (kg N/ha) = N-Entzug x 0,7 (KOLBE und KÖHLER, 2008)

Tabelle A 4: Trockenmasseerträge, Nährstoffgehalte sowie -entzüge der Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2005/2006

Organische Düngung	Zottelwicke	Futtererbse	Weidelgras	Örettich	Buchweizen
TM (dt/ha)					
Ohne organische Düngung	21,7	21,8	10,7	46,3	38,2
Grüngutkompost	15,1	20,9	12,9	28,0	35,7
Stallmist	22,2	25,8	17,1	32,0	41,6
Gülle	17,2	31,8	24,6	45,3	34,7
N-Entzug (kg/ha)					
Ohne organische Düngung	79,2*	88,1*	21,7	89,6	53,5
Grüngutkompost	74,0*	78,7*	24,4	48,7	53,1
Stallmist	103,3*	105,2*	35,8	66,8	71,4
Gülle	78,2*	101,7*	67,0	111,0	76,5
N-Gehalt in der TM (%)					
Ohne organische Düngung	3,6	4,1	2,0	1,9	1,4
Grüngutkompost	4,9	3,8	1,9	1,7	1,5
Stallmist	4,6	4,1	2,1	2,1	1,7
Gülle	4,5	3,2	2,7	2,4	2,2
C:N-Verhältnis					
Ohne organische Düngung	12,8	11,8	22,7	22,6	31,7
Grüngutkompost	9,5	12,6	24,0	24,9	30,4
Stallmist	9,9	11,6	21,5	20,6	26,3
Gülle	10,2	14,9	16,9	18,1	20,3
P-Entzug (kg/ha)					
Ohne organische Düngung	8,6	6,4	2,6	10,2	7,1
Grüngutkompost	7,4	6,0	3,2	9,8	10,9
Stallmist	10,0	9,6	4,6	9,4	12,2
Gülle	6,2	7,0	5,3	11,9	7,9
P-Gehalt in der TM (%)					
Ohne organische Düngung	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Grüngutkompost	0,5	0,3	0,2	0,4	0,3
Stallmist	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Gülle	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2
K-Entzug (kg/ha)					
Ohne organische Düngung	40,9	21,5	24,8	121,2	50,6
Grüngutkompost	46,8	30,5	29,1	76,2	57,4
Stallmist	72,9	58,1	50,9	88,1	89,9
Gülle	59,0	59,9	74,2	118,4	91,5
K-Gehalt in der TM (%)					
Ohne organische Düngung	1,9	1,0	2,3	2,6	1,3
Grüngutkompost	3,1	1,5	2,2	2,7	1,6
Stallmist	3,3	2,3	3,0	2,8	2,2
Gülle	3,4	1,9	3,0	2,6	2,6

*Legume N-Bindung (kg N/ha) = N-Entzug x 0,7 (KOLBE und KÖHLER, 2008)

Tabelle A 5: N_{min}-Gehalte vor und nach Winter (0 – 90 cm Tiefe) und N-Aufnahmen in den Jahren des Zwischenfruchtanbaus (kg N/ha)

Organische Düngung	2001/2002			2003/2004			2005/2006		
	Herbst-N _{min}	Frühjahrs-N _{min}	N-Aufnahme	Herbst-N _{min}	Frühjahrs-N _{min}	N-Aufnahme	Frühjahrs-N _{min}	N-Aufnahme	
Ohne Zwischenfrucht									
Ohne organische Düngung	55	87	-	80	60	-	55	-	
Grüngutkompost	78	99	-	64	63	-	56	-	
Stallmist	110	116	-	82	88	-	71	-	
Gülle	138	140	-	83	94	-	109	-	
Zottelwicke									
Ohne organische Düngung	51	101	53	55	53	39	55	79	
Grüngutkompost	75	130	42	48	69	49	88	74	
Stallmist	75	141	46	74	68	96	110	103	
Gülle	115	155	52	72	89	49	101	78	
Futtererbse									
Ohne organische Düngung	79	140	50	65	54	0	110	88	
Grüngutkompost	73	139	46	76	71	0	105	79	
Stallmist	67	130	54	81	50	0	76	105	
Gülle	69	123	55	73	69	0	108	102	
Weidelgras									
Ohne organische Düngung	24	57	38	41	22	33	43	22	
Grüngutkompost	24	58	34	33	30	34	34	24	
Stallmist	29	87	56	31	41	56	79	36	
Gülle	57	88	60	52	37	40	86	67	
Ölrettich									
Ohne organische Düngung	23	92	113	21	59	77	62	90	
Grüngutkompost	29	98	122	23	49	67	91	49	
Stallmist	25	76	97	20	51	101	67	67	
Gülle	22	108	105	15	50	79	78	111	
Buchweizen									
Ohne organische Düngung	77	97	25	44	60	0	63	53	
Grüngutkompost	53	76	25	30	52	0	44	53	
Stallmist	49	98	30	62	88	0	72	71	
Gülle	85	96	34	50	72	0	87	76	

Tabelle A 6: N_{min}-Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm, Veg. 0 – 60 cm Tiefe) nach Winter und Ernte der Hauptfrucht in den Jahren des Zwischenfruchtanbaus

Düngung	2001/2002			2003/2004			2005/2006		
	N _{min} FJ	N _{min} Veg.	N _{min} n.E.	N _{min} FJ	N _{min} Veg.	N _{min} n.E.	N _{min} FJ	N _{min} Veg.	N _{min} n.E.
Ohne Zwischenfrucht									
Ohne organische Düngung	87	138	105	60	63	64	55	67	29
Grüngutkompost	99	116	110	63	52	46	56	71	15
Stallmist	116	138	118	88	73	74	71	60	20
Gülle	140	134	131	94	57	70	109	89	27
Zottelwicke									
Ohne organische Düngung	101	116	115	53	58	53	55	75	28
Grüngutkompost	130	202	115	69	68	58	88	125	31
Stallmist	141	145	143	68	114	63	110	91	33
Gülle	155	243	166	89	59	87	101	130	32
Futtererbse									
Ohne organische Düngung	140	114	138	54	73	61	110	75	31
Grüngutkompost	139	150	122	71	52	60	105	79	26
Stallmist	130	142	134	50	80	68	76	111	41
Gülle	123	187	120	69	58	53	108	95	40
Weidelgras									
Ohne organische Düngung	57	114	95	22	37	44	43	42	22
Grüngutkompost	58	135	101	30	37	48	34	36	22
Stallmist	87	114	113	41	71	42	79	72	24
Gülle	88	141	122	37	43	62	86	81	27
Ölrettich									
Ohne organische Düngung	92	143	122	59	85	55	62	69	27
Grüngutkompost	98	112	116	49	88	49	91	74	21
Stallmist	76	194	112	51	61	59	67	78	24
Gülle	108	177	115	50	55	55	78	80	27
Buchweizen									
Ohne organische Düngung	97	98	105	60	48	68	63	57	21
Grüngutkompost	76	128	96	52	44	60	44	47	22
Stallmist	98	201	118	88	54	77	72	76	24
Gülle	96	170	108	72	56	84	87	73	28

FJ = Frühjahr; Veg. = Vegetationszeit; n.E. = nach der Ernte

Tabelle A 7: N_{min}-Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm, Veg. 0 – 60 cm Tiefe) im Jahr 2002/2003 nach erfolgter organischer Düngung

Düngung	2002/2003		
	N _{min} FJ	N _{min} Veg.	N _{min} n.E.
Ohne organische Düngung			
Ohne Zwischenfrucht	65	30	5
Zottelwicke	84	39	8
Futtererbse	76	33	8
Weidelgras	86	31	5
Ölrettich	77	38	10
Buchweizen	72	33	13
Mittelwert	77	34	8
Grüngutkompost			
Ohne Zwischenfrucht	69	29	10
Zottelwicke	86	33	7
Futtererbse	107	45	13
Weidelgras	99	29	5
Ölrettich	117	30	15
Buchweizen	80	23	6
Mittelwert	93	31,5	9,33
Stallmist			
Ohne Zwischenfrucht	91	26	9
Zottelwicke	81	25	7
Futtererbse	85	29	9
Weidelgras	91	33	5
Ölrettich	74	25	4
Buchweizen	66	26	10
Mittelwert	81,33	27,33	7,33
Gülle			
Ohne Zwischenfrucht	78	30	8
Zottelwicke	123	38	17
Futtererbse	72	31	6
Weidelgras	116	38	9
Ölrettich	79	28	4
Buchweizen	110	32	11
Mittelwert	96,33	32,83	9,17

FJ = Frühjahr; Veg. = Vegetationszeit; n.E. = nach der Ernte

Tabelle A 8: N_{min}-Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm Tiefe) im ersten Jahr nach der Düngung und dem Zwischenfruchtanbau (2004/2005) und 2006/2007)

Düngung	2004/2005		2006/2007	
	N _{min} FJ	N _{min} n.E.	N _{min} FJ	N _{min} n.E.
Ohne Düngung				
Ohne Zwischenfrucht	24	22	97	37
Zottelwicke	29	25	99	82
Futtererbse	26	18	142	95
Weidelgras	34	20	76	47
Ölrettich	37	23	88	55
Buchweizen	37	21	90	51
Mittelwert	31	22	99	61
Grünutkompost				
Ohne Zwischenfrucht	35	31	68	53
Zottelwicke	24	25	91	68
Futtererbse	22	26	101	65
Weidelgras	24	38	72	42
Ölrettich	28	28	83	73
Buchweizen	29	27	85	52
Mittelwert	27	29	83	59
Stallmist				
Ohne Zwischenfrucht	23	29	147	65
Zottelwicke	32	32	141	79
Futtererbse	31	32	125	67
Weidelgras	28	33	132	78
Ölrettich	20	28	120	61
Buchweizen	22	34	103	169
Mittelwert	26	31	128	87
Gülle				
Ohne Zwischenfrucht	37	22	111	50
Zottelwicke	30	37	143	63
Futtererbse	23	27	146	77
Weidelgras	25	25	95	72
Ölrettich	22	31	102	60
Buchweizen	34	25	149	57
Mittelwert	29	28	124	63

FJ = Frühjahr; n.E. = nach der Ernte

Tabelle A 9: Veränderung der N_{min}-Gehalte (kg N/ha, 0 – 90 cm, Veg. 0 – 60 cm Tiefe) in den drei Nachwirkungsjahren 2006 – 2008

Düngung	2006/2007		2007/2008		2008/2009		
	N _{min} FJ	N _{min} n.E.	N _{min} FJ	N _{min} n.E.	N _{min} FJ	N _{min} Veg.	N _{min} n.E.
Ohne Düngung							
Ohne Zwischenfrucht	97	37	59	35	36	23	41
Zottelwicke	99	82	65	32	33	18	46
Futtererbse	142	95	75	32	26	41	29
Weidelgras	76	47	76	35	28	30	42
Ölrettich	88	55	58	29	22	30	33
Buchweizen	90	51	73	40	27	37	32
MW Zwischenfrüchte	99	66	69	34	27	31	36
Grüngutkompost							
Ohne Zwischenfrucht	68	53	61	40	27	33	43
Zottelwicke	91	68	58	47	34	34	48
Futtererbse	101	65	60	41	28	27	40
Weidelgras	72	42	53	39	27	15	54
Ölrettich	83	73	56	47	33	62	35
Buchweizen	85	52	67	42	24	50	43
MW Zwischenfrüchte	86	60	59	43	29	38	44
Stallmist							
Ohne Zwischenfrucht	147	65	79	41	34	30	45
Zottelwicke	141	79	79	45	32	42	47
Futtererbse	125	67	74	46	28	33	42
Weidelgras	132	78	66	49	28	26	40
Ölrettich	120	61	72	46	28	24	49
Buchweizen	103	169	77	48	30	25	48
MW Zwischenfrüchte	124	91	74	47	29	30	45
Gülle							
Ohne Zwischenfrucht	111	50	73	39	23	21	42
Zottelwicke	143	63	73	34	30	34	41
Futtererbse	146	77	76	33	25	29	38
Weidelgras	95	72	70	45	34	19	46
Ölrettich	102	60	46	37	27	21	41
Buchweizen	149	57	61	36	26	22	45
MW Zwischenfrüchte	127	66	65	37	28	25	42

FJ = Frühjahr; Veg. = Vegetationszeit; n.E. = nach der Ernte

Tabelle A 10: Relativerträge der Hauptfrüchte der Versuchsvarianten in den einzelnen Anbaujahren (Prüfglieder ohne Düngung u. ohne Zwischenfruchtanbau = 100 %)

Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen
2002						
Ohne Düngung	100	114	118	109	95	115
Grüngutkompost	108	96	125	99	107	108
Stallmist	142	149	152	124	148	128
Gülle	137	109	116	117	131	121
2003						
Ohne Düngung	100	99	111	105	103	111
Grüngutkompost	114	114	116	108	114	104
Stallmist	122	131	123	129	130	121
Gülle	125	124	129	121	131	127
2004						
Ohne Düngung	100	89	103	80	109	99
Grüngutkompost	115	117	124	86	127	108
Stallmist	127	130	138	99	121	123
Gülle	114	125	107	95	123	117
2005						
Ohne Düngung	100	100	103	98	102	107
Grüngutkompost	105	104	101	91	98	101
Stallmist	117	119	115	106	108	117
Gülle	111	111	108	104	106	112
2006						
Ohne Düngung	100	115	123	117	110	103
Grüngutkompost	122	127	135	118	121	112
Stallmist	123	147	129	122	119	125
Gülle	122	130	130	130	123	115
2007						
Ohne Düngung	100	109	77	115	106	118
Grüngutkompost	153	147	163	163	132	151
Stallmist	149	143	132	123	153	129
Gülle	141	113	122	110	135	128
2008						
Ohne Düngung	100	103	110	97	107	105
Grüngutkompost	103	104	110	97	113	100
Stallmist	106	123	118	105	110	118
Gülle	104	109	104	108	106	107
2009						
Ohne Düngung	100	104	100	99	100	94
Grüngutkompost	101	104	106	107	106	104
Stallmist	113	120	114	117	110	112
Gülle	99	104	101	105	102	107

Tabelle A 11: Erträge der Hauptfrüchte in Getreideeinheiten (dt GE/ha) der Düngungsvarianten über den Versuchszeitraum

Organische Düngung	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Mittelwert
Ohne organische Düngung	29,9	52,6	38,7	81,8	115,9	28,6	43,5	32,7	53,0
Grüngutkompost	29,5	56,0	45,1	80,5	127,8	41,7	43,9	34,4	57,4
Stallmist	38,7	63,2	49,2	91,6	132,8	38,0	47,6	37,5	62,3
Gülle	33,6	63,3	45,4	87,6	130,3	34,3	44,8	33,9	59,1
Mittelwert (Jahr)	32,9	58,8	44,6	85,4	126,7	35,6	45,0	34,6	-
GD _{5%} ; Tukey (organische Düngung)	4,1	5,8	4,3	4,7	6,8	6,3	2,2	1,7	-

Tabelle A 12: Auswirkungen der angebauten Zwischenfrüchte auf den GE-Ertrag der Hauptfrüchte (dt/ha) im Versuchszeitraum

Organische Düngung	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Mittelwert
Ohne Zwischenfrucht	33,5	57,8	45,6	87,3	121,7	37,3	43,4	33,9	57,6
Zottelwicke	32,2	58,8	46,1	87,3	135,0	35,1	46,1	35,5	59,5
Futtererbse	35,2	60,2	47,2	86,1	134,7	34,0	46,4	34,6	59,8
Weidelgras	31,0	58,0	36,0	80,2	126,9	35,1	42,8	35,1	55,6
Ölrettich	33,2	59,9	48,1	83,2	123,4	36,2	45,8	34,3	58,0
Buchweizen	32,5	58,1	44,7	88,0	118,5	36,2	45,2	34,2	57,2
Mittelwert (Jahr)	32,9	58,8	44,6	85,4	126,7	35,7	44,9	34,6	-
GD _{5%} ; Tukey (Zwischenfrucht)	5,6	7,9	5,8	6,4	9,3	8,6	3,1	2,3	-

Tabelle A 13: Knolleneigenschaften der Kartoffeln im Versuchsjahr 2003/2004

	<i>Rhizoctonia Solani</i>	Dry Core	Kartoffelschorf	Verformung	Rauschaligkeit
	Anteil betroffener Knollen (%)				
Ohne organische Düngung					
Ohne Zwischenfrucht	2	0	76	2	82
Zottelwicke	12	0	76	10	47
Futtererbse	26	8	72	10	80
Weidelgras	30	6	66	0	76
Ölrettich	50	8	60	4	70
Buchweizen	12	8	75	0	84
Grüngutkompost					
Ohne Zwischenfrucht	38	10	56	4	68
Zottelwicke	28	8	58	0	56
Futtererbse	32	4	72	4	86
Weidelgras	54	30	64	2	92
Ölrettich	16	10	82	6	84
Buchweizen	71	16	60	2	76
Stallmist					
Ohne Zwischenfrucht	24	10	66	0	76
Zottelwicke	28	12	68	0	76
Futtererbse	12	4	66	2	68
Weidelgras	28	10	58	2	74
Ölrettich	20	6	64	4	62
Buchweizen	10	14	46	2	62
Gülle					
Ohne Zwischenfrucht	36	2	58	0	93
Zottelwicke	14	4	48	6	70
Futtererbse	35	10	47	4	80
Weidelgras	39	7	70	0	65
Ölrettich	52	14	50	0	48
Buchweizen	38	0	66	2	64

Tabelle A 14: Anzahl Ähren (je laufenden Meter) bei Wintergerste im Anbaujahr 2004/2005

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	52,8	51,5	58,8	50,8	55,3	49,5	53,1
Grüngutkompost	51,0	51,8	58,8	54,5	54,0	55,5	54,3
Stallmist	56,0	67,8	64,5	56,3	61,0	62,0	61,3
Gülle	56,0	50,3	50,0	58,8	51,8	57,8	54,1
Mittelwert Zwischenfrucht	53,9	55,3	58,0	55,1	55,5	56,2	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				5,9			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				8,1			
GD 5%; Tukey (AxB)				21			

Tabelle A 15: Wuchshöhe (cm) der Wintergerste im Jahr 2004/2005

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	108	109	110	107	105	108	108
Grüngutkompost	109	110	111	109	107	114	110
Stallmist	119	125	119	115	120	121	120
Gülle	111	111	112	111	111	115	112
Mittelwert Zwischenfrucht	111	114	113	110	111	114	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				3,5			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				4,8			
GD 5%; Tukey (AxB)				13			

Tabelle A 16: Tausendkornmasse (TKG in g) der Wintergerste im Versuchsjahr 2004/2005

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	53,8	55,3	53,5	54,0	53,9	52,3	53,8
Grüngutkompost	52,4	54,0	53,0	52,6	54,6	52,2	53,1
Stallmist	53,2	55,3	54,8	52,7	53,1	52,4	53,6
Gülle	52,9	53,6	54,5	53,9	54,0	53,7	53,7
Mittelwert Zwischenfrucht	53,1	54,5	54,0	53,3	53,9	52,7	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				0,6			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				0,9			
GD 5%; Tukey (AxB)				2			

Tabelle A 17: Ährenzahl (je laufenden Meter) von Winterweizen im Jahr 2007/2008

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	41,5	46,0	48,8	53,8	54,5	46,8	48,5
Grüngutkompost	50,8	50,0	50,8	43,8	46,3	48,5	48,3
Stallmist	53,0	60,5	49,8	55,8	52,5	49,8	53,5
Gülle	56,5	45,8	54,8	53,8	51,8	50,8	52,2
Mittelwert Zwischenfrucht	50,4	50,6	51,0	51,8	51,3	48,9	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				7,8			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				10,7			
GD 5%; Tukey (AxB)				28			

Tabelle A 18: Wuchshöhe (cm) des Winterweizens im Versuchsjahr 2007/2008

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	85,3	93,0	91,5	90,5	87,3	91,0	89,8
Grüngutkompost	89,5	92,8	92,0	86,5	90,3	89,3	90,0
Stallmist	91,3	96,5	91,5	93,3	91,5	90,0	92,3
Gülle	91,0	89,8	93,3	93,3	89,0	90,5	91,1
Mittelwert Zwischenfrucht	89,3	93,0	92,1	90,9	89,5	90,2	
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				3,1			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				4,3			
GD 5%; Tukey (AxB)				11,2			

Tabelle A 19: Ährenzahl (je laufenden Meter) bei Wintertriticale des Jahres 2008/2009

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	34,3	34,0	32,8	34,3	33,5	34,8	33,9
Grüngutkompost	31,5	33,3	33,8	34,5	35,3	33,8	33,7
Stallmist	34,3	36,3	34,0	32,8	33,0	34,5	34,1
Gülle	33,8	33,0	34,3	34,0	33,8	34,3	33,8
Mittelwert Zwischenfrucht	33,4	34,1	33,7	33,9	33,9	34,3	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				2,6			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				3,5			
GD 5%; Tukey (AxB)				9,1			

Tabelle A 20: Wuchshöhe (cm) bei Wintertriticale im Versuchsjahr 2008/2009

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	108,8	111,8	107,8	104,8	109,0	108,3	108,4
Grüngutkompost	111,3	113,0	111,0	107,0	103,5	110,8	109,4
Stallmist	113,0	114,0	108,5	109,3	107,8	113,5	111,0
Gülle	107,0	112,8	108,8	109,0	112,3	112,5	110,4
Mittelwert Zwischenfrucht	110,0	112,9	109,0	107,5	108,1	111,3	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				4,0			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				5,5			
GD 5%; Tukey (AxB)				14,4			

Tabelle A 21: Tausendkornmasse (g) der Wintertriticale im Versuchsjahr 2008/2009

Organische Düngung	Ohne Zwischenfrucht	Zottelwicke	Felderbse	Weidelgras	Ölrettich	Buchweizen	Mittelwert (Düngung)
Ohne organische Düngung	39,2	38,7	38,8	38,5	38,7	39,3	38,8
Grüngutkompost	39,9	39,5	39,0	40,3	42,9	39,6	40,2
Stallmist	39,7	40,3	40,1	41,0	41,6	40,2	40,5
Gülle	39,4	39,1	40,2	39,7	40,3	39,3	39,7
Mittelwert Zwischenfrucht	39,5	39,4	39,5	39,9	40,8	39,6	-
GD 5%; Tukey (A; organische Düngung)				1,3			
GD 5%; Tukey (B; Zwischenfrucht)				1,8			
GD 5%; Tukey (AxB)				4,6			

IMPRESSUM

Herausgeber:

Dr. Hartmut Kolbe
Altes Dorf 19, D-04435 Schkeuditz
E-Mail: hartmutkolbe@yahoo.de

Autoren:

Peter Müller, Dr. Wilfried Schliephake, Landsberg
Dr. Hartmut Kolbe, Schkeuditz

Bildnachweis:

Titelfoto: LfULG
Abbildung 28: Dr. H. Kolbe

Redaktionsschluss:

Dezember, 2021

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden.