

Zwischenfrüchte im Ökolandbau

Schriftenreihe, Heft 27/2010



Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte als Vorfrüchte für die Ertrags- und Qualitätsleistung von Silomais und Kartoffeln

Ingeborg Schließer, Martina Schuster, Dr. Hartmut Kolbe

1	Einleitung	5
2	Material und Methoden	5
2.1	Standortbeschreibung	5
2.2	Witterung im Untersuchungszeitraum	6
2.3	Feldversuche	7
2.4	Gefäßversuche	9
2.5	Chemisch-analytische Bestimmungsmethoden und statistische Auswertung	10
3	Ergebnisse	10
3.1	Gefäßversuche Silomais	10
3.2	Gefäßversuche Kartoffeln	16
3.3	Feldversuche Silomais	21
3.3.1	N _{min} -Untersuchungen zum Zwischenfruchtanbau	21
3.3.2	N _{min} -Untersuchungen zum Silomaisanbau	21
3.3.3	Ertragsbildung und Inhaltsstoffe der Zwischenfrüchte	24
3.3.4	Vorfruchtwirkung der Zwischenfrüchte für Silomais	26
3.3.4.1	Chlorophyll-dichte von Mais im Wachstumsverlauf	26
3.3.4.2	Frisch- und Trockenmasseertrag	28
3.3.4.3	Stärkegehalt	31
3.3.4.4	Energiegehalt	31
3.3.4.5	Weitere Qualitätsparameter	32
3.3.4.6	Gehalte und Entzüge an Hauptnährstoffen	33
3.3.5	Frisch- und Trockenmasseertrag, Qualitätsparameter sowie Nährstoffgehalte und -entzüge in Abhängigkeit von den Zwischenfruchtgruppen	35
3.3.6	Beziehungen zwischen dem Zwischenfruchtanbau und der Nachfrucht Silomais	37
3.3.6.1	Trockenmasseertrag von Zwischenfrüchten und Silomais	37
3.3.6.2	Trockenmasseertrag von Silomais in Abhängigkeit vom N _{min} -Gehalt des Bodens nach Zwischenfruchtanbau	38
3.3.6.3	Trockenmasseertrag von Silomais in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis sowie den N-Gehalten der Zwischenfrüchte	38
3.3.6.4	Nährstoffdynamik in Boden, Zwischenfrucht und Mais	39
3.4	Feldversuche Kartoffeln	42
3.4.1	N _{min} -Untersuchungen zum Zwischenfruchtanbau	42
3.4.2	N _{min} -Untersuchungen zum Kartoffelanbau	42
3.4.3	Ertragsbildung und Inhaltsstoffe der Zwischenfrüchte	45
3.4.4	Vorfruchtwirkung der Zwischenfrüchte für Kartoffeln	47
3.4.4.1	Chlorophyllgehalt der Kartoffelblätter im Wachstumsverlauf	47
3.4.4.2	Frischmasseertrag und Knollenfraktionierung	48
3.4.4.3	Trockenmasseertrag	51
3.4.4.4	TM- und Stärkegehalt	52
3.4.4.5	Gehalt und Entzug an Hauptnährstoffen	53
3.4.5	Frisch- und Trockenmasseertrag in Abhängigkeit von den Zwischenfruchtgruppen	54
3.4.6	Befall mit Krankheiten und Knollenverformungen	55
3.4.7	Beziehungen zwischen dem Zwischenfruchtanbau und der Nachfrucht Kartoffeln	56
3.4.7.1	Knollenerträge und Inhaltsstoffe von Kartoffeln in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis und anderen Eigenschaften der Zwischenfrüchte	56
3.4.7.2	Ertragsbildung von Kartoffeln in Abhängigkeit vom N _{min} -Angebot	58
4	Diskussion der Ergebnisse	59
4.1	Einfluss der Zwischenfrüchte auf die Ertrags- und Qualitätsparameter der Nachfrüchte	59
4.2	Beurteilung der konservierenden Wirkung der Zwischenfrüchte	62
5	Zusammenfassung	64
6	Literatur	65
7	Anhang	67

Abkürzungsverzeichnis

α	Signifikanzniveau
a	Jahr
BBCH	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie, Entwicklungsstadien der Pflanzen
C _{org}	organisch gebundener Kohlenstoff des Bodens, C _{org} * 1,72 = Humus im Boden
CaCl ₂	Calciumchlorid , zur Extraktion des pflanzenverfügbaren Magnesiums
CAL	Kalzium-Acetat-Lactat , zur Extraktion von Kalium und Phosphor
DL	Doppellactat, zur Extraktion von Kalium und Phosphor
dt	Dezitonnen, 100 kg
ELOS	Gehalt an enzymlöslicher organischer Substanz
FM	Frischmasse
g	Gramm
GVE	Großvieheinheit
ha	Hektar, 10 ⁴ m ²
K	Kalium
MJ	Megajoule
¹⁵ N	Stickstoffisotop, die natürliche Konzentration von ¹⁵ N in der Atmosphäre beträgt 0,3663 %
NEL	Nettoenergie Laktation
NH ₄	Ammonium
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
NN	normal Null
N _{min}	mineralischer Stickstoff (Summe Nitrat- und Ammoniumstickstoff)
NO ₃	Nitrat
N _t	Gesamtstickstoff
P	Phosphor
pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
r	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
TM	Trockenmasse
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

1 Einleitung

Der Anbau von Zwischenfrüchten stellt einen wichtigen aktuellen Bestandteil zur boden- und grundwasserschonenden Bewirtschaftung dar und dient damit der Erfüllung der Ziele des Wasserschutzes. Besonders in Grundwasserschutzgebieten und auf Standorten mit einer hohen Auswaschungsgefahr wie z. B. auf sandigen Böden muss der Stickstoff im Herbst durch die Zwischenfrüchte aufgenommen und konserviert werden. Gleichzeitig verringert die Wasseraufnahme der Zwischenfrüchte die Sickerwassermenge, mit der Nitrat ins Grundwasser transportiert werden kann. So lassen sich Stickstoffverluste und damit verbundene Grundwasserbelastungen begrenzen.

In Gebieten mit einer hohen Erosionsgefährdung durch Wasser sollte der Boden ganzjährig bedeckt sein und Zwischenfrüchte sind als überwinternde Begrünung sehr nützlich. Damit wird die Bodenoberfläche vor Starkregen und oberflächlichem Abfluss des Wassers geschützt. Die Pflanzenwurzeln erhöhen die Stabilität der Bodenaggregate und verbessern die Infiltration des Niederschlages. Mit Zwischenfrüchten lassen sich aber auch Übertragungswege für Krankheitserreger unterbrechen und sie können dazu dienen, die Nährstoffversorgung der Nachfrüchte zu verbessern.

Für den Anbau sind viele verschiedene Pflanzenarten nutzbar. Neben den Kruziferen wie Senf und Ölrettich können auch Leguminosen und Gemenge für eine Nutzung interessant sein. Die Leguminosen sind vor allem unter dem Aspekt der Luftstickstoffbindung und N-Anreicherung des Bodens bedeutsam. Hinzu kommt eine Verbesserung der Bodenstruktur durch die Wurzeln der Pflanzen. Bei der Auswahl muss besonders der Anspruch der Arten an die Aussaatzeit berücksichtigt werden, der sehr stark von den Erntebedingungen bzw. der Erntezeit der Vorfrucht bestimmt wird. Eine möglichst frühe Saatzeit verlangen alle Leguminosen und die Gräser, während Arten wie Weißer Senf, Ölrettich, Phacelia aber auch Winterwicke und Inkarnatklée besser an spätere Saatzeiten angepasst sind.

Trotz der bekannten vielfältigen Wirkungen wird ein Zwischenfruchtanbau in der Praxis noch relativ wenig genutzt. Die Ursachen liegen vor allem in der hohen Witterungsabhängigkeit, der besonders den Pflanzenaufgang und die weitere Entwicklung beeinflusst. Hinzu kommen die Kosten des Anbaus, die die Kosten für das Saatgut, Maschinenkosten und die Kosten für die Arbeitserledigung beinhalten. Die den Kosten gegenüberstehenden Leistungen sind sehr schwer zu bewerten. Aus diesem Grund sollte in den mehrjährigen Untersuchungen der Frage nachgegangen werden, inwieweit der Anbau der Zwischenfrüchte einen Einfluss auf den Ertrag und auf die Qualität der nachfolgenden Hauptkulturen Silomais und Kartoffeln hatte. Die Pflanzenarten wurden hinsichtlich ihrer Nährstoffkonservierung untersucht und es erfolgte eine abschließende Beurteilung der Arten für die verschiedenen Ziele eines Anbaus für das sächsische Lössgebiet. Weiterhin wird in dieser Arbeit ein zusammenfassender Überblick zum Zwischenfruchtanbau gegeben, der die Ergebnisse von Versuchen im deutschsprachigen Raum bis 2009 einbezieht.

2 Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung

Die Untersuchungen wurden am Standort Roda als dreijährige Feldversuche mit jährlichem Wechsel der Fläche durchgeführt. Die Versuche zu Silomais erfolgten im Zeitraum 1999 bis 2001 und die nachfolgenden Versuche zu Kartoffeln von 2002 bis 2004. Der Versuchsstandort Roda befindet sich in Nordwestsachsen zwischen Frohburg und Geithain im Ostthüringischen Lösshügelland als Teil der Naturregion der Sächsischen Lössgefilde. Dieser Naturraum wird bestimmt von mächtigen Lösssedimenten. Die Höhenlage beträgt 224 m über NN.

Auf Grund der geologischen Bedingungen der Versuchsfläche sind stauvernässte Böden verbreitet. Es dominieren in der Horizontabfolge Fahlerde-Pseudogleye, seltener sind typische Pseudogleye bzw. Parabraunerde-Pseudogleye. Die Bodenart ist lehmiger Schluff bei einer durchschnittlichen Ackerzahl von 68. Die Böden wechseln sehr stark zwischen Vernässung und

Austrocknung. Im Frühjahr kann der Beginn der Feldarbeiten deutlich verzögert werden. Der Humusgehalt der Böden ist relativ einheitlich und schwankt um den Wert von 2 %. Ab 40 cm unter Flur fällt der Gehalt deutlich ab. Die Speicherfähigkeit für Nährstoffe ist gut und auch die Durchwurzelbarkeit des Bodens ist bis in eine Tiefe von 80 bis 125 cm als gut zu bezeichnen.

Daten über die Versorgung mit Nährstoffen sowie den pH-Wert vor Versuchsbeginn auf den jährlich wechselnden Flächen zeigt Tabelle 1, unterteilt in die Untersuchungsjahre 1999 bis 2001 für Silomais und 2002 bis 2004 für Kartoffeln. Die Versorgung mit Phosphor muss in den Jahren 1999 und 2004 als unzureichend eingeschätzt werden.

Tabelle 1: P- und K-Gehalt (CAL) sowie pH-Wert des Bodens jeweils vor Versuchsbeginn

Versuchsjahr	P-Gehalt CAL (mg/100 g Boden)	Versorgungsstufe	K-Gehalt CAL (mg/100 g Boden)	Versorgungsstufe	pH-Wert CaCl ₂
1999	2,1	A	6,6	B	6,1
2000	4,9	C	11,3	C	6,4
2001	4,6	B	11,0	C	7,1
2002	2,5	B	7,6	B	6,1
2003	2,7	B	9,8	B	6,6
2004	1,7	A	7,6	B	6,4

2.2 Witterung im Untersuchungszeitraum

Roda liegt im Klimagebiet des feucht-milden Hügellandes, innerhalb der Phänozone mit normalem Vegetationsbeginn. Die Wetterdaten werden am Standort über eine eigene Wetterstation erfasst und die erhobenen monatlichen Mittelwerte an Niederschlägen und Temperaturen enthält Tabelle 2.

In Roda fielen im langjährigen Durchschnitt 711 mm, davon in den Monaten Mai bis September 352 mm. Dieser langjährige Durchschnittswert wurde außer 2002 und 2004 in allen Jahren zum Teil deutlich unterschritten und der mittlere Niederschlag im Untersuchungszeitraum betrug 642 mm. Das Jahr 2003 war dabei extrem trocken mit Niederschlagsmengen von nur 368 mm. Die langjährige mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,6 °C und die mittlere Jahrestemperatur im Untersuchungszeitraum betrug 9,8 °C.

Tabelle 2: Niederschläge und Temperaturen während des Versuchszeitraumes in Roda

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Mai – Sept	Gesamt
Niederschlag (mm)														
1998	37,5	27,7	57,7	37,6	27,2	99,4	92,3	58,3	86,3	79,8	62,3	21,3	363,5	687
1999	28,8	72,4	37,2	32,5	80,0	89,2	123,0	24,9	24,0	35,9	64,0	40,4	341,4	652
2000	61,1	64,9	114,2	27,9	42,7	17,4	64,0	72,2	67,3	46,9	27,8	19,3	263,6	626
2001	15,6	32,2	87,2	39,0	36,6	84,7	85,0	47,7	128,0	38,8	77,3	35,4	282,0	708
2002	46,2	48,7	25,7	43,9	60,1	46,1	27,6	146,6	44,7	72,5	117,0	49,9	325,0	729
2003	48,7	5,8	21,5	29,5	32,4	32,9	58,9	17,6	44,0	44,0	8,7	23,6	185,8	368
2004	66,6	42,1	28,2	30,7	115,8	61,0	152,8	37,5	55,4	32,7	80,4	24,5	422,5	728
Temperatur (°C)														
1998	3,0	5,0	5,1	10,3	14,5	17,4	17,4	17,3	13,9	9,2	2,0	1,2	16,1	9,6
1999	3,4	0,3	5,9	9,5	14,3	15,6	19,4	17,9	18,1	9,6	3,9	2,8	17,1	10,0
2000	1,0	4,6	5,4	11,3	15,6	18,0	16,2	19,2	14,8	11,9	6,9	3,5	16,8	10,7
2001	1,4	2,5	4,2	8,1	14,7	14,7	19,1	19,9	12,6	13,4	4,3	-0,4	16,2	9,5
2002	1,2	5,7	5,7	8,1	15,0	17,6	19,1	19,9	13,7	8,9	5,6	-0,6	17,1	10,0
2003	-0,3	-2,3	5,4	8,9	15,3	19,8	19,8	21,3	14,9	6,4	7,0	1,5	18,2	9,8
2004	-0,8	2,9	4,6	9,8	11,6	15,6	17,2	19,4	14,5	10,9	4,3	2,1	15,7	9,3

Für das Gelingen einer Zwischenfruchtaussaat sind neben der Aussaatzeit auch ausreichende Niederschläge nach der Aussaat im August und September notwendig. Die Angaben in Tabelle 2 zeigen auch die teilweise sehr unterschiedlichen Bedingungen in den einzelnen Jahren. Das Trockenjahr 2003 hebt sich besonders deutlich hervor, aber auch in den Jahren 1999, 2001 und 2004 herrschten relativ trockene Bedingungen.

2.3 Feldversuche

Die Feldversuche wurden grundsätzlich in Form von vollständig randomisierten Blockanlagen angelegt. Es handelte sich jeweils um einfaktorielle Blockanlagen mit 14 Prüfgliedern und vier Wiederholungen. Die Größe der Einzelparzellen betrug 3 x 8 m (Anlageparzelle = 24 m², Ernteparzelle = 12 m²). Der Drillreihenabstand betrug jeweils 15 cm.

Die geprüften Zwischenfrüchte enthält Tabelle 3. Die Vorfrüchte vor den Zwischenfrüchten zu Silomais waren 1998 Ackerbohnen, 1999 Winterroggen und 2000 Sommergerste. Die Vorfrucht vor den Zwischenfrüchten zu Kartoffeln war in allen Jahren Winterweizen. Auf den Untersuchungsflächen erfolgt eine regelmäßige organische Düngung mit Stallmist und Gülle (ca. 1GV/ha). Die Angaben zu den acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zeigen die Tabellen A1 und A2 im Anhang.

Nach der Ernte der Vorfrucht wurde flach gepflügt, das Saatbett bereitet und die Zwischenfrüchte ausgesät. Im Spätherbst folgte der Umbruch der Bestände durch Pflügen. Es wurden alle Bestände eingearbeitet, auch die überwinterten Arten. Bei hohem Bewuchs erfolgte ein Mulchen und Grubbern und danach das Pflügen. Bei geringem Aufwuchs wurde nur gepflügt.

Die Versuchsanlagen zu Silomais und Kartoffeln unterschieden sich nur dahingehend, dass die Versuchsglieder „Kräuter“ vor Kartoffeln eine andere Reihenfolge hatten und das Versuchsglied Weißklee durch Felderbse ausgetauscht wurde.

Tabelle 3: Zwischenfrucht-Prüfglieder als Vorfrüchte zu Silomais und Kartoffeln

Prüfglieder: Zwischenfruchtarten	Saatstärke (kg/ha)	Saattiefe (cm)
Leguminosen (Aussaat Mitte Juli):		
a 1 Platterbse	180	5
a 2 Perserklee	20	2
a 3 Weiße/Blaue Lupine	240/181	3
a 4 Zottelwicke	80	5
a 5 Inkarnatklee	30	2
a 6 Weißklee (Felderbse zu Kartoffeln)	130	5
Gras (Aussaat Mitte Juli):		
a 7 Welsches Weidelgras	50	2
Gemenge (Aussaat Mitte Juli):		
a 8 Landsberger Gemenge (Zottelwicke, Inkarnatklee, Welsches Weidelgras)	20,20,20	3
a 9 Meliorationsgemenge, abfrierend (Platterbse, Perserklee, Buchweizen, Phacelia)	20,10,15,2	3
Kräuter (abfrierend, Aussaat Mitte August):		
a 10 Phacelia	15	2
a 11 Buchweizen	90	2
a 12 Weißer Senf	20	2
a 13 Sommerraps	15	3
ohne Zwischenfrucht		
a 14 keine Zwischenfruchteinsaat		

Vor der Einarbeitung der Zwischenfrüchte wurden

- Frischmasse- und Trockenmasseertrag
- Inhaltsstoffuntersuchung von N, P, K, Mg, C_t und Nitrat-N ermittelt.

Die Aussaat von Mais erfolgte mit 75 cm Reihenabstand und 9,5 cm in der Reihe. Um 12 Pflanzen/m² zu erhalten, betrug die Saatstärke 14 Körner/m². Die Pflanzung der Kartoffeln wurde im Zeitraum Mitte bis Ende April vorgenommen. Es wurde die mittelfrühe Sorte Agria verwendet bei einer Pflanzgutmenge von 40.000 Knollen/ha und einem Reihenabstand von 75 cm. Mehrmaliges Ab- und Anhäufeln, zuletzt das Anhäufeln kurz vor Reihenschluss, diente als Pflegemaßnahme.

Vom Silomais und den Kartoffeln wurden folgende Parameter bestimmt:

- Chlorophyllgehalt im Bestand
- Frisch- und Trockenmasseerträge, Trockenmassegehalt
- N, P, K, Mg, Rohfaser
- Nitrat
- Stärke
- Energiegehalt (berechnet).

2.4 Gefäßversuche

Parallel zu den Feldversuchen erfolgte die Anlage von Gefäßversuchen mit 7-Liter-Mitscherlich-Gefäßen am Standort Leipzig-Möckern für Silomais und Kartoffeln in den Jahren 1998 bis 2000. Die Pflanzen wurden auf der Versuchsstation Roda angezogen und im Herbst geerntet, getrocknet und auf 0,5 bis 1 cm lange Stücke gehäckselt (Tab. 4). Jeweils trockenes Material entsprechend 2 g N je Gefäß wurde beim Gefäßansatz im Herbst in den Boden eingemischt und über den Winter feucht gehalten. Als Bodensubstrat diente ein nährstoffarmer Boden („Sprotta“) 5 kg/Gefäß mit fünf Wiederholungen. Die Wasserversorgung wurde optimal gehalten und folgende Nährstoffmengen kamen als Grunddüngung zur Anwendung:

- 1 g N/Gefäß als ¹⁵N
- 0,5 g P/Gefäß
- 2,4 g K/Gefäß
- 0,4 g Mg/Gefäß.

Im Frühjahr erfolgte die Aussaat von Silomais (Sorte: Goldoli), mit 10 Körner/Gefäß, später wurde auf vier Pflanzen/Gefäß vereinzelt. Geerntet wurde der Mais bei Erreichung eines durchschnittlichen TM-Gehaltes von über 30 %. Von den Kartoffeln (Sorte: Agria) wurden im Frühjahr vier Augenstecklinge ausgepflanzt und später auf drei Stängel/Gefäß vereinzelt. Die Ernte erfolgte zur Reife (trockene Stängel).

Tabelle 4: Zugeführte Nährstoffmengen/Gefäß im Durchschnitt der Versuchsjahre (1998 – 2000)

Substanz	Düngung N (g/Gf.)	P (g/Gf.)	K (g/Gf.)	Mg (g/Gf.)
Platterbse	2,0	0,15	1,16	0,17
Perserklee*	2,0	0,28	1,60	0,38
Lupine	2,0	0,14	1,21	0,21
Zottelwicke	2,0	0,17	1,36	0,23
Inkamatklee*	2,0	0,28	1,77	0,40
Weißklee*	2,0	0,27	1,60	0,34
Welsches Weidelgras	2,0	0,23	2,52	0,13
Phacelia	2,0	0,26	2,46	0,26
Buchweizen*	2,0	0,34	1,84	0,49
Weißer Senf	2,0	0,21	1,88	0,20
Sommerraps	2,0	0,23	1,69	0,21

* ohne Versuchsjahr 1998

2.5 Chemisch-analytische Bestimmungsmethoden und statistische Auswertung

Zur Analyse der Nährstoffgehalte der in den Versuchen analysierten Boden- und Pflanzenproben wurden nachfolgend genannte Verfahren des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten angewendet:

■ Boden:	N _{min}	Verfahren:	A 6.1.3.2 VDLUFA MBI
	P/K (CAL)		A 6.2.1.1 VDLUFA MBI
	Mg (CaCl ₂)		A 6.2.4.1 VDLUFA MBI
	pH-Wert		A 5.1.1 VDLUFA MBI
■ Pflanze:	N	Verfahren:	DIN ISO 10694 b (1995 – 03)
	P/K/Mg		DIN 51418 (1996 – 09)
			ISO 11885 (2005 – 11).

Die Energiebewertung beruht auf den Bewertungsformeln nach WEIßBACH (1996a, b). Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit dem Statistik-Software-Paket SPSS. Für den Test der Mittelwerte wurde der Tukey-Test verwendet. Unterschiedliche Buchstaben (a, b, ...) stehen für die Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05 \%$ = signifikant. Es wurden Varianzanalysen und Regressionsanalysen gerechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Gefäßversuche Silomais

Durch die Gründüngung mit den Zwischenfrüchten wurde das Wachstum der Maispflanzen nach dem Auflaufen im Vergleich zu keiner Düngung etwas verringert (Tab. 5). Dies zeigte sich in einer geringeren Wuchshöhe mit Ausnahme von Platterbse zum letzten Termin der Messung. Dagegen war der Chlorophyllgehalt der Blätter der gedüngten Maispflanzen immer deutlich höher besonders bei Platterbse, Perserklee, Welschem Weidelgras und Sommerraps. Am niedrigsten lagen diese Werte bei Buchweizen.

Die Düngung mit den Zwischenfrüchten hat zu einer Steigerung der Trockenmasseerträge von Silomais geführt und im Durchschnitt betrug die Zunahme 36 g/Gefäß (+22 %). Alle Zwischenfrüchte mit Ausnahme von Buchweizen erzielten signifikant höhere Trockenmasseerträge. Die größten Ertragszunahmen erreichte die Gründüngung mit Platterbse und Zottelwicke (Tab. 6). Der Trockenmassegehalt war in der Variante mit Weißklee am geringsten und nach Platterbse und ohne Zwischenfrüchte am höchsten.

Tabelle 5: Wuchshöhe und Chlorophyllgehalte von Silomais zu verschiedenen Zeitpunkten im Durchschnitt der Gefäßversuche

Zwischenfrüchte	Wuchshöhe (cm)				Chlorophyllgehalt (relative Werte)			
	DC 24-25	DC 32	DC 51-53**	DC 73***	DC 32	DC 51***	DC 73**	DC 77
ohne Zwischenfrüchte	48	65	116	132	378	307	298	253
Platterbse	45	60	108	138	446	405	351	335
Perserklee*	35	39		121	468	426		355
Lupine	44	57	111	118	436	376	333	309
Zottelwicke	38	54	110	113	425	412	367	316
Inkarnatklee*	36	40		117	438	405		346
Weißklee*	34	39		113	432	411		364
Welsches Weidelgras	39	54	101	122	457	403	292	300
Phacelia	38	55	110	120	411	321	328	335
Buchweizen*	39	44		123	376	364		321
Weißer Senf	35	51	102	110	407	408	334	347
Sommerraps	38	54	106	116	411	367	325	337
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	33	50	118	139	433	342	333	300

* Wertermittlung nur 1999; ** Versuchsdaten 1998; *** Versuchsdaten 1999

Tabelle 6: Erträge und Inhaltsstoffe von Silomais im Durchschnitt der Gefäßversuche

Zwischenfrucht	TM (%)	TM-Ertrag (g/Gf.)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Rohfaser (%)	Stärke (%)	ELOS (MJ/kg TM)	NEL (MJ/kg TM) ^{*1}
ohne	32,3 bc	161,5 a ^{*2}	0,59	0,10	1,37	0,10	28,20	11,34	63,41	5,83
Platterbse	32,9 c	212,8 e	0,81	0,08	1,37	0,13	24,47	12,92	66,79	6,25
Perserklee ^{*1}	30,2 bc	206,4 de	0,71	0,09	1,63	0,11	26,98	10,46	65,35	5,97
Lupine	31,9 bc	192,7 de	0,74	0,09	1,47	0,13	25,55	10,57	65,16	5,96
Zottelwicke	31,2 ab	205,5 e	0,78	0,17	1,47	0,11	25,12	9,61	65,38	6,06
Inkarnatklee ^{*1}	29,4 ab	206,2 de	0,71	0,10	1,64	0,13	25,94	9,52	66,46	6,07
Weißklee ^{*1}	28,8 a	196,9 de	0,76	0,09	1,65	0,13	25,66	10,99	66,76	6,1
Welsch. Weidelgras	31,1 ac	202,7 de	0,79	0,09	1,69	0,12	24,39	11,13	66,61	6,13
Phacelia	30,6 ac	179,8 bc	0,79	0,09	1,77	0,14	23,91	10,41	67,43	6,19
Buchweizen ^{*1}	31,2 ac	171,1 ab	0,63	0,11	1,79	0,16	27,13	10,38	66,06	6,02
Weißer Senf	31,6 bc	192,4 cd	0,80	0,10	1,60	0,13	23,81	12,81	67,83	6,31
Sommerraps	31,9 bc	205,7 de	0,87	0,09	1,55	0,13	23,23	12,56	68,09	6,3
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	31,0	197,5	0,76	0,10	1,60	0,13	25,11	11,03	66,54	6,12

^{*1}ohne 1998, ^{*2}verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede; Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)

Im Durchschnitt der Zwischenfrucht-Varianten wurden die N-Gehalte um 0,17 %, die K-Werte um 0,23 % und die Mg-Gehalte um 0,129 % in den Maispflanzen angehoben. Die P-Gehalte wurden dagegen nicht verändert. Die Rohfasergehalte fielen in allen Varianten ab und die Stärkegehalte verringerten sich außer in den Varianten Platterbse, Weißer Senf und Sommerraps. Die Energiegehalte (ELOS- und NEL-Werte) wurden angehoben.

Die Nährstoffentzüge lagen mit 40 % bis 60 % deutlich über denen der Kontrollvariante (Tab. 7). Die Zufuhr von ¹⁵N markiertem Stickstoff reicherte den Boden künstlich mit dem ¹⁵N-Isotopengehalt an und schaffte die Voraussetzung, den Weg dieses Stickstoffs vom Boden in die Pflanze zu verfolgen. Aus der Pflanzenaufnahme des markierten Stickstoffs ließ sich dann der Anteil der Bodenaufnahme bestimmen.

Die ¹⁵N-Markierung führte in der ungedüngten Variante zu einem aufgenommenen N-Anteil in den Maispflanzen von durchschnittlich 63,5 %. In den Zwischenfrucht-Varianten lag dieser Anteil dagegen nur bei 32,7 % bis 53,8 %. Den geringsten Aufnahmeanteil aus dem Boden wiesen die Gründüngung mit Weißem Senf (32,7 %), Sommerraps (36,1 %) und Platterbse (36,6 %) auf, den höchsten Anteil hatte die Gründüngung mit Buchweizen (53,8 %). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Differenz von Gesamtaufnahme und Anteil aus dem Boden die Aufnahme der Pflanzen aus dem mineralisierten Anteil der Gründüngung ergibt. Dieser Anteil betrug im Durchschnitt aller untersuchter Arten 23 %.

Tabelle 7: Nährstoffentzüge sowie ¹⁵N-Anteile im Silomais aus Gefäßversuchen

Zwischenfrucht	Gesamtentzug (g/Gf.)				Nutzung durch Pflanze	
	N	P	K	Mg	¹⁵ N (g/Gf.)	rel. ¹⁵ N (%) (N _{ges} = 100%)
ohne Zwischenfrüchte	0,96	0,17	2,24	0,16	0,61	63,5
Platterbse	1,75	0,18	2,94	0,28	0,64	36,6
Perserklee*	1,48	0,18	3,42	0,24	0,59	39,9
Lupine	1,45	0,18	2,87	0,25	0,60	41,4
Zottelwicke	1,63	0,17	3,05	0,25	0,70	42,9
Inkarnatklee*	1,48	0,21	3,37	0,27	0,61	41,2
Weißklee*	1,52	0,19	3,26	0,26	0,61	40,1
Welsch. Weidelgras	1,61	0,19	3,48	0,25	0,63	39,1
Phacelia	1,43	0,17	3,19	0,26	0,60	42,0
Buchweizen*	1,06	0,18	3,07	0,28	0,57	53,8
Weißer Senf	1,96	0,19	3,09	0,26	0,64	32,7
Sommerraps	1,80	0,20	3,17	0,27	0,65	36,1
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	1,56	0,18	3,17	0,26	0,62	40,5

* ohne Versuchsjahr 1998

Nach der Ernte wurden in den Varianten mit Zwischenfruchtdüngung von den hochstrukturierten Verbindungen (Humus, N_i) sowie von den pflanzenverfügbaren Nährstoffen oft noch höhere Werte im Boden gemessen als in der Vergleichsvariante (Tab. 8). Bei Stickstoff erfolgte besonders in den Varianten Perserklee, Inkarnatklee, Phacelia und Sommerraps eine Anreicherung im Boden, da relativ hohe N_{min}-Werte gemessen wurden. Sehr niedrige N_{min}-Werte verzeichneten die Varianten Buchweizen, Weißklee und Platterbse. Die Anteile der ¹⁵N-markierten N_{min}-Werte betragen nach der Maisernte im Durchschnitt der Zwischenfruchtvarianten noch 0,08 mg/100 g Boden, wobei bei Phacelia, Sommerraps und Zottelwicke die Werte etwas höher liegen.

Eine Zunahme der Kaliumgehalte konnte in allen Zwischenfruchtvarianten beobachtet werden, während die Werte für P nur unbedeutend höher lagen. Eine leichte Zunahme der P-Bodengehalte zeigte sich bei Phacelia.

Tabelle 8: Einfluss der Zwischenfrucht-Gründung auf die Zusammensetzung des Bodens nach der Maisernte

	N _{min} (mg/100 g Boden)	Humus (%)	pH (mg/100 g Boden)	P (mg/100 g Boden)	K (mg/100 g Boden)	Mg (mg/100 g Boden)	N (%)	¹⁵ N (mg/100 g Boden)
ohne Zwischenfrüchte	0,023	2,40	4,7	7,3	7,1	6,1	0,140	0,048
Platterbse	0,030	2,70	5,0	8,1	13,3	7,5	0,157	
Perserklee*	0,235	2,40	5,0	6,8	19,1	8,1	0,140	0,020
Lupine	0,113	2,57	5,0	7,4	14,9	7,8	0,160	0,070
Zottelwicke	0,197	2,50	5,0	8,2	16,5	6,9	0,150	0,135
Inkarnatklee*	0,265	2,45	5,2	6,4	26,8	9,3	0,135	0,035
Weißklee*	0,035	2,50	5,2	6,0	23,4	8,8	0,150	0,035
Welsch. Weidelgras	0,053	2,77	5,1	8,2	28,0	8,3	0,167	0,075
Phacelia	0,353	2,83	5,5	10,0	32,5	8,9	0,173	0,157
Buchweizen*	0,025	2,50	5,3	7,2	18,9	10,4	0,150	0,050
Weißer Senf	0,083	2,53	5,4	8,5	23,1	7,5	0,153	0,084
Sommerraps	0,293	2,60	5,1	8,7	22,8	7,8	0,150	0,139
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	0,15	2,58	5,1	7,8	21,8	8,3	0,15	0,08

* ohne Versuchsjahr 1998

Mit steigenden N-Gehalten in den zugeführten Zwischenfrüchten ist zu erkennen, dass der aufgenommene ¹⁵N-markierte Anteil an Stickstoff aus dem Boden in der Tendenz abgenommen hat ($r = -0,421$, Abb. 1). Dagegen nehmen mit steigenden N-Gehalten der Zwischenfrüchte die TM-Ganzpflanzenerträge ($r = +0,609^*$) sowie die N-Gehalte ($r = +0,574^*$) im Mais deutlich sowie die NEL-Werte leicht zu ($r = +0,296$). Zwischen steigenden P-Werten in den Zwischenfrüchten und P-Gehalten im Mais wurden nur relativ geringe positive Tendenzen vorgefunden ($r = +0,172$); desgleichen gilt für K ($r = +0,269$) und für die Mg-Werte ($r = +0,542^*$).

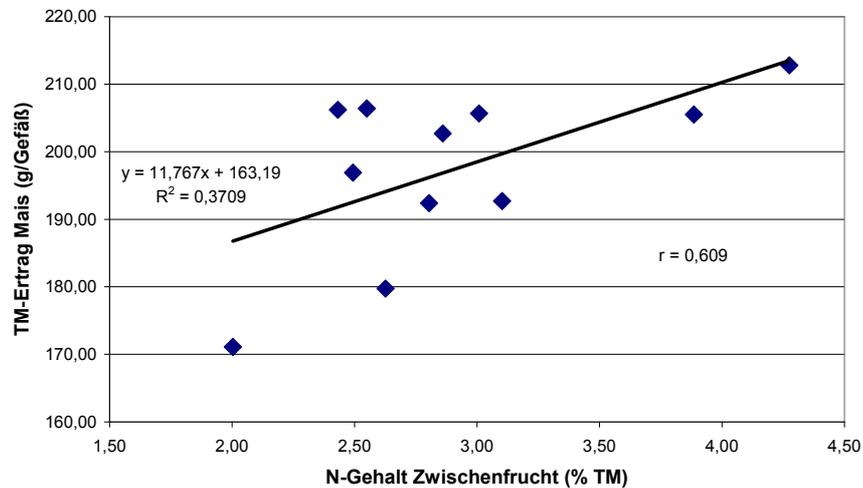
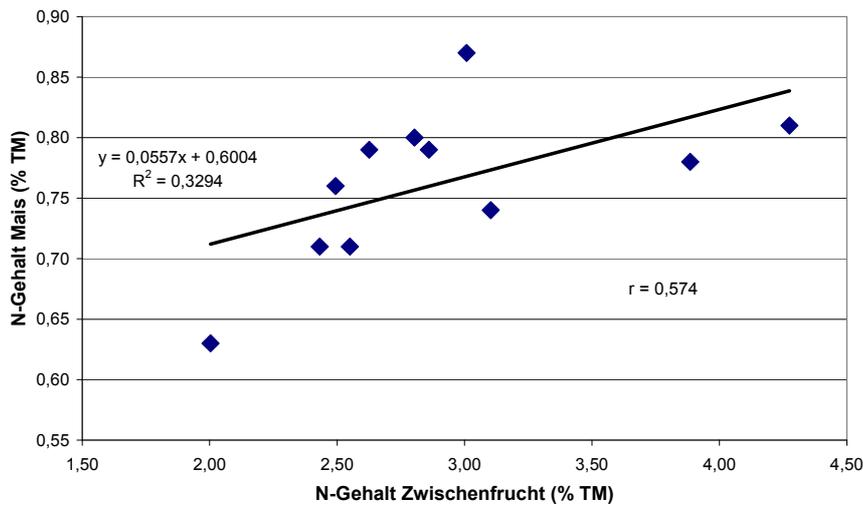
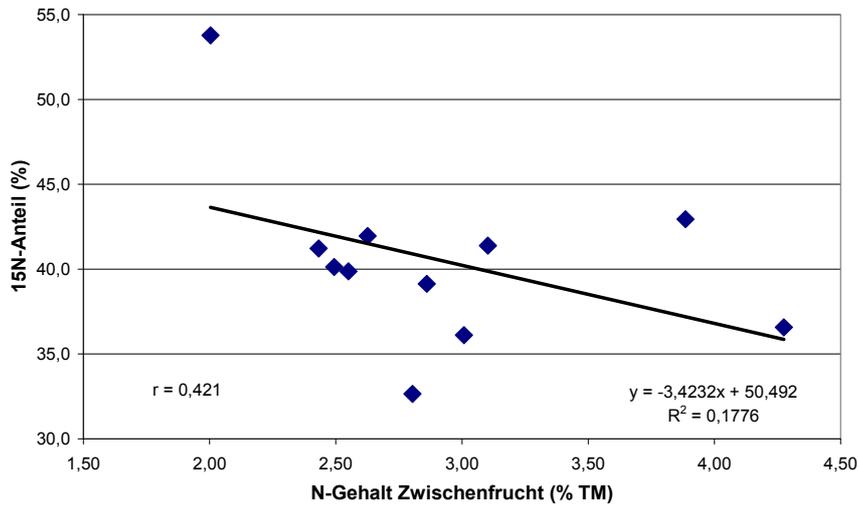


Abbildung 1: Einfluss steigender N-Gehalte in den Zwischenfrüchten auf ^{15}N -markierte Anteile, die N-Gehalte sowie die TM-Erträge von Mais in den Gefäßversuchen

3.2 Gefäßversuche Kartoffeln

Bei den Kartoffeln konnte über die Gründüngung eine Stimulation des Wachstums erreicht werden und die Wuchshöhen nahmen bei allen Varianten mit Zwischenfrüchten außer nach Buchweizen-Düngung deutlich zu (Tab. 9). Im Durchschnitt wurde die Wuchshöhe um 6 cm angehoben und auch die Chlorophyllwerte wurden erhöht. Dies zeigte sich besonders deutlich bei Zottelwicke, Weißklee, Platterbse, Welschem Weidelgras und Sommerraps. Bei Buchweizen wurde der Chlorophyllgehalt dagegen nur gering gesteigert. Die Zwischenfrüchte führten in allen Varianten zu einer Steigerung des Krautwachstums der Kartoffeln. Außer bei Buchweizen konnten alle Varianten signifikante Steigerungen des Krautertrages erzielen, wobei die durchschnittliche Zunahme 6 g Trockenmasse/Gefäß betrug (Tab. 9).

Das stärkere Wachstum der Kartoffeln hatte auch einen positiven Einfluss auf die Knollenerträge und die Zusammensetzung der Knollen (Tab. 10). Außer bei Perserklee wurden die Erträge in allen Varianten signifikant erhöht. So stiegen die Knollenerträge um durchschnittlich 74 g/Gefäß an. Die Gründüngung mit Platterbse, Zottelwicke und Sommerraps erreichte die höchsten Knollenerträge. Die Knollenzahl variierte zwischen 16 bis 18 Knollen, die Knollengewichte stiegen um durchschnittlich 5 g an.

Die Zwischenfrucht-Düngung führte zu einem Anstieg der N- und K-Gehalte sowie der Stärke-Gehalte in den Knollen. Dagegen waren niedrigere P-Werte in den Knollen festzustellen. Die niedrigsten Erträge waren nach Perserklee- und Inkarnatklee-Düngung zu verzeichnen. Buchweizendüngung führte zu den niedrigsten N-Gehalten in den Knollen.

Tabelle 9: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf die Wuchshöhe, Inhaltsstoffe und TM-Erträge von Kartoffelkraut aus Gefäßversuchen im Durchschnitt der Versuchsjahre

Zwischenfrüchte	Wuchshöhe DC 71 - 75 (cm)	Chlorophyll- gehalt DC 81 - 85	TM-Ertrag (g/Gf.)	TM (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)
ohne	36,7	405,3	10,63 a	61,61	1,29	0,19	2,15	0,12
Platterbse	46,3	594,3	17,81 cd	47,87	1,55	0,15	2,18	0,12
Perserklee*	42,4	503,5	16,67 bc	47,34	1,55	0,17	2,40	0,13
Lupine	42,3	519,3	16,38 bc	54,00	1,42	0,15	2,22	0,12
Zottelwicke	49,0	582,7	18,71 d	57,30	1,58	0,14	2,23	0,12
Inkarnatklee*	41,6	480,5	14,79 b	61,05	1,42	0,16	2,35	0,12
Weißklee*	44,0	451,0	15,47 b	60,17	1,46	0,16	2,35	0,12
Welsch. Weidelgras	44,6	463,6	16,58 bc	60,40	1,51	0,15	2,34	0,12
Phacelia	42,1	508,7	15,39 b	64,14	1,46	0,16	2,40	0,11
Buchweizen*	34,1	412,5	12,38 a	40,50	1,26	0,19	2,34	0,12
Weißer Senf	41,6	478,3	16,59 bc	42,50	1,40	0,16	2,35	0,12
Sommerraps	47,8	547,7	18,38 d	51,86	1,53	0,15	2,25	0,11
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	43,3	503,8	16,29	53,38	1,47	0,16	2,31	0,12

*1 ohne Versuchsjahr 1998, *2 verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede; Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)

Tabelle 10: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf die Erträge und Inhaltsstoffe von Kartoffelknollen im Durchschnitt der Gefäßversuche

Zwischenfrüchte	FM-Ertrag (g/Gf.)	TM-Ertrag (g/Gf.)	TM (%)	Knollen- anzahl (St./Gf.)	Knollen- gewicht (g)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Stärke (%)
ohne	321,6 a	61,7 a	19,1	17	20,30	1,32	0,191	2,15	0,118	73,6
Platterbse	401,2 b	78,0 bc	19,4	17	24,22	1,55	0,149	2,18	0,116	75,5
Perserklee*	372,7 ab	69,3 ab	18,6	17	22,39	1,55	0,168	2,40	0,127	75,2
Lupine	389,6 b	73,7 bc	18,9	15	26,26	1,42	0,152	2,22	0,116	75,9
Zottelwicke	398,7 b	74,8 bc	18,8	17	25,29	1,58	0,144	2,23	0,116	78,0
Inkarnatklee*	391,0 b	72,6 ac	18,6	16	26,12	1,42	0,161	2,35	0,118	76,3
Weißklee*	402,6 b	73,8 bc	18,4	18	24,39	1,46	0,158	2,35	0,120	76,3
Welsch. Weidelgras	421,3 b	79,9 c	18,7	18	25,00	1,51	0,153	2,34	0,117	74,6
Phacelia	403,0 b	74,6 bc	18,5	15	27,24	1,46	0,153	2,40	0,114	74,8
Buchweizen*	388,5 b	74,2 bc	19,1	16	26,18	1,26	0,187	2,34	0,125	74,2
Weißer Senf	394,5 b	73,5 bc	18,6	17	26,34	1,52	0,155	2,37	0,119	74,9
Sommerraps	390,2 b	74,8 bc	19,2	16	25,35	1,53	0,153	2,25	0,114	74,1
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	395,8	74,5	18,8	16,5	25,34	1,48	0,16	2,31	0,12	75,4

*1 ohne Versuchsjahr 1998, *2 verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede;
Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)

Tabelle 11: Nährstoffentzüge sowie ¹⁵N-Anteile der Gesamtpflanzen (Kraut + Knollen) im Durchschnitt der Gefäßversuche

Zwischenfrucht	Gesamtentzug (g/Gf.)				Nutzung durch Pflanze	
	N	P	K	Mg	¹⁵ N (g/Gf.)	¹⁵ N (%) (N _{ges} = 100%)
ohne Zwischenfrüchte	0,99	0,13	1,83	0,11	0,60	60,03
Platterbse	1,58	0,14	2,64	0,14	0,58	36,61
Perserklee*	1,51	0,14	2,84	0,15	0,58	38,50
Lupine	1,36	0,13	2,47	0,13	0,56	41,66
Zottelwicke	1,56	0,13	2,66	0,13	0,57	36,39
Inkarnatklee*	1,33	0,13	2,56	0,13	0,56	42,38
Weißklee*	1,43	0,13	2,69	0,14	0,56	39,13
Welsches Weidelgras	1,51	0,13	2,90	0,13	0,61	40,31
Phacelia	1,36	0,13	2,67	0,12	0,57	41,80
Buchweizen*	1,27	0,17	2,61	0,16	0,66	51,66
Weißer Senf	1,38	0,14	2,83	0,14	0,63	45,33
Sommerraps	1,50	0,13	2,72	0,13	0,56	37,34
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	1,44	0,14	2,69	0,14	0,59	41,01

* ohne Versuchsjahr 1998

Die Nährstoffentzüge waren in den Gründungsvarianten z. T. deutlich erhöht (besonders N und K) (Tab. 11). Die Zwischenfruchtvarianten Platterbse, Perserklee, Zottelwicke, Welsches Weidelgras und Sommerraps lagen im N-Entzug über dem Durchschnitt. Nach Buchweizen-Düngung waren die N-Mengen am niedrigsten, während die Werte für P und Mg zu den höchsten des Versuches zählten.

Vor dem Versuch wurde der Boden mit 1 g ¹⁵N/Gefäß markiert. Dies führte dazu, dass in den Varianten ohne Zwischenfrüchte 60 % des von der Gesamtpflanze aufgenommenen N aus dieser N-Düngung stammten. Durch die Zwischenfruchtdüngung wurden im Durchschnitt 41 % (36 – 51 %) des markierten Stickstoffs aufgenommen. Daraus ist ersichtlich, dass die Differenzen von 21 % an N aus den Zwischenfrüchten freigesetzt und von den Pflanzen aufgenommen worden sind. Besonders viel N wurde von der Gründung aus Platterbse, Zottelwicke und Sommerraps bereitgestellt, wenig Stickstoff lieferten Buchweizen und Weißer Senf (Tab. 11).

Tabelle 12: Nährstoffgehalte im Boden nach der Ernte der Kartoffeln im Durchschnitt der Gefäßversuche

	N _{min} (mg/100 g Boden)	Humus (%)	pH (mg/100 g Boden)	P (mg/100 g Boden)	K (mg/100 g Boden)	Mg (mg/100 g Boden)	N (%)	¹⁵ N (mg/100 g Boden)
ohne Zwischenfrüchte	0,37	2,37	4,94	7,97	9,32	6,65	0,150	0,13
Platterbse	1,16	2,61	4,77	8,89	11,32	8,86	0,160	0,27
Perserklee*	1,34	2,53	5,00	7,00	17,92	9,38	0,150	0,37
Lupine	1,14	2,58	5,00	8,91	11,27	8,04	0,160	0,18
Zottelwicke	1,64	2,55	4,81	8,96	11,77	7,89	0,160	0,44
Inkarnatklee*	1,61	2,55	5,02	7,32	22,75	9,15	0,160	0,48
Weißklee*	1,94	2,58	4,93	7,45	21,08	9,33	0,160	0,75
Welsch. Weidelgras	1,57	2,49	4,82	9,42	25,77	8,26	0,153	0,39
Phacelia	1,94	2,81	5,39	10,44	29,68	8,59	0,180	0,50
Buchweizen*	0,64	2,42	5,40	8,35	28,17	11,12	0,150	0,18
Weißer Senf	1,10	2,53	5,14	9,61	18,23	8,48	0,155	0,37
Sommerraps	1,59	2,72	4,95	9,64	18,09	7,96	0,175	0,44
Mittelwerte: mit Zwischenfrucht	1,42	2,58	5,02	8,73	19,64	8,82	0,160	0,40

* ohne Versuchsjahr 1998

Die zugeführten Zwischenfrüchte veränderten auch die Gehalte an Inhaltsstoffen in den Böden der Gefäße nach der Ernte der Kartoffeln (Tab. 12). So wurden sowohl schwerer lösliche Fraktionen (Humus, N_i) als auch besonders leicht lösliche bzw. pflanzenverfügbare Nährstoffe deutlich angehoben. Im Vergleich zur Kontrolle waren dies besonders N_{min}, K und Mg. Die Werte für P wurden dagegen in den Zwischenfruchtvarianten nur leicht angehoben, am deutlichsten wurde dies bei Phacelia sichtbar. Nach Buchweizendüngung wurde nur ein geringer Anstieg der N_{min}-Werte im Herbst registriert. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Pflanzensubstanz im Vergleich zu den anderen eingebrachten Arten langsamer mineralisiert. Dagegen war in dieser Variante der im Boden verbliebene ¹⁵N-Anteil im N_{min} verhältnismäßig gering, was auf eine vergleichsweise hohe N-Aufnahme der Kartoffelpflanzen aus dem Boden hindeutet.

Regressionsanalytische Auswertungen zeigten, dass mit steigenden N-Gehalten in den Zwischenfrüchten der Anteil an ¹⁵N-markiertem Stickstoff, der von den Kartoffeln aus dem Boden aufgenommen wurde, in der Tendenz abgenommen hat ($r = -0,433$). Gleichzeitig war auch ein leicht positiver Effekt auf die Knollenerträge zu verzeichnen ($r = +0,248$) und besonders die N-Gehalte der Knollen konnten durch steigende N-Gehalte in der Gründüngung positiv beeinflusst werden ($r = +0,673^*$) (Abb. 2). In geringerem Umfang wurden auch die P-Gehalte der Knollen durch steigende P-Gehalte in den Zwischenfrüchten ($r = +0,247$) sowie die K-Werte ($r = +0,331$) und Mg-Gehalte ($r = +0,531^*$) positiv verändert.

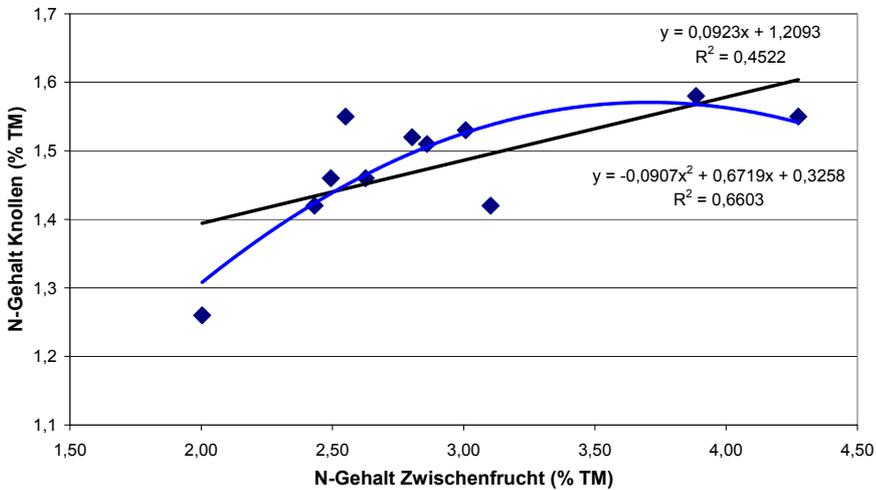
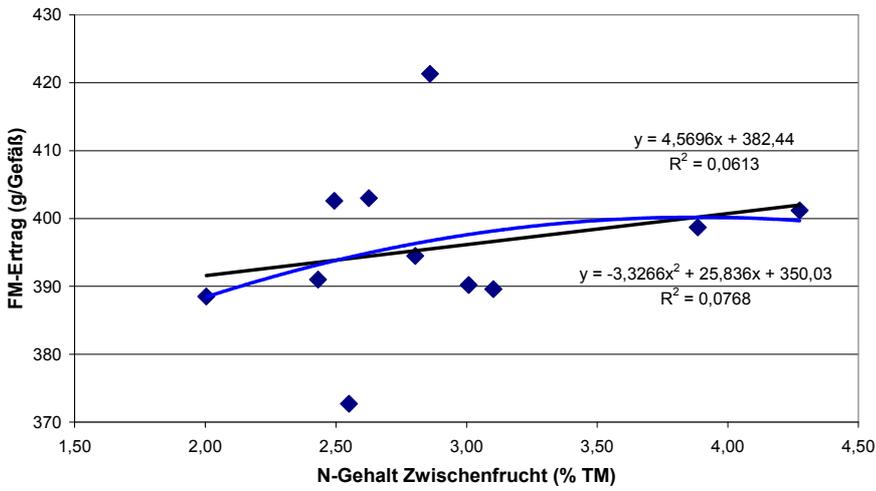
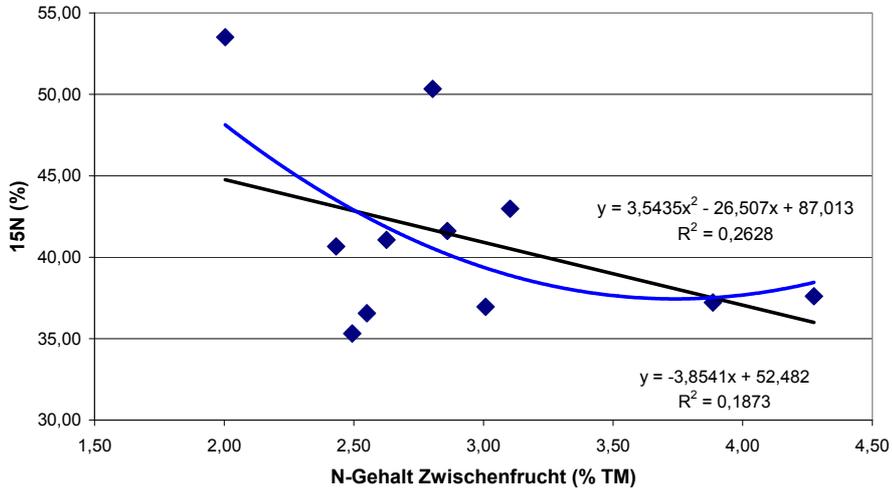


Abbildung 2: Einfluss der N-Gehalte in den Zwischenfrüchten auf den ¹⁵N-markierten Anteil im Boden-N (oben), die FM-Erträge an Knollen (Mitte) und die N-Gehalte der Knollen (unten) im Durchschnitt der Gefäßversuche

3.3 Feldversuche Silomais

3.3.1 N_{\min} -Untersuchungen zum Zwischenfruchtanbau

Der mineralische Stickstoffgehalt im Boden wurde in der Tiefe von 0 – 90 cm vor der Aussaat der Zwischenfrüchte und nach dem Umbruch der Zwischenfrüchte bestimmt. Die Abbildung 3 zeigt die N_{\min} -Gehalte in den einzelnen Bodenschichten im Durchschnitt der Versuchsjahre. Vor Versuchsanlage im Juli/August wurde über die drei Versuchsjahre ein mittlerer Wert von 50 kg N/ha festgestellt. Die folgenden Werte wurden jeweils nach dem Umbruch der Zwischenfrüchte Ende Oktober bis Mitte November ermittelt. In der Variante „ohne Zwischenfrüchte“ waren die Bodengehalte mit 65 kg N/ha insgesamt am höchsten, aber auch bei einigen Zwischenfrüchten wie Platterbse, Zottelwicke und Buchweizen wurden die N_{\min} -Werte nur geringfügig reduziert. Vom Welschen Weidelgras und Sommerraps sowie den Gemengen wurde viel Stickstoff aufgenommen, sodass die N_{\min} -Werte im Vergleich der Arten am niedrigsten ausfielen. Es zeigte sich insgesamt eine deutliche Reduktion der N_{\min} -Werte durch den Zwischenfruchtanbau gegenüber der Variante ohne Zwischenfrüchte.

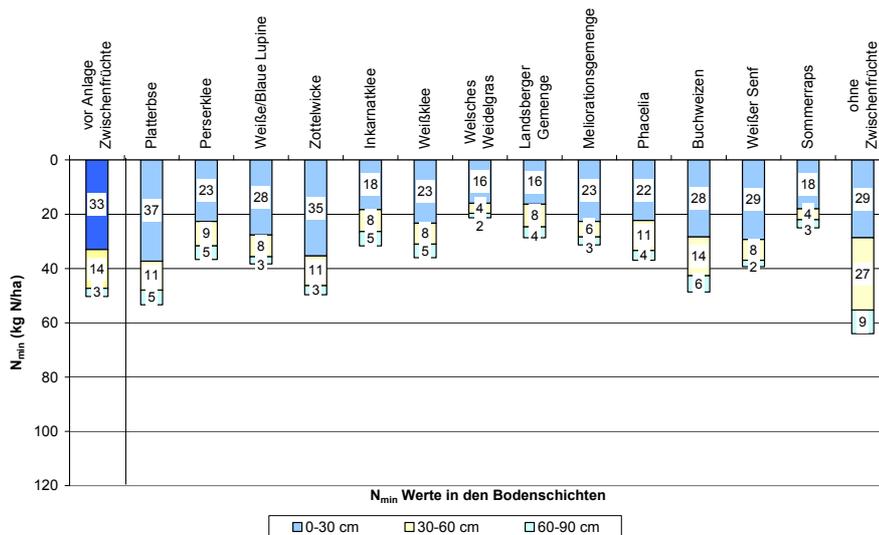


Abbildung 3: N_{\min} -Werte (kg/ha) in den Bodentiefen im Durchschnitt der Jahre 1999 bis 2001 vor Versuchsanlage und nach dem Umbruch der Zwischenfrüchte

3.3.2 N_{\min} -Untersuchungen zum Silomaisanbau

Neben der Darstellung der gemessenen N_{\min} -Werte nach den einzelnen angebaute Zwischenfruchtarten wurden bestimmte Arten zu Gruppen zusammengefasst, um daraus Ableitungen treffen zu können. Da die Leguminosen mit sechs Arten vertreten waren und Gras nur mit einer Art, musste dies bei der Interpretation beachtet werden. Es wurde folgende Unterteilung vorgenommen:

- Leguminosen: Platterbse, Perserklee, Lupine, Zottelwicke, Inkarnatkiee, Weißkiee
- Gras: Welsches Weidelgras
- Kräuter: Phacelia, Buchweizen, Weißer Senf, Sommerraps
- Gemenge:
 1. Landsberger Gemenge: jeweils 20 kg/ha Zottelwicke, Inkarnatkiee, Welsches Weidelgras
 2. Meliorationsgemenge: 20 kg/ha Platterbse, 10 kg/ha Perserklee, 15 kg/ha Buchweizen, 2 kg/ha Phacelia.

Vor der Maisaussaat befanden sich die gemittelten N_{\min} -Werte (0 – 60 cm) der Fruchtartengruppen in einem Bereich von 52 kg bis 110 kg N/ha. Dabei zeigten sich im Anbaujahr 2000/01 aber auch schon vor der Maisaussaat bei den Leguminosen und Gemengen hohe Werte von mehr als 100 kg N/ha (Tab. 13). Zwischen den einzelnen Leguminosenarten traten deutliche Unterschiede auf. So wurden nach der Platterbse die höchsten N_{\min} -Werte von 147 kg N/ha gemessen und nach Inkarnatkiee 80 kg N/ha (Abb. 4).

Im kniehohen Maisbestand waren nach den Leguminosen die N_{\min} -Werte in allen drei Anbaujahren im Durchschnitt deutlich höher als nach den anderen Pflanzenarten, wobei in den einzelnen Anbaujahren große Unterschiede im N-Niveau auftraten. Relativ hohe Werte waren auch nach dem Anbau des Meliorationsgemenges sowie nach Perserklee, Lupinen und Zottelwicke zu verzeichnen. Am niedrigsten waren die Gehalte im Bereich von 80 kg N/ha nach Inkarnatklee, Buchweizen, Phacelia und ohne Zwischenfruchtanbau. Nach der Maisernte bewegten sich die N_{\min} -Werte in einem Bereich von 40 kg bis 60 kg N/ha.

Tabelle 13: N_{\min} -Gehalte (kg N/ha) in der Bodenschicht 0 - 60 cm vor der Aussaat von Mais, im Bestand und nach der Ernte im Durchschnitt der Zwischenfruchtgruppen

Gruppe	Jahr 1998/1999			Jahr 1999/2000			Jahr 2000/2001		
	vor Aussaat	Mais kniehoch	Ernte	vor Aussaat	Mais kniehoch	Ernte	vor Aussaat	Mais kniehoch	Ernte
Leguminosen	80	130	34	65	60	49	110	205	56
Gras	83	104	29	71	37	43	57	132	44
Gemenge	86	106	31	71	62	42	107	174	41
Kräuter	62	80	44	52	56	29	87	174	37
ohne	52	78	42	52	54	37	87	174	37
Mittelwert	74	107	37	62	57	41	80	156	28

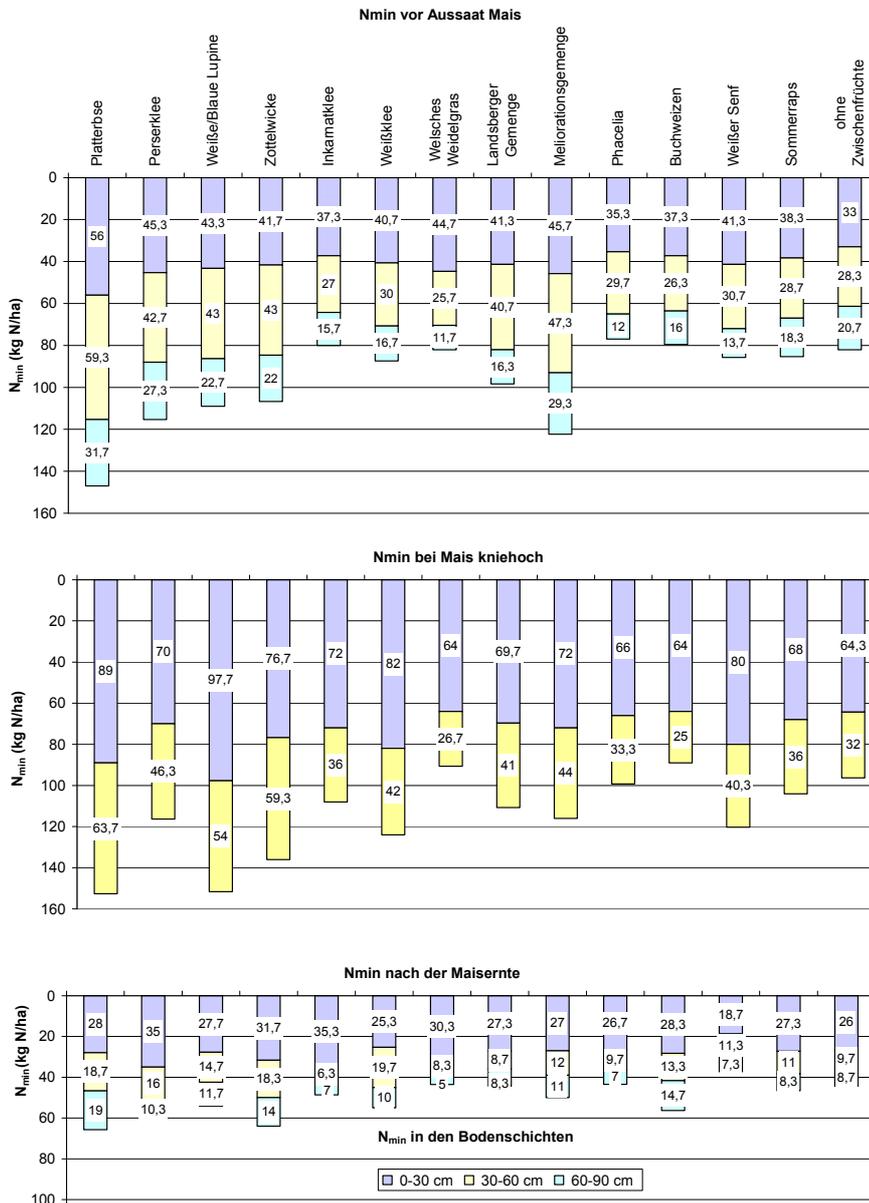


Abbildung 4: N_{min}-Werte (kg N/ha) unter Silomais im Durchschnitt der Jahre 1999 bis 2001

Im Versuchsdurchschnitt führte der nährstoffkonservierende Effekt des Zwischenfruchtanbaus im Vergleich zur Brache zu einem Rückgang der N_{min}-Werte, was besonders nach der Einarbeitung der Zwischenfrüchte deutlich wird (Abb. 5). Dabei hinterließen die Leguminosen und Kräuter ähnlich hohe Werte, während bei den Gemengen und besonders beim Gras eine stärkere N-Aufnahme zu verzeichnen war. Sichtbar ist auch eine N_{min}-Zunahme bis zum Spätherbst bei fehlendem Zwischenfruchtanbau. Infolge der Mineralisation und Nährstofffreisetzung im Frühjahr erhöhte sich die N_{min}-Menge bis zur Maisaussaat in der ersten Maidekade in allen Zwischenfruchtvarianten deutlich. Dabei wurden nach den Leguminosenzwischenfrüchten und nach den Gemengen die höchsten N_{min}-Gehalte ermittelt. Nach Gras und Kräutern/Kruzifern lagen diese nur etwas über der Variante ohne Zwischenfruchtanbau.

Im Verlauf des Maiswachstums setzten sich diese Prozesse fort, sodass bis Kniehöhe des Maises eine weitere N_{min}-Zunahme ermittelt wurde. Dabei führten die Leguminosenzwischenfrüchte zu den deutlich höchsten Werten, gefolgt von denen für Gemenge. Bis zur Beprobung nach der Maisernte verringerte sich das N_{min}-Vorkommen bei allen Zwischenfruchtgruppen, wobei die Leguminosen zwar auch deutlich niedrigere, aber weiterhin die höchsten N_{min}-Vorräte hinterließen. Die anderen Gruppen führten zu niedrigeren fast gleich hohen N_{min}-Werten wie auf der Variante ohne Zwischenfrüchte.

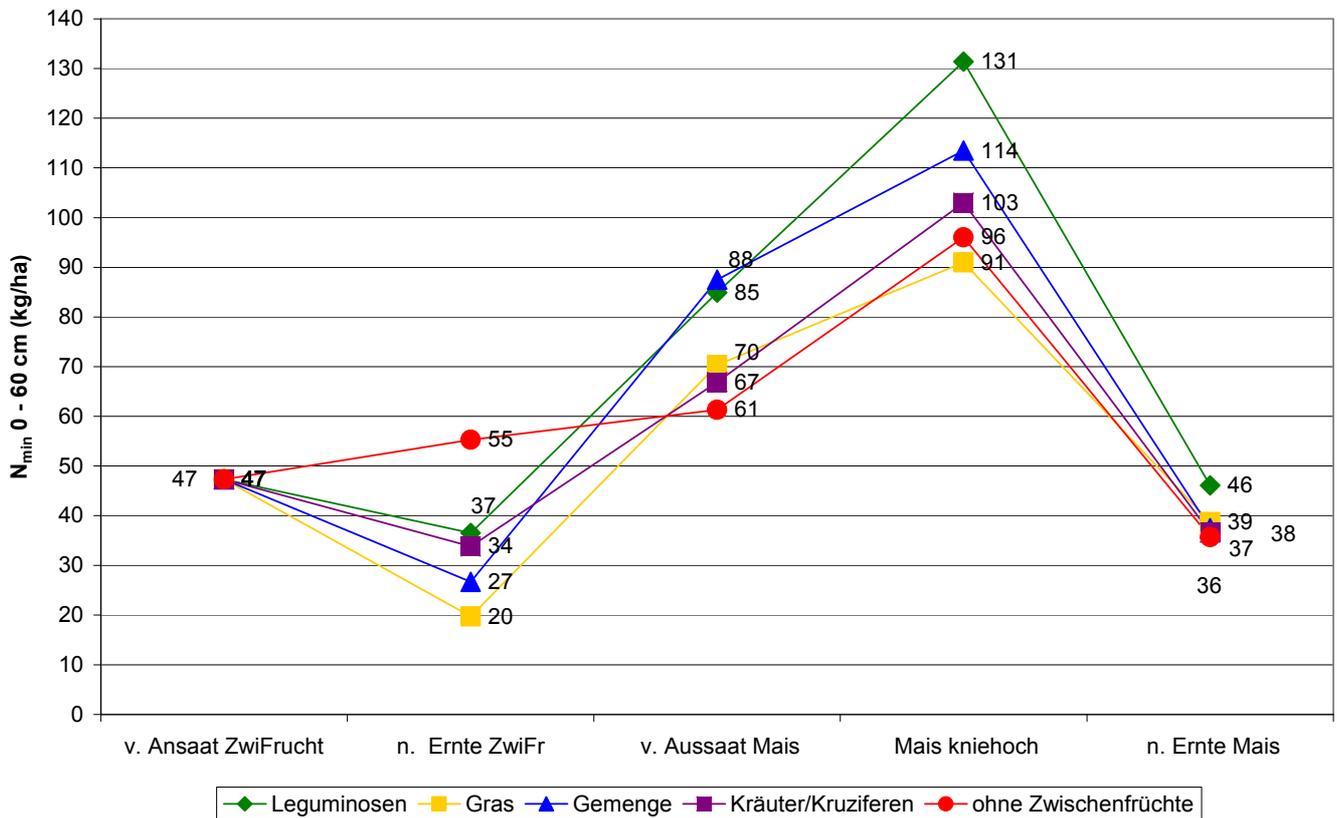


Abbildung 5: Einfluss des Anbaus der gruppierten Zwischenfruchtarten auf den Verlauf der N_{\min} -Gehalte (0 - 60 cm Tiefe, dreijähriger Durchschnitt)

3.3.3 Ertragsbildung und Inhaltsstoffe der Zwischenfrüchte

In Abhängigkeit von der Witterung wichen die Aufwüchse der Zwischenfrüchte und damit die Aufwuchsmengen in den Versuchsjahren z. T. stark voneinander ab. Wie die Abbildung 6 zeigt, fehlten im ersten Versuchsjahr 1998 die Aufwüchse der Kleearten, da die Parzellen von Perserklee, Inkarnatklee und Weißklee sehr stark verunkrautet waren. Aus diesem Grund war kein erfassbarer Aufwuchs vorhanden. Auch in den zwei folgenden Jahren zeigte sich bei den Kleearten eine langsame Entwicklung und die Verunkrautung war in diesen Parzellen immer am stärksten.

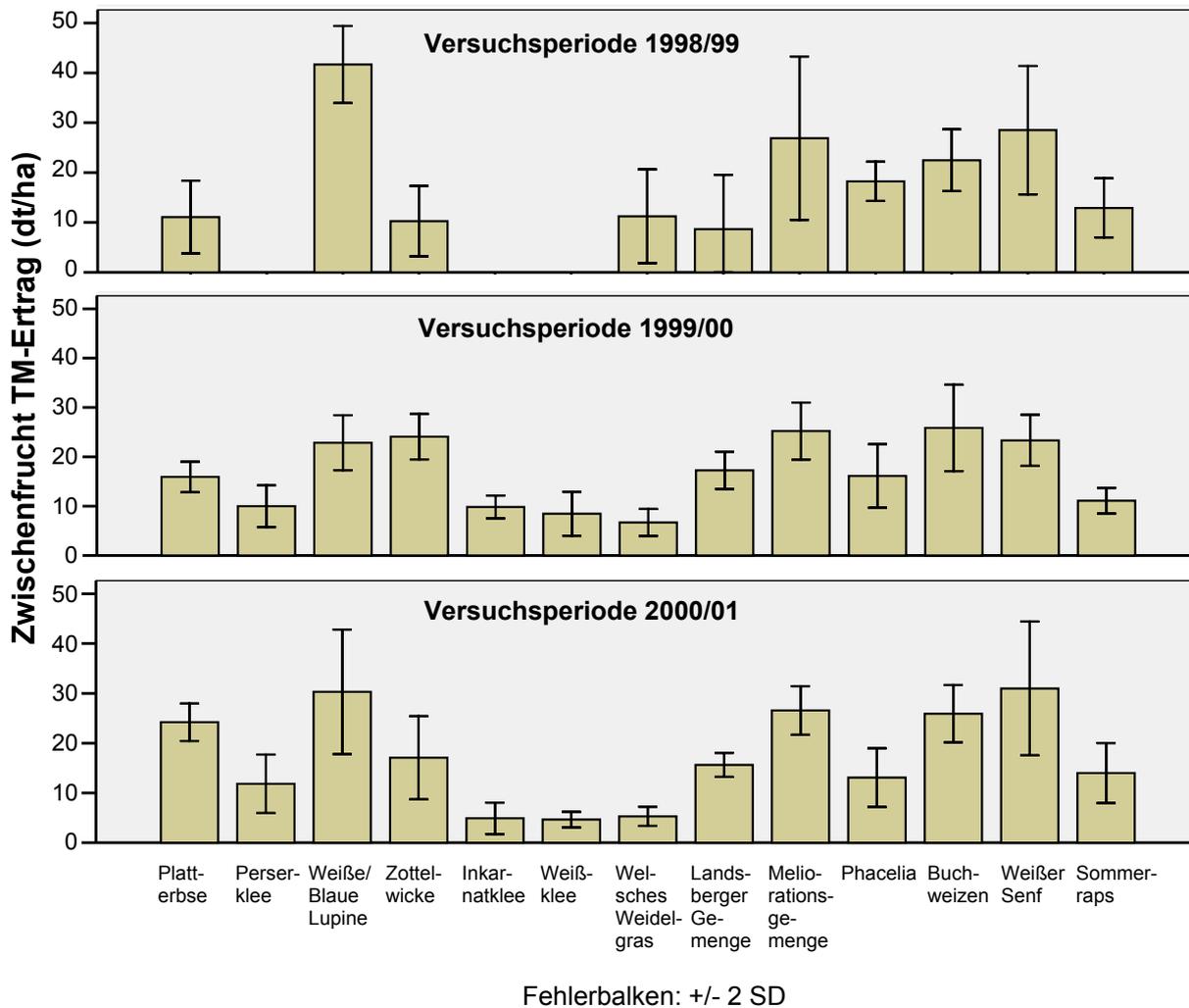


Abbildung 6: Trockenmasseertrag der Zwischenfrüchte in den Versuchsjahren

Die gebildeten Trockenmassen bewegen sich in einem Bereich von 6 dt bis 31 dt/ha (Tab. 14). Aus den schon genannten Gründen bildeten die feinkörnigen Leguminosen die geringste Masse, aber auch das Welsche Weidelgras wies nur eine Trockenmassebildung von durchschnittlich 7 dt/ha auf. Dagegen konnten die Lupine, die Platterbse und die Zottelwicke ähnlich hohe Trockenmassen bilden wie die anderen Arten. Die Stickstoffgehalte im Aufwuchs waren bei den Leguminosen mit 3 % bis 5 % in der Trockenmasse höher als in den Kräutern mit 2 % bis 3 %, sodass die gebundene Stickstoffmenge in der Trockenmasse von Lupine, Zottelwicke und Platterbse am höchsten war. Die Unterschiede der Gehalte an Phosphor, Kalium und Magnesium waren nicht so stark wie bei Stickstoff ausgeprägt.

Tabelle 14: Trockenmasseerträge sowie Nährstoffgehalte und -erträge der Zwischenfrüchte im Durchschnitt der Versuchsjahre 1998 – 2000

Zwischenfrucht	TM-Ertrag (dt/ha)	TM in FM (%)	Nährstoffgehalte in der TM (%)				Nährstofferträge (kg/ha)			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Platterbse	17,07	13,70	4,97	0,39	2,67	0,31	83,80	6,68	17,37	5,07
Perserklee*	10,91	15,06	3,49	0,39	3,27	0,25	38,55	4,27	11,91	2,74
Weißer/Blaue Lupine	31,62	12,78	3,62	0,29	2,45	0,30	113,83	8,92	32,24	9,59
Zottelwicke	17,14	13,04	5,01	0,43	3,17	0,34	86,21	7,37	17,41	5,64
Inkarnatklee*	7,37	20,69	2,94	0,42	3,26	0,26	21,90	3,08	7,73	1,98
Weißklee*	6,55	19,60	3,06	0,42	3,25	0,27	19,24	2,75	6,90	1,83
Welsch. Weidelgras	7,75	17,62	2,89	0,34	3,22	0,22	22,62	2,57	7,47	1,75
Landsberger Gemenge	13,85	15,31	3,88	0,38	3,56	0,26	54,84	5,29	14,60	3,59
Meliorationsgemenge	26,23	16,39	2,30	0,34	2,41	0,32	60,37	8,87	27,27	8,52
Phacelia	15,82	9,21	2,98	0,46	3,95	0,27	46,41	6,98	16,29	4,35
Buchweizen	24,75	16,97	2,32	0,42	2,48	0,38	57,38	10,53	26,24	9,36
Weißer Senf	27,6	16,6	2,27	0,30	2,66	0,19	63,04	8,15	28,76	5,35
Sommerraps	12,67	12,00	3,40	0,44	3,02	0,23	43,32	5,55	12,78	2,95

* 1998 keine Erntemasse

Im Durchschnitt der Versuchsjahre führten die Leguminosen zu den höchsten und das Gras zu den niedrigsten N-Erträgen. Die P-, K- und Mg-Erträge waren bei den Kräutern und Gemengen am höchsten (Tab. 15).

Tabelle 15: Durchschnittliche Trockenmasseerträge sowie Nährstoffgehalte und -erträge nach Zwischenfruchtgruppen

Zwischenfruchtgruppen	TM-Ertrag (dt/ha)	TM in FM (%)	Nährstoffgehalte in der TM (%)				Nährstofferträge (kg/ha)			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Leguminosen	16,48	15,28	3,98	0,39	2,96	0,29	67,39	5,94	16,94	4,93
Gras	7,75	17,62	2,89	0,34	3,22	0,22	22,62	2,57	7,47	1,75
Gemenge	20,04	15,85	3,09	0,36	2,98	0,29	57,60	7,08	20,94	6,05
Kräuter	20,21	13,69	2,74	0,40	3,03	0,27	52,54	7,80	21,02	5,50

3.3.4 Vorfruchtwirkung der Zwischenfrüchte für Silomais

3.3.4.1 Chlorophyllidichte von Mais im Wachstumsverlauf

Die Chlorophyllidichte von Mais wurde jeweils am zuletzt ausgebildeten Blatt im Stadium BBCH 30 (Längenwachstum) und BBCH 75 (Milchreife) mit dem Gerät Minolta Spad-502 gemessen (Abb. 7, Abb. 8). In der Abbildung 7 ist eine hohe jährliche und zwischenfruchtabhängige Schwankung dieser Messwerte zu erkennen. In Phase DC 59 wurden im 3. Versuchsjahr die höchsten Werte nach Platterbse, Zottelwicke und Meliorationsgemenge gemessen und auch im Durchschnitt der Versuchsjahre

war in diesen Arten die Chlorophylldichte im Mais am höchsten. Auffallend sind die relativ niedrigen Werte in Welschem Weidelgras und Phacelia (Abb. 8).

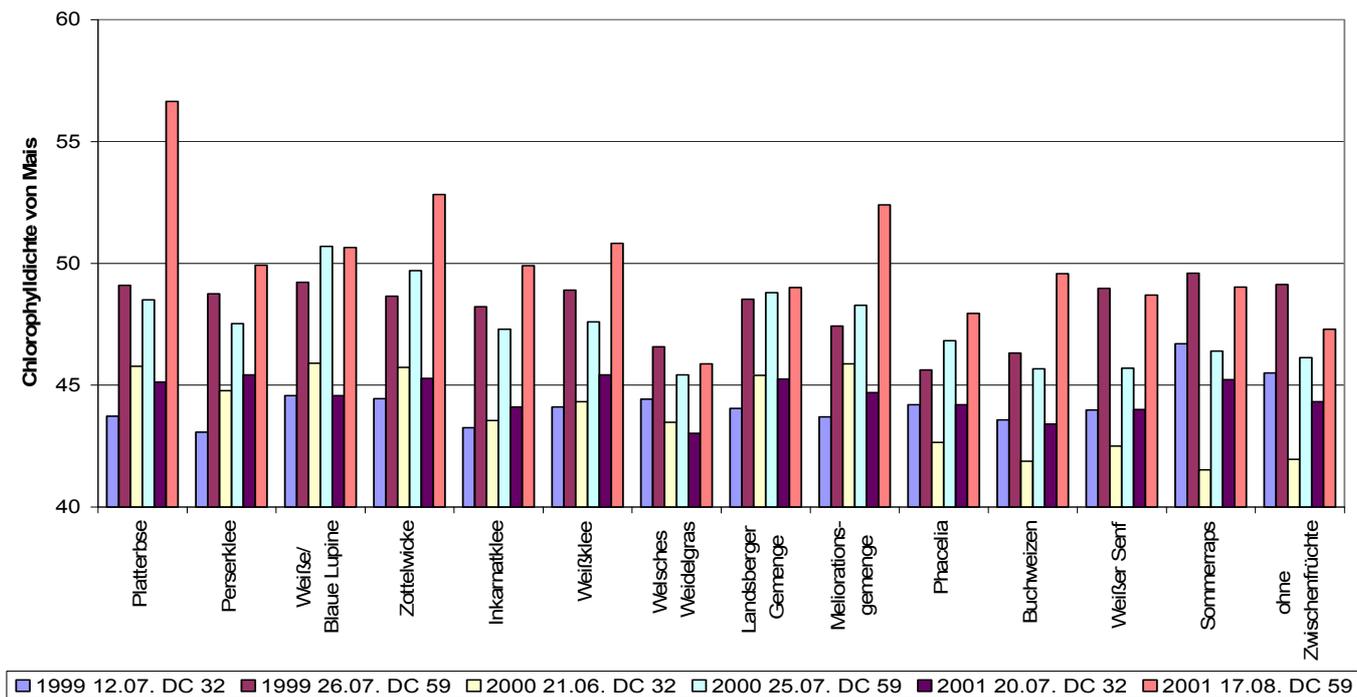


Abbildung 7: Chlorophylldichte von Mais in den Versuchsjahren 1999 – 2001 (Relativwerte)

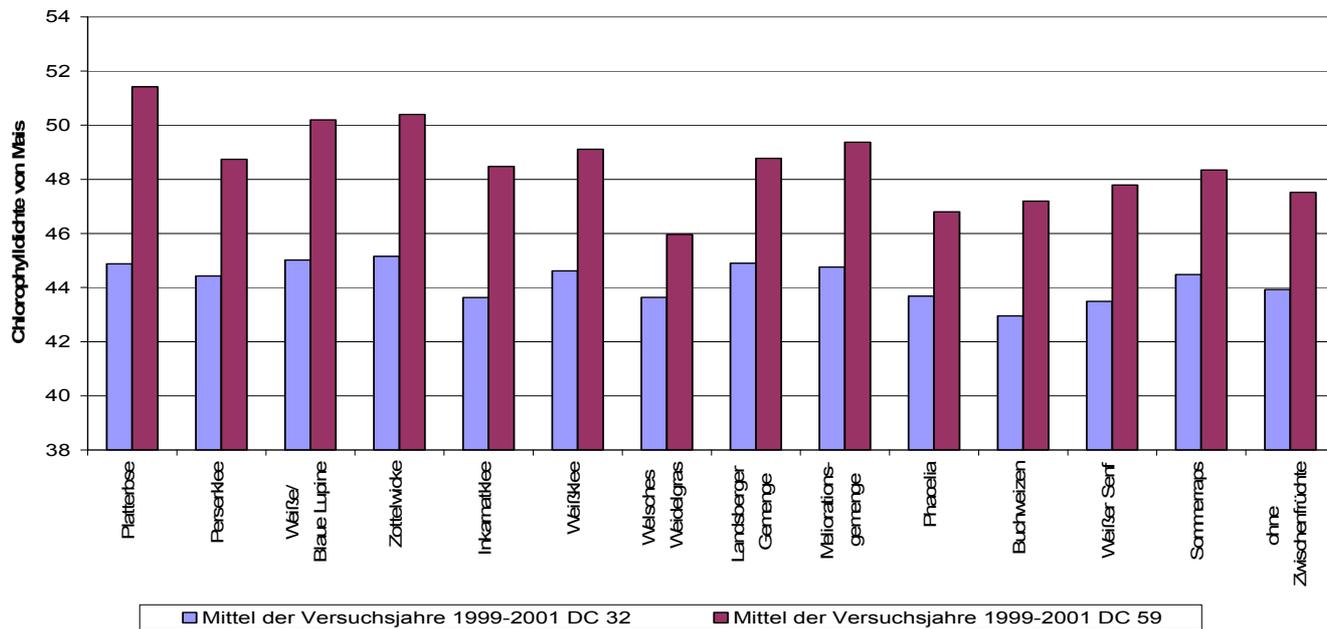


Abbildung 8: Chlorophylldichte von Mais im Durchschnitt der Versuchsjahre (Minolta Spad-502)

3.3.4.2 Frisch- und Trockenmasseertrag

In den einzelnen Versuchsjahren lagen die Frischmasseerträge von Silomais meistens unter der Variante „ohne Zwischenfrüchte“. Erträge über dieser Variante gab es vorwiegend im Versuchsjahr 2000 nach Anbau von Leguminosen und deren Gemenge sowie dem Welschen Weidelgras (Abb. 9). Besonders niedrig lagen alle Zwischenfruchtvarianten im Ertragsniveau im 3. Versuchsjahr, in dem die Erntemengen durchweg unter der Kontrollvariante lagen.

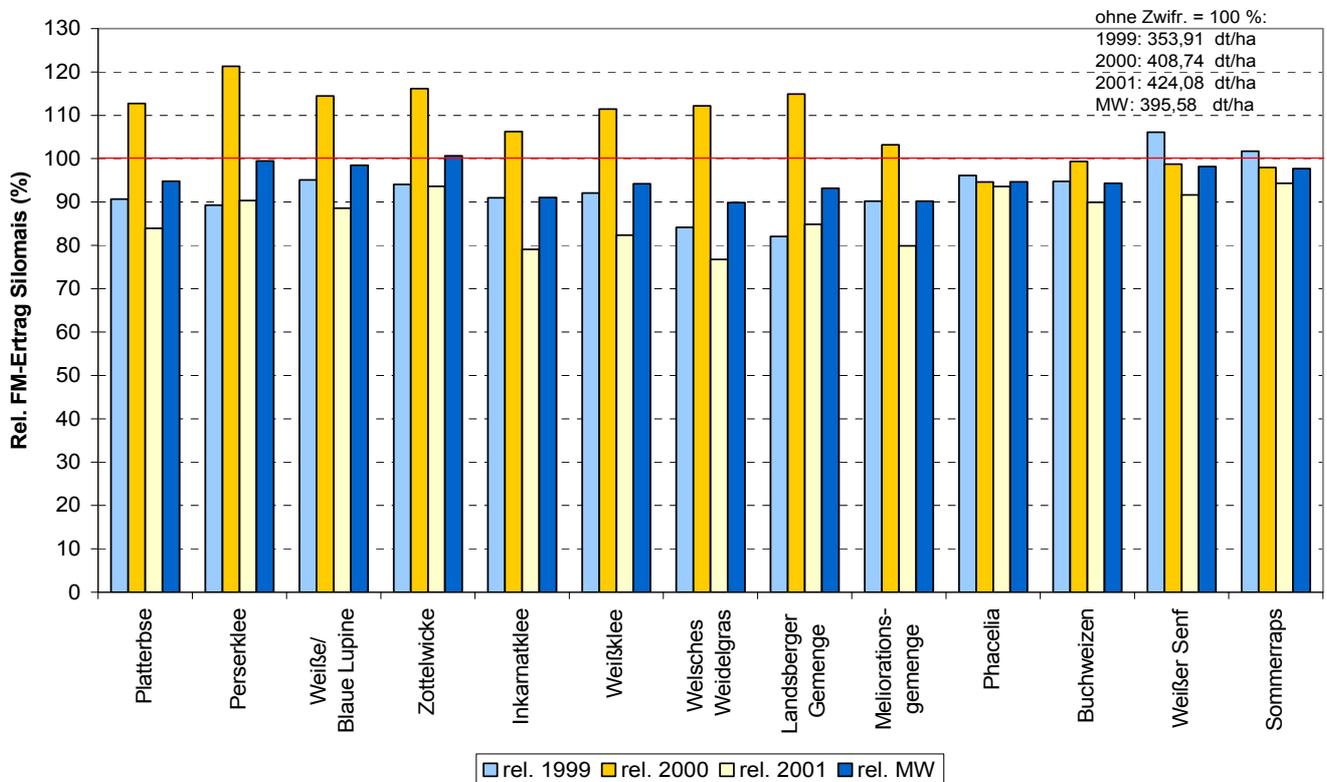


Abbildung 9: Relative Frischmasseerträge von Silomais in den Versuchsjahren 1999 – 2001 (100 % = Variante ohne Zwischenfrüchte)

Im Durchschnitt der Versuchsjahre war auf Grund einer zu geringen Differenzierung der Frischmasseerträge des Maises keine statistisch abgesicherte Ertragswirksamkeit durch die geprüften Zwischenfrüchte nachweisbar (Abb. 10).

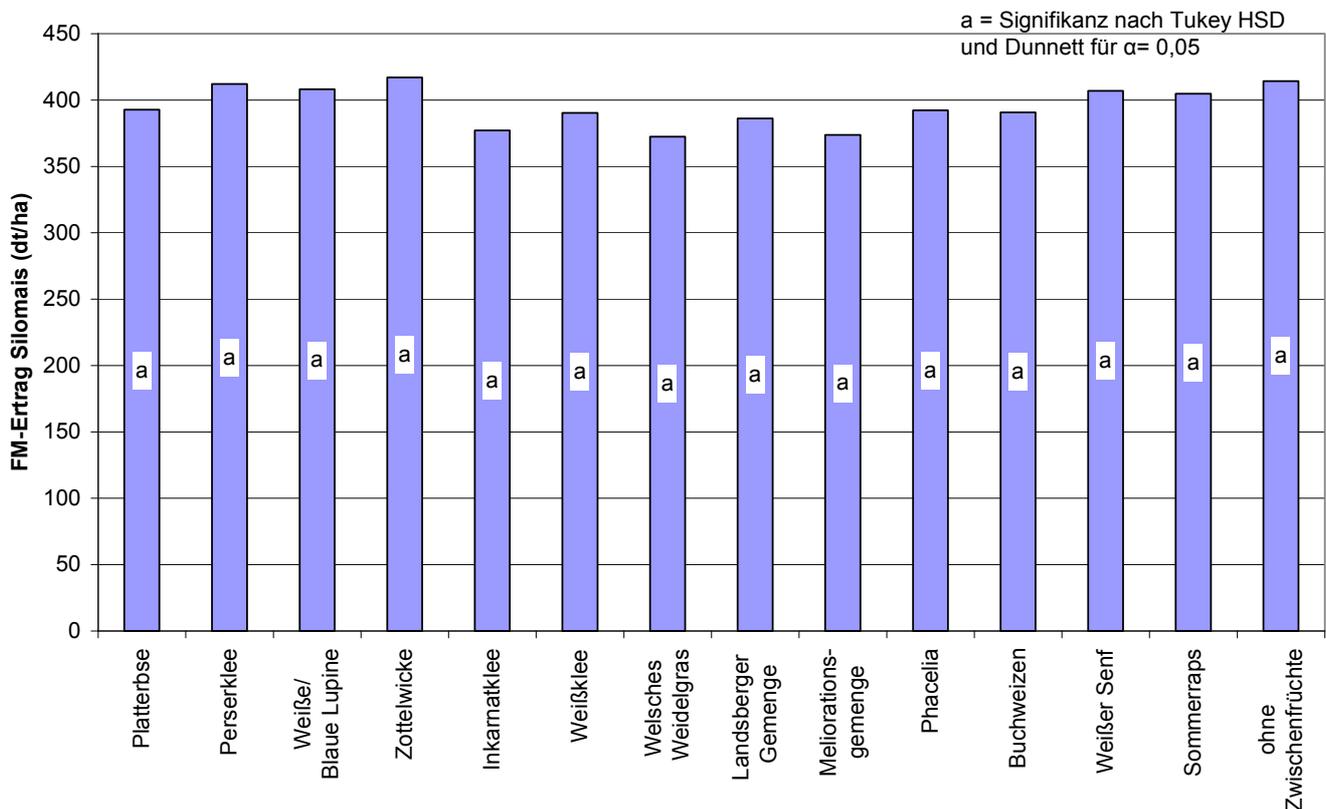


Abbildung 10: Frischmasseerträge von Silomais im Durchschnitt der Versuchsjahre

Die Trockenmasseerträge von Silomais wurden durch den Anbau der Leguminosenarten, des Welschen Weidelgrases und dem Gemenge im Vergleich zur Variante „ohne Zwischenfrüchte“ vorwiegend im 2. Versuchsjahr gesteigert (Abb. 11). Erträge auf dem Niveau der Vergleichsvariante wurden im Jahr 1999 nach den Leguminosen-Zwischenfrüchten sowie Weißem Senf und Sommerraps ermittelt. Im 3. Versuchsjahr wurde durch keine Zwischenfruchtvariante das Ertragsniveau der Parzellen „ohne Zwischenfruchtanbau“ erreicht. Im Vergleich zur Kontrollvariante waren keine statistisch abgesicherten Ertragsunterschiede zu erkennen (Abb. 12). In der Tendenz lagen einige Leguminosenvarianten (Zottelwicke, Perserklee, Platterbse, Lupine) über und bestimmte andere Varianten (Meliorationsgemenge, Buchweizen, Sommerraps, Phacelia, Weißer Senf) etwas unter dem Ertragsniveau der Vergleichsvariante „ohne Zwischenfruchtanbau“.

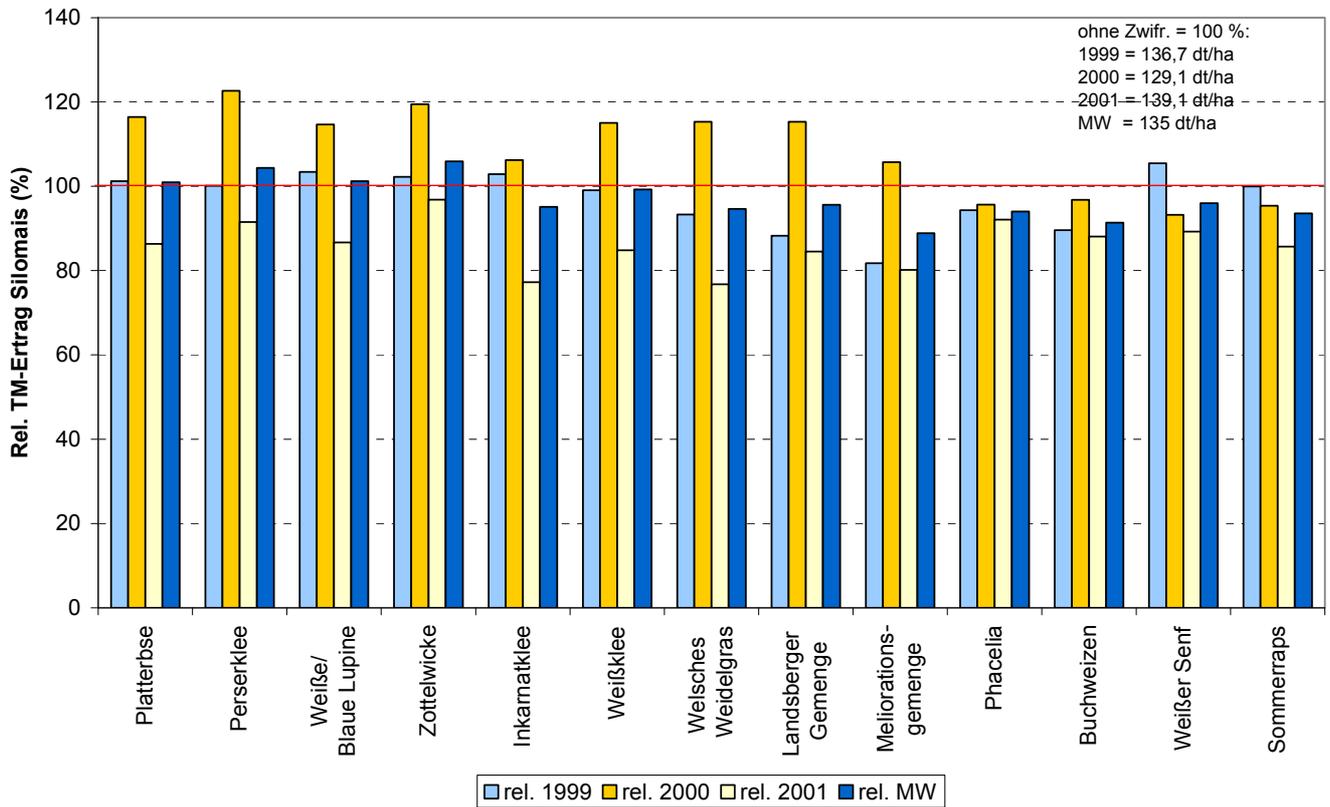


Abbildung 11: Relative Trockenmasseerträge an Silomais in den Versuchsjahren 1999 – 2001 (100 % = Kontrollvariante ohne Zwischenfruchtanbau)

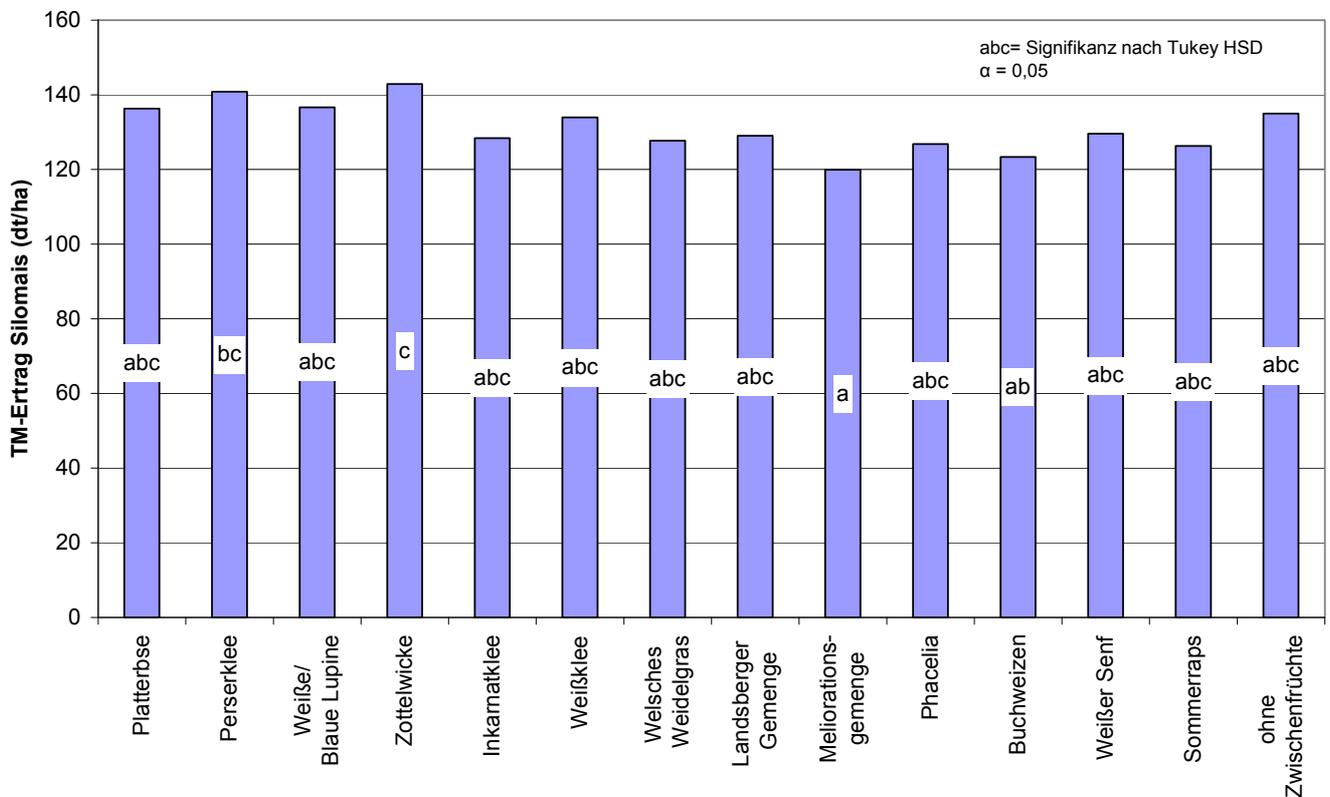


Abbildung 12: Trockenmasseerträge an Silomais im Durchschnitt der Versuchsjahre

3.3.4.3 Stärkegehalt

Die Stärkegehalte des Silomaises erreichten in den einzelnen Versuchsjahren ein unterschiedliches Niveau (Tab. 16). Dabei wies die in den Jahren 1999 und 2000 angebaute Sorte „Goldoli“ (S 210) sowohl die niedrigsten (1999) als auch die höchsten Werte (2000) auf. Die im Jahr 2001 angebaute Sorte „Banguy“ (S 240) erreichte mittlere Stärkegehalte. Sortenbedingte Unterschiede können damit nicht nachgewiesen werden. Auch die überwiegend relativ geringen Differenzen zwischen den einzelnen Zwischenfruchtarten in allen Versuchsjahren lassen keinen deutlichen Einfluss auf den Stärkegehalt erkennen. Lediglich im Jahr 2001 konnte eine statistische Absicherung der Werte für die Lupine sowie für Buchweizen, Weißer Senf und Sommerraps ermittelt werden. Im Durchschnitt der drei Versuchsjahre waren im Vergleich zur Variante „ohne Zwischenfrüchte“ keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. In der Tendenz waren die Stärkegehalte der Leguminosen-Varianten am höchsten.

Tabelle 16: Stärkegehalte (% i. d. TM) von Silomais in den Versuchsjahren 1999 – 2001 und im Durchschnitt der Versuche

Prüfglied	Versuchsjahr 1999	2000	2001	Mittelwert
Platterbse	22,77	37,18	32,63	30,86
Perserklee	25,04	33,66	32,25	30,32
Weiße/Blaue Lupine	22,72	33,16	*35,32	30,40
Zottelwicke	24,04	34,35	33,79	30,72
Inkarnatklee	25,71	34,31	32,17	30,73
Weißklee	23,00	32,74	34,11	29,95
Welsches Weidelgras	24,35	31,75	31,97	29,35
Landsberger Gemenge	23,49	32,26	31,30	29,02
Meliorationsgemenge	25,38	32,72	33,06	30,39
Phacelia	21,65	35,46	30,56	29,22
Buchweizen	23,67	33,56	*29,16	28,80
Weißer Senf	22,70	34,38	*29,42	28,83
Sommerraps	22,84	32,20	*28,31	27,78
ohne Zwischenfrüchte	21,61	33,67	30,58	28,62

* Signifikanz nach Tukey HSD ($\alpha = 0,05$)

3.3.4.4 Energiegehalt

Die niedrigsten Energiegehalte (NEL) wurden im ersten Versuchsjahr ermittelt, die höchsten im zweiten Jahr (Tab. 17). Dabei konnten die vorhandenen Unterschiede im Jahr 1999 für die Varianten Inkarnatklee und Perserklee (höchste Werte) gegenüber „ohne Zwischenfrüchte“ statistisch abgesichert werden. Im Jahr 2001 wies die Variante Zottelwicke die höchsten Energiegehalte auf. Im Durchschnitt des Versuches können keine Zusammenhänge zwischen dem Energiegehalt und dem Zwischenfruchtanbau abgeleitet werden. Im Vergleich zur Variante „ohne Zwischenfrüchte“ wurden keine signifikanten Unterschiede nach dem Anbau verschiedener Zwischenfrüchte auf die Energiegehalte des nachgebauten Silomaises ermittelt.

Tabelle 17: Energiegehalte NEL (MJ/kg TM) von Silomais in den einzelnen Versuchsjahren und im Durchschnitt des Versuches

Prüfglied	Versuchsjahr			Mittelwert
	1999	2000	2001	
Platterbse	5,93	6,62	6,40	6,32
Perserklee	*6,13	6,49	6,37	6,33
Weiße/Blaue Lupine	5,96	6,46	6,47	6,30
Zottelwicke	6,03	6,52	*6,53	6,36
Inkarnatklee	*6,18	6,47	6,24	6,29
Weißklee	5,97	6,44	6,45	6,28
Welsches Weidelgras	6,07	6,37	6,31	6,25
Landsberger Gemenge	6,05	6,40	6,27	6,24
Meliorationsgemenge	6,07	6,45	6,36	6,29
Phacelia	5,93	6,53	6,28	6,25
Buchweizen	6,01	6,43	6,20	6,21
Weißer Senf	5,98	6,51	6,20	6,23
Sommerraps	5,97	6,38	6,15	6,17
ohne Zwischenfrüchte	5,91	6,47	6,29	6,23

* Signifikanz nach Tukey HSD ($\alpha = 0,05$)

3.3.4.5 Weitere Qualitätsparameter

Im Durchschnitt der Versuchsjahre war von den Qualitätsparametern nur bei den Gehalten an Rohprotein der Varianten Platterbse, Perserklee, Lupinen und Zottelwicke eine statistisch abgesicherte Differenz zu der Variante „ohne Zwischenfrüchte“ vorhanden. Ein deutlicher Einfluss des Zwischenfruchtanbaus auf die übrigen Parameter war zwischen den Varianten nicht nachweisbar (Tab. 18).

Tabelle 18: Weitere Qualitätsparameter von Silomais im Durchschnitt der Versuchsjahre

Prüfglied	TM (%)	Rohprotein (% i. d. TM)	Rohfaser (% i. d. TM)	Rohasche (% i. d. TM)	ELOS (% i. d. TM)
Platterbse	33,93	*6,45	19,2	3,6	68,95
Perserklee	34,00	*6,30	19,3	3,6	69,12
Weißer/Blaue Lupine	33,02	*6,38	19,5	3,6	68,73
Zottelwicke	33,78	*6,46	19,0	3,6	69,44
Inkarnatklee	32,92	6,17	19,6	3,7	68,74
Weißklee	33,88	5,99	19,7	3,5	68,63
Welsches Weidelgras	33,68	5,67	20,0	3,6	68,33
Landsberger Gemenge	33,12	6,01	20,1	3,7	68,18
Meliorationsgemenge	33,44	6,13	19,6	3,6	68,74
Phacelia	32,71	5,68	20,1	3,6	68,28
Buchweizen	31,71	5,81	20,3	3,6	67,88
Weißer Senf	31,94	5,89	20,2	3,7	68,04
Sommerraps	31,93	5,92	20,7	3,7	67,36
ohne Zwischenfrüchte	32,93	5,87	20,2	3,7	68,03

* Signifikanz nach Dunnett T im Vergleich zu „ohne Zwischenfrüchte“

3.3.4.6 Gehalte und Entzüge an Hauptnährstoffen

Der jährliche Vergleich der Stickstoffgehalte im Mais zeigt zur Bezugsbasis „ohne Zwischenfrüchte“ durchweg höhere Werte nach dem Anbau der Leguminosenarten (bis auf Weißklee im Jahr 2000) und den Gemengen. Der Anbau von Kräutern und W.-Weidelgras hatte keine durchweg höheren N-Gehalte zur Folge (Abb. 13). Im Durchschnitt der Versuche konnten für die Varianten mit den niedrigsten Werten (W.-Weidelgras, Phacelia) im Vergleich mit den höchsten Werten (Zottelwicke, Platterbse) statistisch abgesicherte Differenzen im N-Gehalt der Maisnachfrucht nachgewiesen werden. Im Vergleich zur Kontrollvariante zeigte der Anbau von Platterbse, Perserklee, Lupine und Zottelwicke statistisch gesicherte höhere N-Gehalte im Silomais (Abb. 14).

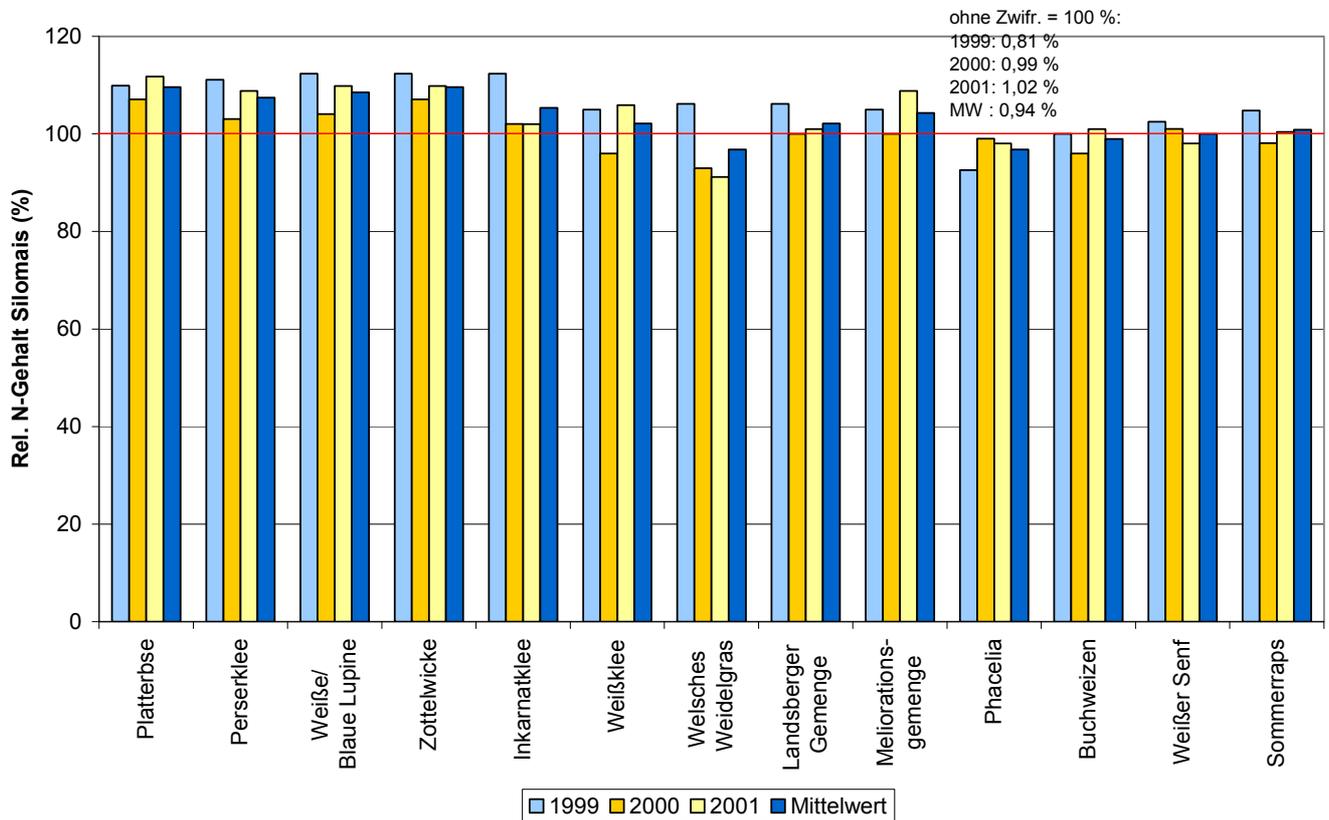


Abbildung 13: Relativer N-Gehalt in Silomais in den Versuchsjahren 1999 – 2001 (100 % = Variante „ohne Zwischenfrucht“)

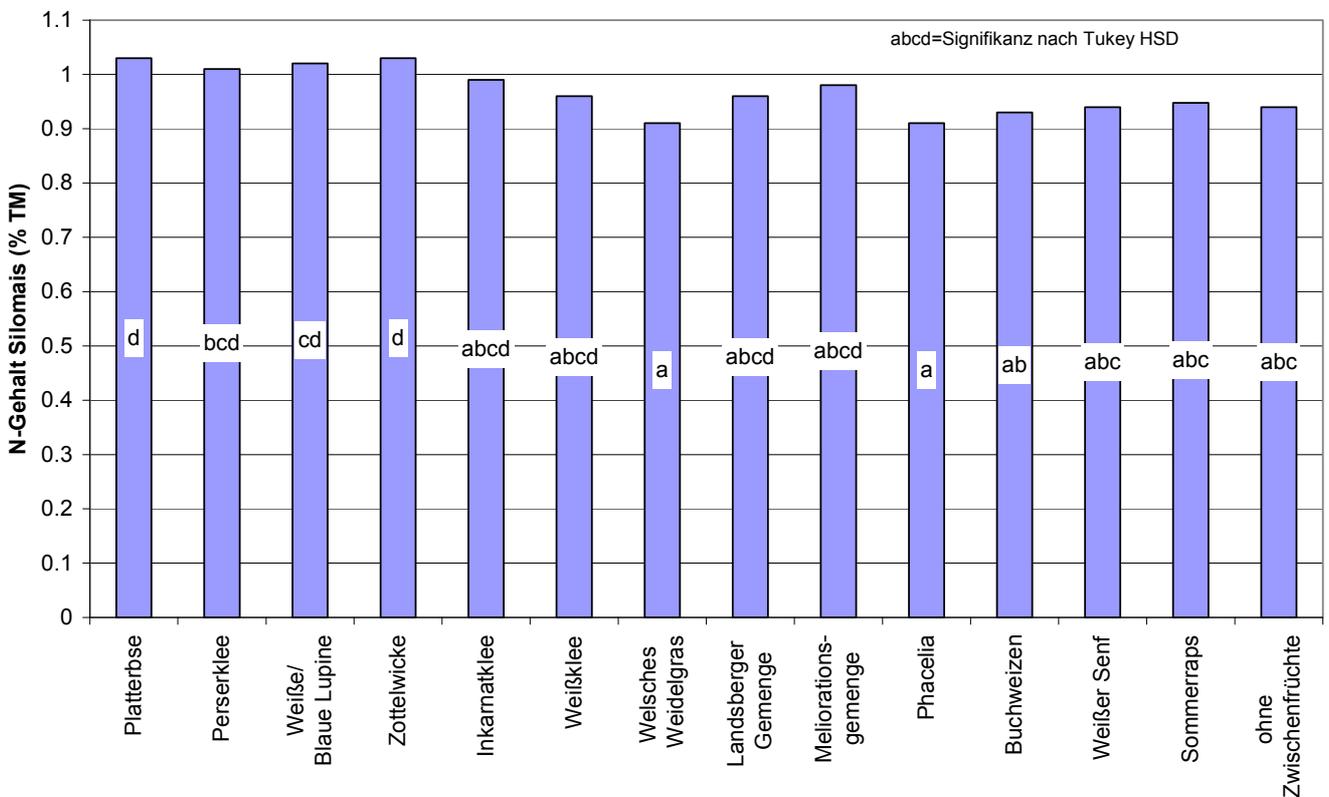


Abbildung 14: N-Gehalt in Silomais im Durchschnitt der Versuchsjahre

Von den Hauptnährstoffen konnten nur bei den N-Gehalten der Varianten Platterbse, Perserklee, Lupine und Zottelwicke signifikante Differenzen zur Kontrollvariante nachgewiesen werden (Tab. 19, vgl. Abb. 14). Bei den Nährstoffen P, K und Mg war die Differenzierung der Werte zu gering, sodass eine Wirkung der Zwischenfrüchte nicht nachweisbar war. Ein Zusammenhang zwischen den Entzügen und der Art des Zwischenfruchtanbaus wurde lediglich für den N-Entzug des Silomais nach dem Anbau von Zottelwicke im Vergleich zur Kontrollvariante ermittelt. In der Tendenz waren allerdings die Leguminosenvarianten oft durch höhere Entzüge an Stickstoff und Mineralstoffen und Varianten des Anbaus von Gras, Gemenge und Kräutern durch niedrigere N-Entzüge im Vergleich zur Kontrollvariante ausgezeichnet.

Tabelle 19: Nährstoffgehalte und -entzüge von Silomais

Prüfglied	Gehalte (% i. d. TM)		K	Mg	Entzüge (kg/ha)			
	N	P			N	P	K	Mg
Platterbse	*1,03	0,19	0,96	0,198	136,96	25,69	127,25	26,26
Perserklee	*1,01	0,19	0,98	0,190	139,81	26,81	136,18	26,30
Weißer/Blaue Lupine	*1,02	0,20	1,03	0,185	136,56	26,86	137,57	24,73
Zottelwicke	*1,03	0,20	1,00	0,186	*144,64	27,29	140,07	25,96
Inkarnatklee	0,99	0,20	1,01	0,187	122,27	24,57	125,36	23,12
Weißklee	0,96	0,19	0,99	0,186	126,41	25,44	130,42	24,57
Welsches Weidelgras	0,91	0,20	1,00	0,180	113,40	25,22	124,36	22,49
Landsberger Gemenge	0,96	0,19	1,02	0,186	121,94	24,48	129,73	23,64
Meliorationsgemenge	0,98	0,20	1,04	0,182	122,16	24,92	129,13	22,65
Phacelia	0,91	0,19	1,04	0,177	115,36	23,89	132,12	22,44
Buchweizen	0,93	0,19	1,06	0,182	114,35	23,92	129,99	22,43
Weißer Senf	0,94	0,19	1,03	0,173	121,94	24,50	133,72	22,36
Sommerraps	0,95	0,19	1,00	0,169	121,49	24,49	127,80	21,68
ohne Zwischenfrüchte	0,94	0,19	0,98	0,163	126,76	24,99	132,85	22,02

* Signifikanz nach Dunnett T ($\alpha=0,05$) im Vergleich zu „ohne Zwischenfrüchte“

3.3.5 Frisch- und Trockenmasseertrag, Qualitätsparameter sowie Nährstoffgehalte und -entzüge in Abhängigkeit von den Zwischenfruchtgruppen

Nach Gruppierung der Zwischenfrüchte zeigte sich meistens eine negative Abweichung der Frischmasseerträge von der Variante „ohne Zwischenfrüchte“ (Abb. 15). Dabei fielen die Differenzen zwischen den Erträgen der Kontrollvariante und den Zwischenfruchtvarianten Gemenge, Gras und Kräuter signifikant aus. Lediglich die Leguminosenvarianten erreichten in etwa das Ertragsniveau der Variante „ohne Zwischenfrüchte“.

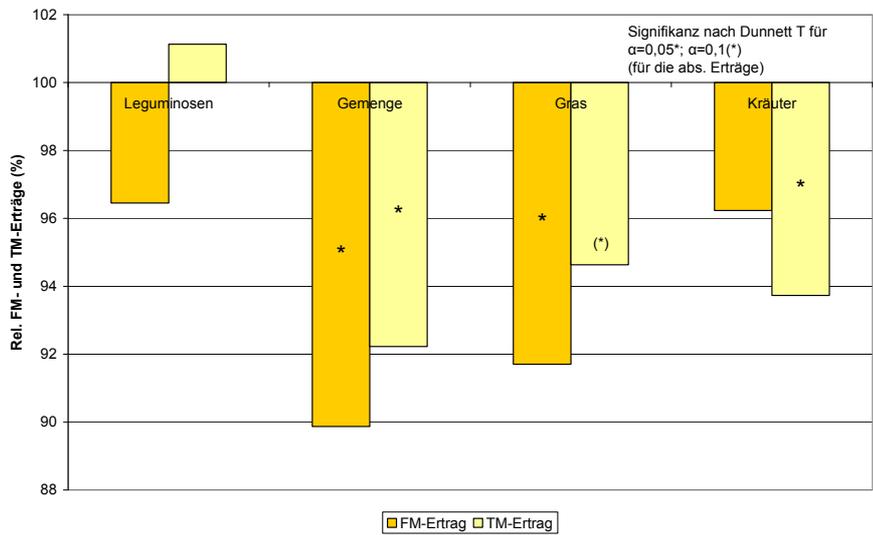


Abbildung 15: Relative Frisch- und Trockenmasseerträge von Silomais in den Zwischenfruchtgruppen (100 % = Variante „ohne Zwischenfrüchte“)

Die Werte für die Qualitätsparameter von Mais sind wenig differenziert (Tab. 20). So konnte nur durch den Leguminosenanbau beim Rohprotein- und Rohfasergehalt im Vergleich zur Variante „ohne Zwischenfrucht“ eine statistisch abgesicherte Wirkung nachgewiesen werden. In der Tendenz wurden in der Leguminosenvariante auch die höchsten Werte an Stärke, ELOS und NEL ermittelt.

Die Unterschiede in den Nährstoffgehalten im Silomais sind zwischen den Prüfglied-Gruppen relativ gering. Lediglich beim N-Gehalt konnte ein statistischer Einfluss der Leguminosen-Zwischenfrüchte im Vergleich zur Kontrollvariante nachgewiesen werden (Tab. 21). Bei den Nährstoffentzügen liegen ähnliche Tendenzen vor. Im Vergleich zur Kontrollvariante „ohne Zwischenfrüchte“ konnte nur durch die Gruppe der Leguminosen ein Anstieg und nach Gras ein Abfall der N-Entzüge festgestellt werden. Ebenfalls waren in der Leguminosengruppe tendenziell die höchsten P-, K- und Mg-Entzüge ermittelt worden.

Tabelle 20: Qualitätsmerkmale von Silomais, geordnet nach Zwischenfruchtgruppen

Gruppen	TM (%)	Rohprotein (% i. d. TM)	Rohfaser (%i. d. TM)	Rohasche (%i. d. TM)	Stärke (%i. d. TM)	ELOS (%i. d. TM)	NEL (MJ/kg TM)
Leguminosen	33,59	*6,29	*19,4	3,6	30,50	68,93	6,31
Gras	33,68	5,67	20,0	3,6	29,35	68,33	6,25
Gemenge	33,28	6,07	19,9	3,6	29,70	68,46	6,27
Kräuter	32,07	5,83	20,3	3,7	28,66	67,89	6,21
ohne Zwischenfrüchte	32,93	5,87	20,2	3,7	28,62	68,03	6,23

* Signifikanz nach Dunnett T ($\alpha=0,05$)

Tabelle 21: Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Silomais in Relation zur Zwischenfruchtgruppe

Gruppen	Gehalte (% TM)		K	Mg	Entzüge (kg/ha)		K	Mg
	N	P			N	P		
Leguminosen	*1,01	0,20	1,00	0,19	*137,25	26,65	134,74	25,83
Gras	0,91	0,20	1,00	0,18	*115,97	25,61	125,43	23,17
Gemenge	0,97	0,20	1,03	0,18	121,17	24,60	127,69	23,02
Kräuter	0,93	0,19	1,03	0,18	117,67	24,03	130,24	23,02
ohne Zwischenfrüchte	0,94	0,19	0,98	0,18	126,74	24,88	133,00	24,77

* Signifikanz nach Dunnett T $\alpha=0,05$

3.3.6 Beziehungen zwischen dem Zwischenfruchtanbau und der Nachfrucht Silomais

3.3.6.1 Trockenmasseertrag von Zwischenfrüchten und Silomais

Im Durchschnitt der Versuchsjahre wurden nach den Leguminosenzwischenfrüchten Platterbse, Perserklee, Lupine und Zottelwicke im Vergleich zur Variante „ohne Zwischenfrüchte“ Ertragszuwächse erzielt (Tab. 22). Bei Weißklee lag der Ertragswert nur wenig darunter. Die höchste Ertragswirksamkeit wurde mit der Zottelwicke erreicht. Aus den Werten ist ersichtlich, dass die Höhe des Trockenmasseertrages der Zwischenfrucht nicht entscheidend für die Höhe des Maisertrages ist. So führte die relativ niedrige Trockenmassebildung bei Perserklee zu einem relativ hohen Ertragszuwachs bei Mais. Nach dem Anbau von Gras, Gemengen und Kräutern war der Trockenmasseertrag des Maises stets niedriger als bei der Vergleichsvariante. Dabei war der Ertragsunterschied nach dem abfrierenden Meliorationsgemenge am deutlichsten. Zwischen den TM-Erträgen der Zwischenfrüchte und des Silomais bestanden keine korrelativen Zusammenhänge ($r^2 = 0,021$, ohne Abb.).

Tabelle 22: TM-Erträge der Zwischenfrüchte und von Silomais im Durchschnitt der Versuchsjahre

	TM-Ertrag Zwischenfrucht (dt/ha)	TM-Ertrag Silomais (dt/ha)	rel. TM-Ertrag Silomais (%)
ohne Zwischenfrüchte		134,96	100
Platterbse	17,07	136,27	100,97
Perserklee*	10,91	140,83	104,35
Weiße/Blaue Lupine	31,62	136,61	101,22
Zottelwicke	17,14	142,89	105,88
Inkarnatklee*	7,37	128,38	95,12
Weißklee*	6,55	133,96	99,26
Welsches Weidelgras	7,75	127,72	94,64
Landsberger Gemenge	13,85	129,01	95,59
Meliorationsgemenge	26,23	119,93	88,86
Phacelia	15,82	126,84	93,98
Buchweizen	24,75	123,32	91,38
Weißer Senf	27,6	129,55	95,99
Sommerraps	12,67	126,3	93,58

* Aufwüchse im Jahr 1998 so gering, dass keine Ertragsermittlung erfolgen konnte.

3.3.6.2 Trockenmasseertrag von Silomais in Abhängigkeit vom N_{min}-Gehalt des Bodens nach Zwischenfruchtanbau

Durch den Zwischenfruchtanbau wurden die N_{min}-Gehalte des Bodens in charakteristischer Weise beeinflusst (s. Kap. 3.3.2). Im Versuchsdurchschnitt war das N_{min}-Angebot im Zeitraum „Kniehöhe Mais“ in Abhängigkeit von der Zwischenfruchtart sehr differenziert. Die höchsten Werte wurden nach Platterbse, Lupine und Zottelwicke ermittelt. Relativ niedrig waren sie nach dem Welschen Weidelgras sowie nach Phacelia und Buchweizen. Es konnte eine Beeinflussung der Trockenmassebildung des Mais durch diese N_{min}-Werte bestätigt werden. Hierdurch waren auch Einflüsse auf die Erträge des nachfolgenden Mais eingetreten. So waren zwischen den N_{min}-Gehalten im Frühjahr vor dem Maisanbau und den Trockenmasseerträgen an Silomais bereits leicht positive Korrelationen vorhanden (r = 0,365, ohne Abb.). Eine deutlich engere Beziehung bestand zwischen den N_{min}-Gehalten im kniehohen Maisbestand (DC 32) und den Trockenmasseerträgen an Silomais mit r = 0,585* (Abb. 16).

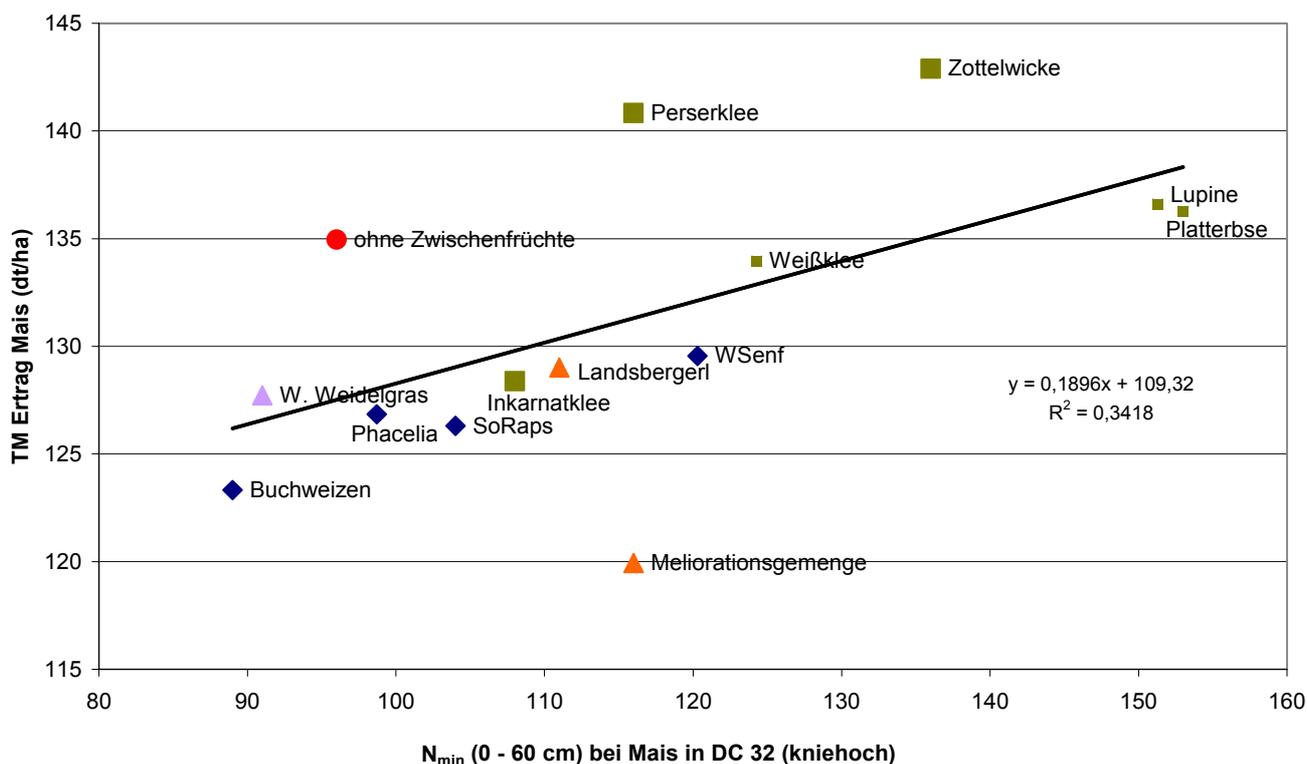


Abbildung 16: Einfluss der N_{min}-Werte im Boden (DC 32) auf die Erträge an Silomais im Durchschnitt der Versuchsjahre

3.3.6.3 Trockenmasseertrag von Silomais in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis sowie den N-Gehalten der Zwischenfrüchte

Nach dem ersten Versuchsjahr wurde auch das C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte ermittelt und dem Trockenmasseertrag des Mais gegenübergestellt (Abb. 17). Dabei ist zu erkennen, dass die relativ hohe Trockenmassebildung beim Mais mit einem relativ engen C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte Zottelwicke und Platterbse einhergeht. Auffallend ist der geringe Ertrag nach dem Buchweizen, der das weiteste C/N-Verhältnis aufwies.

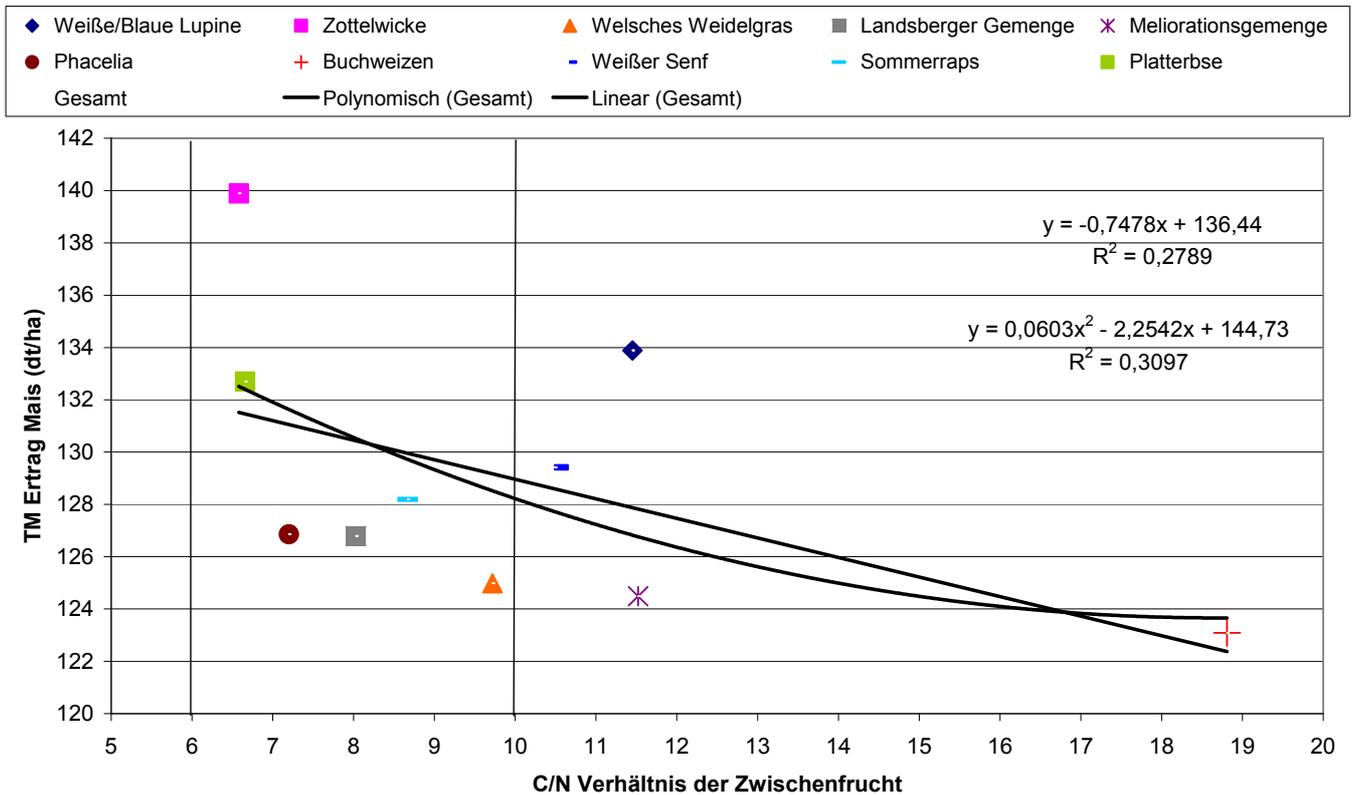


Abbildung 17: Trockenmasseertrag von Silomais in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis der Zwischenfrüchte (1999 - 2000)

Die Beziehung zwischen den C/N-Verhältnissen der Zwischenfrüchte und den Trockenmasseerträgen liegen mit $r = 0,557^*$ auf ähnlicher Höhe wie die zwischen den N_{\min} -Werten (Kniehöhe) und den Trockenmasseerträgen an Silomais (vgl. Abb. 16 u. 17). Ein nochmals deutlich verbesserter korrelativer Zusammenhang mit $r = 0,750^{***}$ besteht zwischen den N-Gehalten der Zwischenfrüchte (z. Zt. Ernte) und den Trockenmasseerträgen an Silomais (Abb. 18, oben). Aus diesem Ergebnis geht eindeutig hervor, dass die Nährstoffzusammensetzung der Zwischenfrüchte über den Weg der Mineralisation im Boden Einfluss auf die Pflanzenernährung und Trockenmassebildung des Maises genommen hat.

3.3.6.4 Nährstoffdynamik in Boden, Zwischenfrucht und Mais

Die verbesserte TM-Bildung des Maises ist wahrscheinlich über die höhere N-Ernährung des Maises verursacht worden. So besteht ebenfalls eine rel. enge positive Korrelation zwischen den N-Gehalten der Zwischenfrüchte und den Chlorophyllgehalten im Silomais ($r = 0,699^{**}$, Abb. 18, unten).

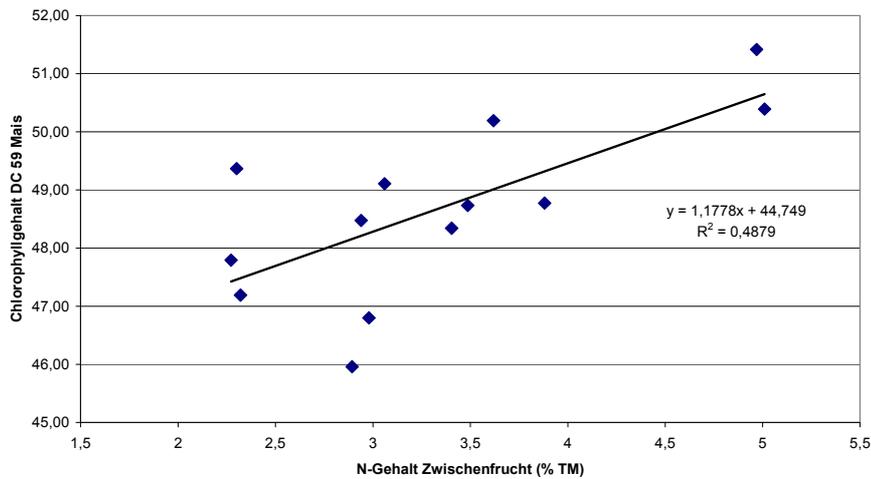
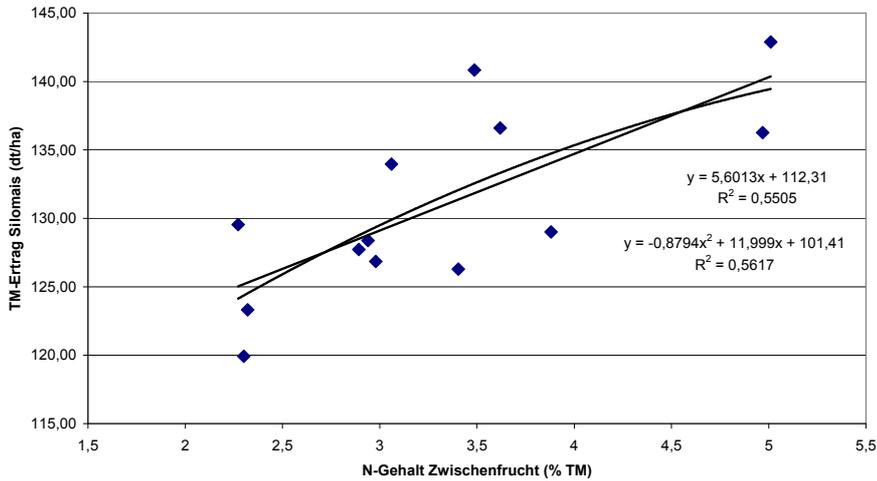


Abbildung 18: Einfluss der N-Gehalte in den Zwischenfrüchten auf die Erträge (oben) und die Chlorophyllwerte (unten) von Silomais im Durchschnitt der Versuchsjahre

Weiterhin bestehen Korrelationen zunehmender Güte zwischen den N_{\min} -Werten und den Chlorophyllgehalten im Mais:

- N_{\min} -Frühjahr und Chlorophyllgehalt BBCH 30: $r = 0,693^{**}$
- N_{\min} -Kniehöhe und Chlorophyllgehalt BBCH 30: $r = 0,735^{**}$
- N_{\min} -Frühjahr und Chlorophyllgehalt BBCH 75: $r = 0,819^{***}$
- N_{\min} -Kniehöhe und Chlorophyllgehalt BBCH 75: $r = 0,913^{***}$ (Abb. 19).

Der Chlorophyllgehalt der Maisblätter zu verschiedenen Vegetationsstadien ist ein charakteristisches Merkmal der N-Ernährung. Die Beziehung zwischen dem Chlorophyllgehalt und den N-Gehalten im Mais ist sehr eng ($r = 0,917^{***}$). Hierdurch sind auch die qualitativen Eigenschaften des Silomais verbessert worden:

- Chlorophyllgehalt DC59 und NEL Silomais: $r = 0,648^{**}$
- Chlorophyllgehalt DC59 und Stärkegehalt Silomais: $r = 0,648^{**}$.

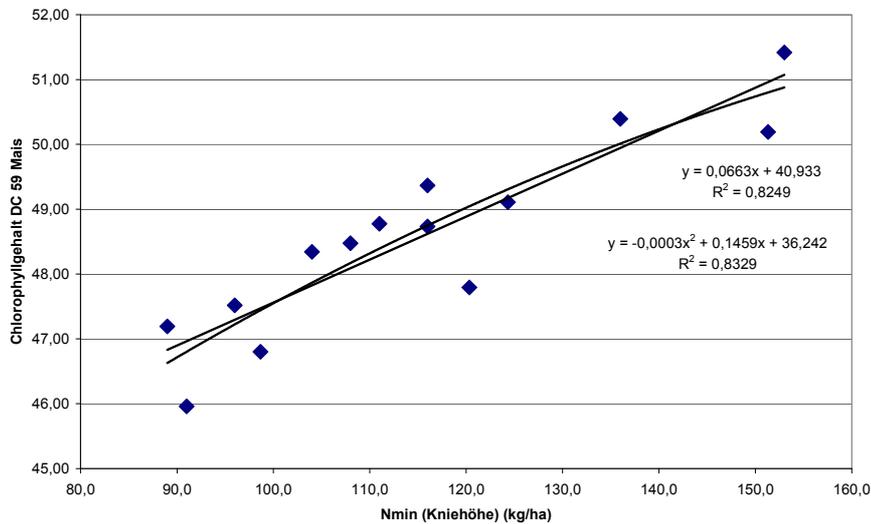


Abbildung 19: Einfluss der N_{min}-Gehalte des Bodens (BBCH 75) auf die Chlorophyllwerte von Silomais zum gleichen Zeitpunkt im Durchschnitt der Versuchsjahre

Weiterhin konnte ermittelt werden, dass die N-Gehalte der Zwischenfrüchte einen Einfluss auf die N-Gehalte im Silomais ausüben können (Abb. 20). Mit steigenden N-Gehalten in den Zwischenfrüchten nehmen die N-Gehalte im Silomais etwas zu. Dagegen konnten zwischen den P-, K- und Mg-Gehalten in den Zwischenfrüchten und den komplementären Werten im Silomais keine signifikanten Einflüsse nachgewiesen werden (ohne Abbildungen).

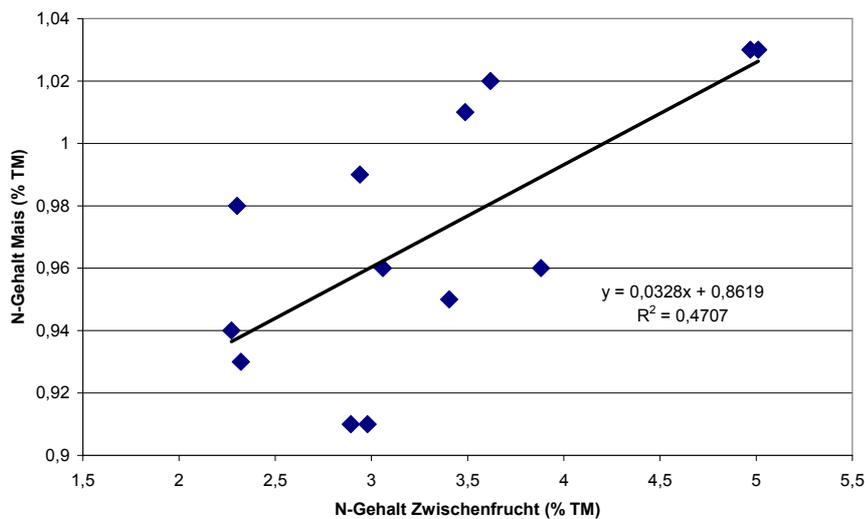


Abbildung 20: Einfluss der N-Gehalte in den Zwischenfruchtaufwüchsen auf die N-Gehalte von Silomais zur Erntereife im Durchschnitt der Versuchsjahre

3.4 Feldversuche Kartoffeln

3.4.1 N_{min} -Untersuchungen zum Zwischenfruchtanbau

Die N_{min} -Werte vor Aussaat der Zwischenfrüchte lagen in den einzelnen Jahren auf unterschiedlich hohem Niveau. Während die Werte in den Jahren 2002 und 2003 zwischen 60 kg und 70 kg N/ha betragen, waren sie im folgenden Jahr 2004 sehr hoch. Sie erreichten Werte von 200 kg bis 250 kg N/ha. Die Gründe für diese hohen N_{min} -Werte können in den feuchten und warmen Bedingungen (hohe Niederschläge im Juli 2004) und einer sehr hohen Mineralisation liegen.

Durch den Anbau der Zwischenfrüchte wurden diese Ausgangswerte in unterschiedlicher Weise verändert (Abb. 21). Im Vergleich zur Variante „ohne Zwischenfrüchte“ wurden die N_{min} -Werte durch den Anbau einiger legumer Zwischenfrüchte kaum reduziert oder beim Inkarnat- und Perserklee sogar noch angehoben. Das Meliorationsgemenge sowie der Buchweizen führten zu einer geringen Abnahme der N_{min} -Werte. Eine sehr starke Reduktion der N_{min} -Vorräte, auch im Jahr 2004 bei sehr hohen Ausgangswerten, konnte dagegen durch die nichtlegumen Zwischenfrüchte Welsches Weidelgras, Phacelia, Sommerraps und besonders durch den Weißen Senf erreicht werden.

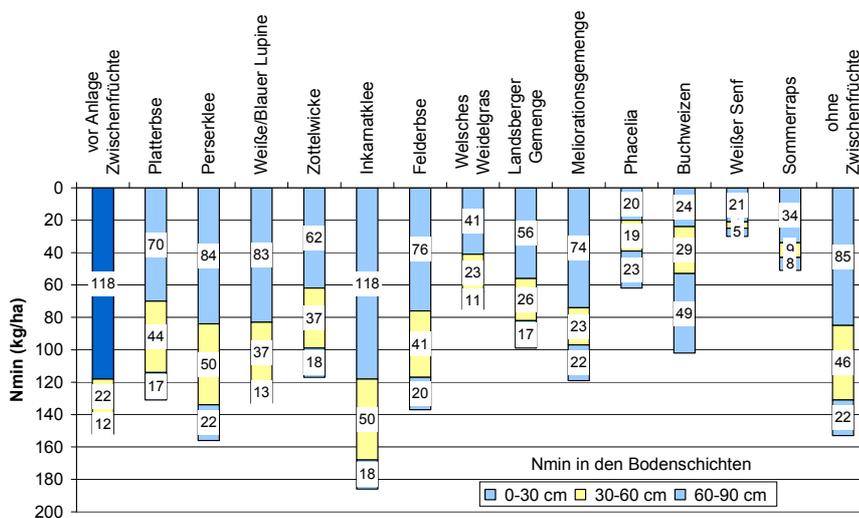


Abbildung 21: N_{min} -Mengen (0 – 90 cm Tiefe) vor Anlage und nach Umbruch der Zwischenfrüchte im Durchschnitt der Versuchsjahre

3.4.2 N_{min} -Untersuchungen zum Kartoffelanbau

Neben der Darstellung der gemessenen N_{min} -Werte nach den einzelnen angebaute Zwischenfrüchten wurden bestimmte Gruppen (Leguminosen, Gras, Gemenge, Kräuter) gebildet (siehe Kap. Feldversuche Silomais). Vor dem Legen der Kartoffeln erreichten die gemittelten N_{min} -Werte der Fruchtartengruppen 69 kg - 127 kg N/ha (Tab. 23). Die Parzellen der legumen Zwischenfrüchte hatten vor allem 2002/03 deutlich höhere Werte, 2003/04 und 2004/05 liegen die gemittelten Werte etwas geringer als vom Welschen Weidelgras. Zwischen den einzelnen Fruchtarten bestehen aber teilweise auch deutliche Unterschiede. Die Parzellen von Inkarnatklee wiesen mit 115 kg N/ha (0 - 60 cm) die höchsten Werte auf, die anderen Leguminosen zeigten durchschnittliche Werte von ca. 100 kg N/ha. Im Vergleich dazu betragen die Werte vom Weißen Senf 69 kg N/ha, von Phacelia 70 kg N/ha und vom Sommerraps 85 kg N/ha. Daraus wird sichtbar, dass in den Parzellen mit Leguminosenzwischenfrüchten und Gräsern eine durchschnittlich höhere Stickstofffreisetzung im Zeitraum März/April als bei Vorfrüchten wie Weißer Senf, Phacelia, Buchweizen und Sommerraps (zusammengefasst als Kräuter) stattfand.

Die N_{\min} -Werte vor Reihenschluss zeigten keine großen Unterschiede, obwohl ziemlich große Niveauunterschiede zwischen den Jahren auftraten. Von den Pflanzenarten weist die Lupine die höchsten Werte auf. Nach der Ernte der Kartoffeln zeigte sich ein relativ ausgeglichenes Niveau der Werte und es traten keine größeren Unterschiede zwischen Leguminen und nichtleguminen Zwischenfrüchten auf (Abb. 22).

Tabelle 23: N_{\min} -Gehalte (kg N/ha) in der Bodenschicht 0 - 60 cm vor dem Legen der Kartoffeln, im Bestand und nach der Ernte im Durchschnitt der Zwischenfruchtgruppen

Gruppe	Jahr 2002/03			Jahr 2003/04			Jahr 2004/05		
	vor Legen	vor Reihenschluss	nach Ernte	vor Legen	vor Reihenschluss	nach Ernte	vor Legen	vor Reihenschluss	nach Ernte
Leguminosen	103	215	109	78	159	71	120	87	98
Gras	69	179	106	94	160	68	127	103	107
Gemenge	88	190	78	69	151	78	102	112	105
Kräuter	85	189	101	53	148	81	89	77	98
ohne	87	188	107	59	139	81	139	89	101
Mittelwert	92	200	102	69	153	75	110	89	100

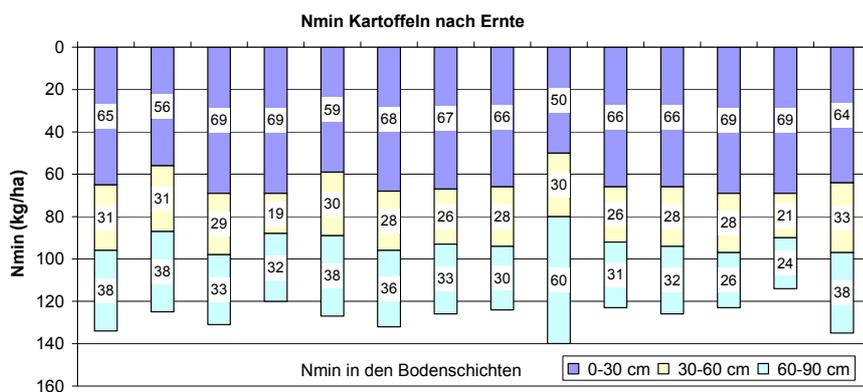
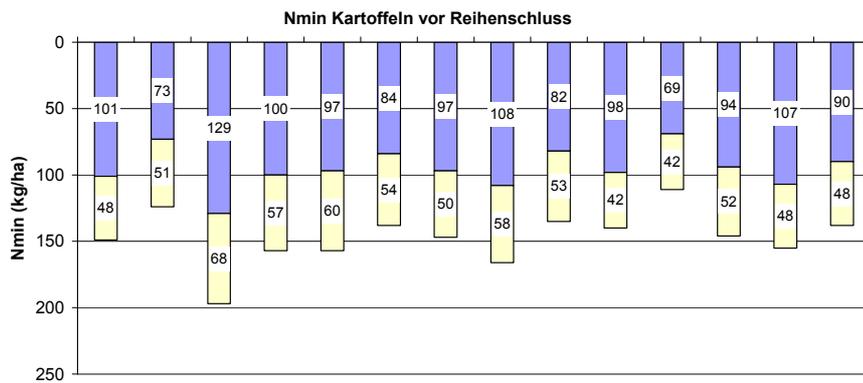
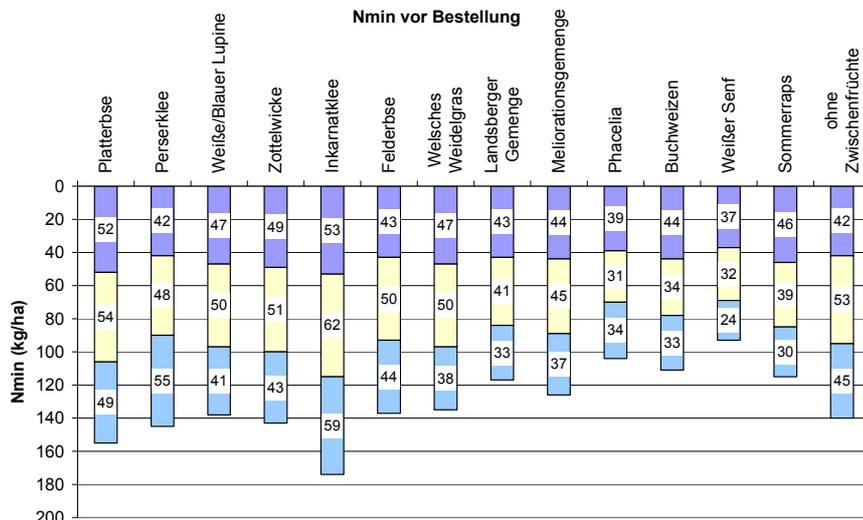


Abbildung 22: Einfluss des Zwischenfruchtanbaus auf den Verlauf der N_{min} -Werte beim Anbau der nachfolgenden Kartoffeln (oben: vor der Bestellung; Mitte: kurz vor Reihenschluss d. Kartoffeln; unten: nach der Ernte der Kartoffeln) im Durchschnitt der Feldversuche

Bei der Betrachtung der N_{min} -Werte im Zeitraum Aussaat der Zwischenfrüchte bis zu deren Einarbeitung zeigt sich ein hoher Nährstoffkonservierender Effekt der Kräuter, des Weischen Weidelgrases und der Gemenge (Abb. 23). Dagegen wurde der relativ hohe Ausgangswert vor Anlage der Zwischenfrüchte durch die Leguminosen kaum reduziert. Zum einen entwickelten sich die kleinkörnigen Leguminosen (Perserklee, Inkarnatklee) sehr schlecht und die Massebildung war gering (siehe TM-Bildung), sodass nur geringe Mengen an Nährstoffen aus dem Boden entzogen wurden. Zum anderen ist speziell der Stickstoffbedarf der Leguminosen im Vergleich zu den anderen Pflanzenarten wie den Kreuzifern und Gräsern geringer.

Die höchste Nährstoffkonservierung über den Winter konnte durch Weißen Senf, Sommerraps und Phacelia erreicht werden. Im darauf folgenden Frühjahr erfolgte eine Angleichung der Werte in der Weise, dass die Werte nach Leguminosen und ohne Zwischenfrucht abfielen. Die Mineralisierung von Stickstoff war in diesem Zeitraum deutlich geringer als bei den Kräutern und Gras, deren Stickstoffwerte anstiegen. Bis zum Reihenschluss der Kartoffeln erfolgte eine weitere Erhöhung bis auf 140 kg N/ha in allen Varianten und nach der Ernte der Kartoffeln sind die N_{min} -Werte immer noch auf einem hohen Niveau von durchschnittlich 80 - 100 kg N/ha in der Bodentiefe von 0 – 60 cm.

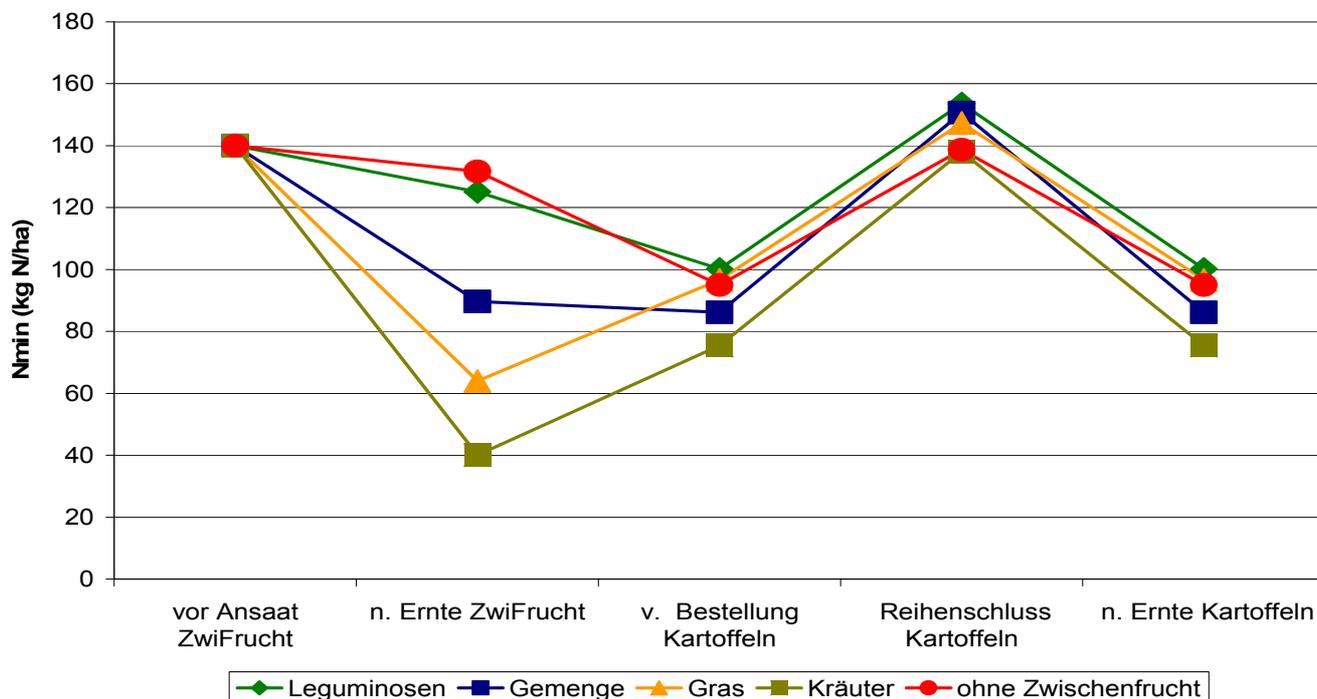


Abbildung 23: Verlauf der N_{min} -Werte (0 – 60 cm Tiefe) unter Anbau der Zwischenfrüchte und Kartoffeln in den Feldversuchen

3.4.3 Ertragsbildung und Inhaltsstoffe der Zwischenfrüchte

In Abhängigkeit von den Anbaubedingungen waren die Aufwüchse der Zwischenfrüchte in den einzelnen Versuchsjahren und im Durchschnitt der Jahre unterschiedlich hoch (Tab. 24). Die höchsten durchschnittlichen Trockenmasseerträge zwischen 24 dt und 32 dt TM/ha erreichten Weißer Senf, Buchweizen, Sommerraps und das Meliorationsgemenge. Den höchsten Ertrag der Leguminosen erzielte die Lupine mit 15 dt TM/ha. Platterbse, Felderbse und Zottelwicke erreichten Werte zwischen 5 dt und 8 dt TM/ha und Phacelia sowie Welsches Weidelgras lagen im Durchschnitt der drei Jahre unter 20 dt TM/ha. Die Trockenmasseerträge der kleinkörnigen Kleearten (Perser- u. Inkarnatklee) fielen mit 0,65 dt bzw. 0,81 dt TM/ha extrem niedrig aus.

Während die N-Gehalte der Leguminosen 4,5 % bis 6 % betragen, lagen die N-Gehalte der Nichtleguminosen bei 2 % bis 4 % (Tab. 24). Insbesondere im Meliorationsgemenge sowie im Buchweizen lagen die N-Werte relativ niedrig. Die gebundenen N-Mengen im Aufwuchs der Zwischenfrüchte hingen stark von den Aufwuchsmengen ab. Somit wurde die höchste N-Aufnahme von Weißem Senf mit über 125 kg N/ha erreicht. Die Aufnahme von Sommerraps betrug 110 kg N/ha, von Phacelia 87 kg N/ha und Welschem Weidelgras 71 kg N/ha. Die Lupine erreichte N-Aufnahmen von 60 kg N/ha und Platterbse, Felderbse und Zottelwicke nahmen zwischen 30 kg und 40 kg N/ha auf. Aufgrund der sehr geringen Aufwuchsmengen der kleinkörnigen Leguminosen wurden auch nur Mengen von 3 kg bis 4 kg N/ha gebunden.

Die anderen analysierten Inhaltsstoffe schwanken ebenfalls deutlich (Tab. 25). Die niedrigsten P-Gehalte wies die Lupine auf, während die höchsten Werte im Inkarnatklee zu verzeichnen waren. Buchweizen war dagegen durch relativ geringe Werte an N und K gekennzeichnet, während die P-Gehalte und insbesondere die Mg-Werte relativ hoch waren. Verhältnismäßig hohe

Nährstoffmengen wurden daher ebenfalls bei den Arten aufgenommen, die hohe TM-Erträge erreichten, wie Weißer Senf, Sommerraps, Buchweizen, Phacelia.

Im Durchschnitt der Jahre führten die Kräuter und Gemenge zu den höchsten N-Aufnahmen, während die der Leguminosen am geringsten waren (Tab. 25). Die Spannweite der Leguminosen beträgt aber auch 3 (Perserklee, Inkarnatklee) bis 62 kg N/ha (Lupine), sodass die Durchschnittswerte in ihrer Aussagekraft beeinträchtigt sind. Die Leguminosen enthielten zwar die höchsten N- und P-Gehalte, doch waren deren Nährstoffaufnahmen aufgrund der geringer gebildeten Masse von allen geprüften Gruppen am niedrigsten. Die höchsten Nährstoffmengen im Pflanzenaufwuchs (N, P, K, Mg) wurden durch die Kräuter gebunden, gefolgt vom Gras und den Gemengen.

Tabelle 24: TM-Bildung sowie Gehalte und aufgenommene Mengen an Inhaltsstoffen der geprüften Zwischenfrüchte im Durchschnitt der drei Versuchsjahre

Zwischenfrucht	TM-Ertrag (dt/ha)	TM in FM (%)	Nährstoffgehalte in der TM (%)				Nährstoffträge (kg/ha)			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Platterbse	5,62	13,57	6,12	0,41	2,30	0,54	33,72	2,26	12,45	3,21
Perserklee	0,81	17,70	4,81	0,48	2,94	0,30	3,88	0,39	2,38	0,25
Weißer/Blaue Lupine	15,06	12,23	4,45	0,25	1,85	0,36	62,90	3,90	29,47	4,24
Zottelwicke	7,68	13,00	5,91	0,45	2,92	0,36	44,11	3,36	22,25	2,54
Inkarnatklee	0,65	13,50	4,79	0,54	2,68	0,30	3,10	0,35	1,73	0,20
Felderbse	8,37	16,90	4,33	0,28	1,81	0,34	35,97	2,39	14,92	2,89
Welsches Weidelgras	16,56	15,93	4,21	0,30	3,28	0,25	70,98	4,95	50,86	4,61
Landsberger Gemenge	9,60	15,07	5,07	0,35	3,12	0,29	47,91	3,40	29,56	2,90
Meliorationsgemenge	20,48	19,23	3,19	0,34	1,92	0,66	57,62	6,26	34,76	15,24
Phacelia	19,12	10,13	4,57	0,40	3,06	0,41	87,20	7,91	55,46	7,63
Buchweizen	25,15	25,80	2,33	0,32	1,50	0,67	59,68	8,36	36,64	17,30
Weißer Senf	31,72	14,00	3,71	0,25	2,29	0,33	125,49	8,15	67,40	11,37
Sommerraps	24,34	11,73	4,50	0,36	2,56	0,29	109,88	8,66	50,26	8,34

Tabelle 25: Durchschnittliche Trockenmasseerträge sowie Nährstoffgehalte und -erträge nach Zwischenfruchtgruppen

Zwischenfruchtgruppen	TM-Ertrag (dt/ha)	TM in FM (%)	Nährstoffgehalte in der TM (%)				Nährstoffträge (kg/ha)			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Leguminosen	7,97	14,16	5,14	0,37	2,30	0,38	38,36	2,61	17,24	2,79
Gras	15,04	17,15	4,13	0,35	2,52	0,47	52,77	4,83	32,16	9,07
Gemenge	16,56	15,93	4,21	0,30	3,28	0,25	70,98	4,95	50,86	4,61
Kräuter	25,08	15,42	3,78	0,33	2,35	0,42	95,56	8,27	52,44	11,16

3.4.4 Vorfruchtwirkung der Zwischenfrüchte für Kartoffeln

3.4.4.1 Chlorophyllgehalt der Kartoffelblätter im Wachstumsverlauf

Die Chlorophyllwerte der Kartoffelblätter als Kriterium der N-Ernährung wurden mit dem Gerät Minolta Spad-502 gemessen. Sie wiesen deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Anbaujahren auf (Abb. 24). Während im Jahr 2002 kaum Unterschiede zwischen den Varianten sichtbar wurden, sind im folgenden Jahr 2003 im Vergleich zu keinem Zwischenfruchtanbau leicht erhöhte Werte (Perserklee, Felderbse, Gemenge sowie einige breitblättrige Kräuter) als auch geringere Werte an Chlorophyll (Platterbse, Welsches Weidelgras, Zottelwicke) ermittelt worden. Im Versuchsjahr 2004 wurden insgesamt niedrigere Werte gemessen. Lediglich die Zwischenfrüchte Zottelwicke sowie das Meliorationsgemenge und der Weiße Senf wiesen etwas höhere Chlorophyllwerte auf als die Variante „ohne Zwischenfrüchte“. Im Durchschnitt der drei Versuchsjahre war eine ähnliche Rangfolge zu erkennen. Die Varianten Platterbse und Welsches Weidelgras wiesen die niedrigsten Werte auf.

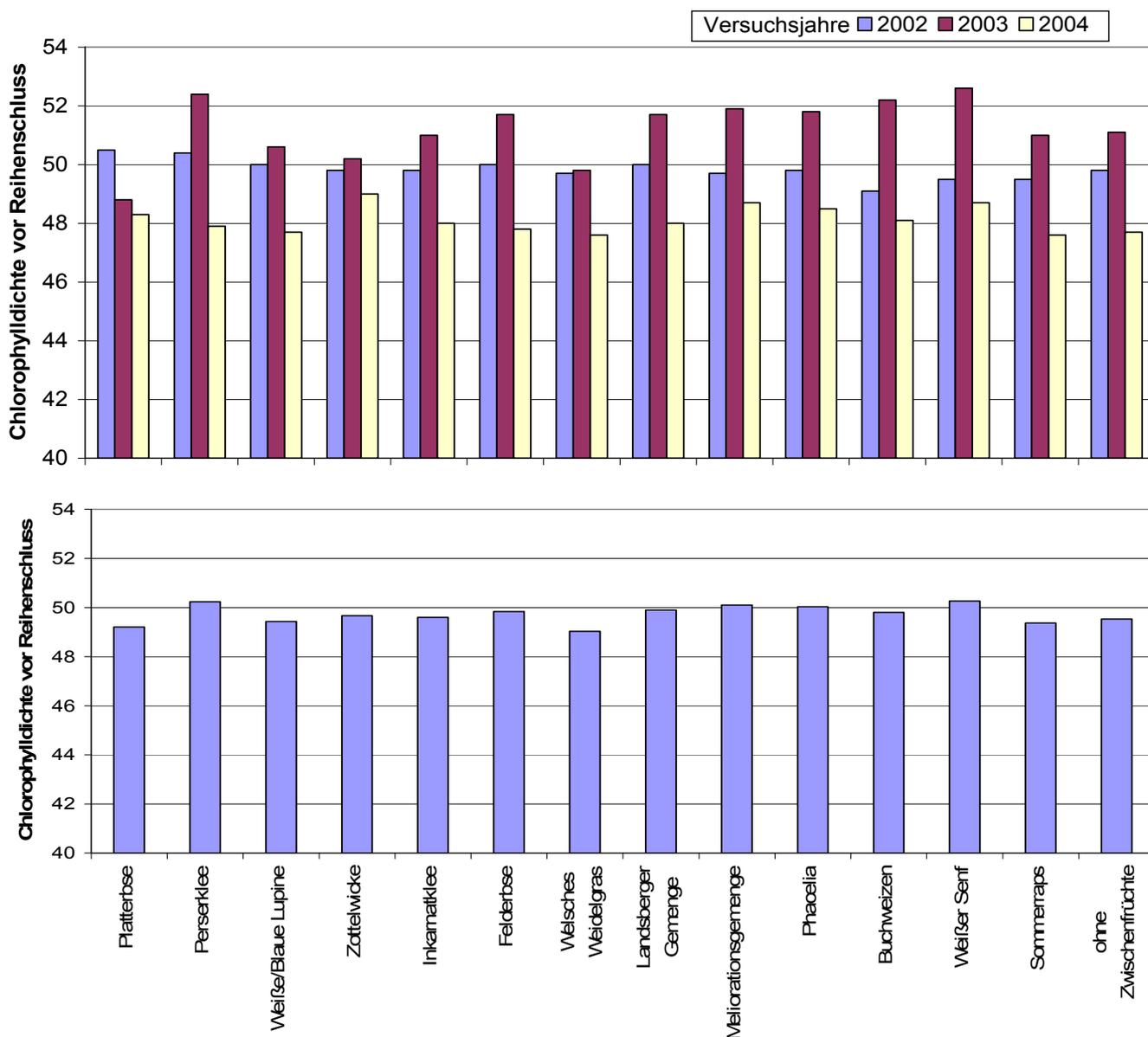


Abbildung 24: Chlorophyllgehalte von Kartoffelblättern zum Reihenschluss (BBCH 39) in den einzelnen Versuchsjahren und im Versuchsdurchschnitt (Relativwerte)

3.4.4.2 Frischmasseertrag und Knollenfraktionierung

Die Frischmasseerträge an Kartoffelknollen zeigten in den einzelnen Jahren sehr unterschiedliche Reaktionen auf die Vorfrüchte (Abb. 25). Einen starken Ertragszuwachs konnte besonders 2003 nach den legumen Zwischenfrüchten, Gemengen und Welschem Weidelgras erreicht werden. Dagegen zeigten sich im Jahr 2002 kaum Wirkungen, leichte Ertragszuwächse erzielten Felderbse, Phacelia und Sommerraps. Im Jahr 2004 waren leicht positive Ertragsreaktionen durch die Phacelia-, Weißer Senf- und Sommerraps-Varianten zu verzeichnen. Die Ertragswirkung war also stark vom Anbaujahr geprägt. Im Durchschnitt der drei Jahre waren daher keine signifikanten Wirkungen festzustellen. Fast alle Zwischenfrucht-Varianten wiesen in der Tendenz höhere FM-Erträge auf, außer bei Buchweizen, bei dem eher negative Ertragsreaktionen bei der nachfolgenden Kartoffel zu verzeichnen waren (Abb. 26).

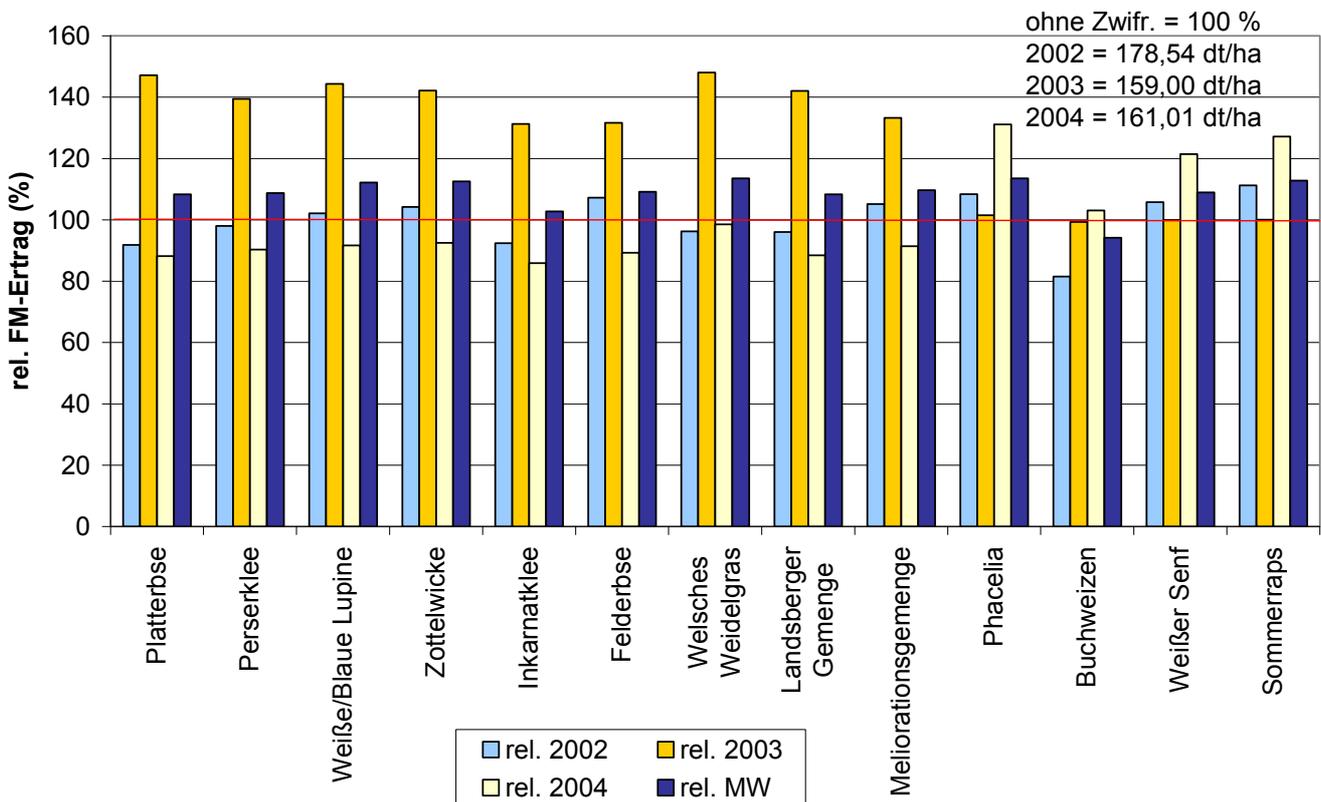


Abbildung 25: Relativerträge (Variante ohne Zwischenfrucht = 100 %) an Kartoffelknollen nach Anbau verschiedener Zwischenfrüchte in den Jahren 2002/2003 – 2004/2005

Der Einfluss der Zwischenfrüchte auf die Größenfraktionen der geernteten Kartoffelknollen war in den einzelnen Untersuchungsjahren unterschiedlich hoch (Tab. 26) und es zeigt sich, dass die Zunahme der Gesamterträge vor allem über einen erhöhten Anteil an Übergrößen erfolgte. So konnten im Jahr 2002 nach den Zwischenfrüchten Lupine, Zottelwicke, Weißer Senf und Sommerraps durchschnittliche Zunahmen von 16 dt/ha (27 % des Gesamtertrages) der Fraktion > 55 mm (Übergrößen) festgestellt werden. Im folgenden Jahr 2003 betrug die Zunahme der Übergrößen bei allen Leguminosen und Gemengen durchschnittlich 61 dt/ha (49 % des Gesamtertrages), während 2004 bei Weißem Senf und Sommerraps Zunahmen in dieser Fraktion von 34 dt/ha (33 % des Gesamtertrages) zu verzeichnen waren.

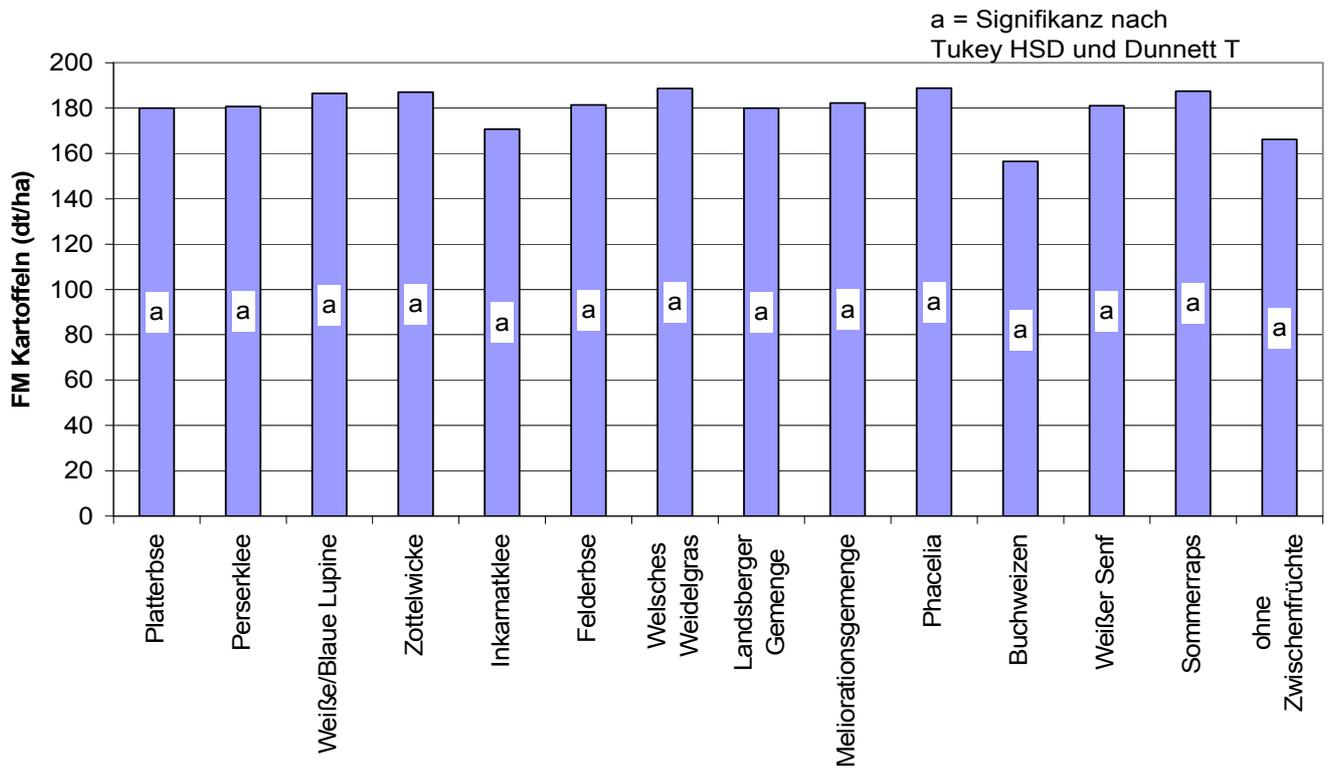


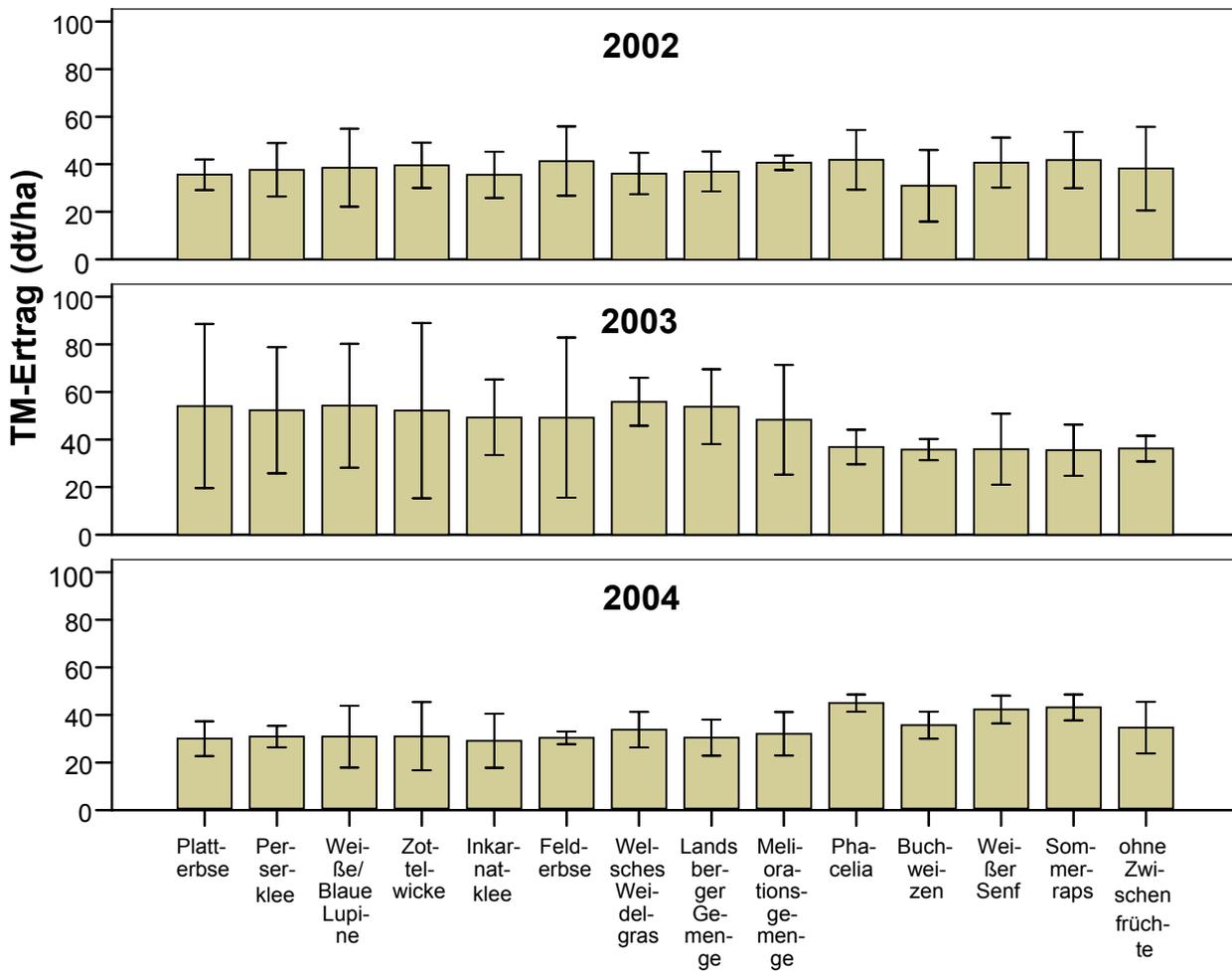
Abbildung 26: FM-Erträge an Kartoffelknollen im Durchschnitt der Versuchsjahre

Tabelle 26: Fraktionserträge an kleinen, mittleren und großen Knollen der einzelnen Jahre und im Durchschnitt

Zwischenfrüchte	Jahr 2002			Jahr 2003			Jahr 2004			Mittelwerte für Versuchszeitraum		
	< 30 mm	30 – 55 mm	> 55 mm	< 30 mm	30 – 55 mm	> 55 mm	< 30 mm	30 – 55 mm	> 55 mm	< 30 mm	30 – 55 mm	< 30 mm
Platterbse	0,6	138,8	24,6	0,7	104,4	129,0	0,4	113,5	28,1	0,6	118,9	60,6
Perserklee	1,0	141,0	32,9	1,1	114,4	106,3	0,6	117,5	27,4	0,9	124,3	55,5
Weißer/Blaue Lupine	0,6	130,4	51,3	1,2	122,5	105,8	0,5	120,7	26,5	0,8	124,5	61,2
Zottelwicke	0,8	133,8	51,5	1,0	104,8	120,2	0,7	124,1	24,3	0,9	120,9	65,3
Inkarnatklee	0,6	127,3	37,1	0,6	106,9	101,3	0,5	109,9	28,1	0,6	114,7	55,5
Felderbse	0,8	150,4	40,2	0,5	104,6	104,2	0,5	116,5	26,9	0,6	123,8	57,1
Welsches Weidelgras	0,6	129,6	41,7	1,0	103,8	130,6	0,6	125,8	32,3	0,8	119,7	68,2
Landsberger Gemenge	1,0	132,5	37,9	0,7	114,8	110,4	0,3	108,0	34,2	0,7	118,4	60,8
Meliorationsgemenge	0,6	147,3	39,8	1,0	102,1	108,8	0,1	109,9	37,2	0,6	119,8	61,9
Phacelia	1,0	143,8	48,8	0,8	104,8	55,8	0,4	137,3	73,6	0,8	128,6	59,4
Buchweizen	0,6	115,4	29,6	0,8	103,8	53,3	0,4	128,1	37,5	0,6	115,8	40,1
Weißer Senf	0,8	137,7	50,2	0,8	108,1	50,0	0,5	131,6	63,6	0,7	125,8	54,6
Sommerraps	0,8	141,7	56,0	0,7	103,3	55,0	0,3	133,9	70,8	0,6	126,3	60,6
ohne	0,6	142,1	35,8	0,7	106,7	51,7	0,7	126,9	33,5	0,7	125,2	40,3
Mittelwert	0,8	136,5	41,2	0,8	107,5	91,6	0,5	121,7	38,9	0,7	121,9	57,2

3.4.4.3 Trockenmasseertrag

Die Trockenmasseerträge der einzelnen Varianten unterschieden sich nicht signifikant, besonders die Werte nach dem Anbau der legumen Zwischenfrüchte im Jahr 2003/04 streuten sehr stark. Die Jahreswitterung hatte offensichtlich einen hohen Einfluss auf die Zwischenfruchtentwicklung, wodurch dann wiederum die Knollenerträge verändert worden sind (Abb. 27).



Fehlerbalken: +/- 2 SD

Abbildung 27: Wirkung von Jahr und Zwischenfruchtvorfrüchte auf die TM-Erträge bei Kartoffeln

Tabelle 27: Einfluss der Zwischenfrucht-Vorfrüchte auf die TM-Gehalte (%) der Kartoffelknollen

Zwischenfrüchte	Versuchsjahr 2002	2003	2004	Mittelwert
Platterbse	21,8	22,9	20,7	21,8
Perserklee	21,7	23,6	20,8	22,0
Weißer/Blaue Lupine	21,2	23,6	20,5	21,8
Zottelwicke	21,4	22,9	20,4	21,5
Inkarnatklee	21,7	23,6	20,6	21,9
Felderbse	21,7	23,3	20,7	21,9
Welsches Weidelgras	21,1	23,7	20,8	21,9
Landsberger Gemenge	21,7	23,9	21,0	22,2
Meliorationsgemenge	21,8	22,8	21,3	22,0
Phacelia	21,7	22,8	21,0	21,8
Buchweizen	21,4	22,7	21,1	21,7
Weißer Senf	21,6	22,6	21,3	21,8
Sommerraps	21,1	22,3	20,8	21,4
ohne Zwischenfrüchte	21,4	22,8	21,1	21,8

3.4.4.4 TM- und Stärkegehalt

Auch auf die TM- und Stärkegehalte in der TM konnten nur geringe Wirkungen analysiert werden (Tab. 27 und 28). Hiernach wurden die Gehalte an Stärke im Durchschnitt der Versuche durch die Platterbsen-Vorfrucht etwas erhöht und durch die Vorfrüchte Phacelia und Weißer Senf etwas niedriger.

Tabelle 28: Einfluss der Zwischenfrucht-Vorfrüchte auf die Stärke-Gehalte (% i. d. TM) der Kartoffelknollen

Zwischenfrüchte	Versuchsjahr 2002	2003	2004	Mittelwert
Platterbse	72,9	78,9	77,8	*76,6
Perserklee	71,9	75,0	77,7	74,9
Weißer/Blaue Lupine	*69,7	75,9	78,2	74,6
Zottelwicke	71,8	76,6	77,5	75,3
Inkarnatklee	71,2	77,7	77,1	75,3
Felderbse	70,8	77,0	77,5	75,1
Welsches Weidelgras	72,9	76,1	77,8	75,6
Landsberger Gemenge	72,1	75,3	76,5	74,6
Meliorationsgemenge	72,1	76,7	75,6	74,8
Phacelia	71,9	74,6	75,9	*74,1
Buchweizen	*74,0	74,4	76,3	74,9
Weißer Senf	72,3	75,6	75,2	*74,4
Sommerraps	72,3	75,7	77,2	75,0
ohne Zwischenfrüchte	72,5	75,5	77,8	75,3

*Signifikanz nach Tukey HSD ($\alpha=0,05$)

3.4.4.5 Gehalt und Entzug an Hauptnährstoffen

Auf einige weitere Inhaltsstoffe konnten Wirkungen der Zwischenfruchtvorfrüchte nachgewiesen werden (Tab. 29). Während die N-Gehalte sowie die Werte an Nitrat in den Kartoffelknollen kaum beeinflusst worden sind, konnten gegenüber der Variante „ohne Zwischenfrüchte“ geringe erhöhende Wirkungen der Gründüngung mit Platterbse, Zottelwicke und Felderbse auf die P-Gehalte sowie der Lupine auf die K-Werte und des Meliorationsgemenges auf die Mg-Gehalte nachgewiesen werden. Allgemein waren die Knollen ohne Zwischenfrucht-Vorfrüchte durch die niedrigsten Gehalte und Entzüge an P, K und Mg gekennzeichnet. Durch die Zwischenfrucht Buchweizen wurden die aufgeführten Nährstoffe nicht beeinflusst, sodass durch die relativ niedrigen Erträge es in dieser Variante zu den geringsten Nährstoffentzügen gekommen ist.

Tabelle 29: Einfluss der Zwischenfrucht-Vorfrüchte auf die Gehalte und Entzüge an den Nährstoffen N, P, K, Mg in Kartoffelknollen im Durchschnitt der Feldversuche

Zwischenfrüchte	Gehalte (% i. d. TM)				Entzüge (kg/ha)			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Platterbse	1,91	0,248*	1,86	0,116	73,79	9,77	75,47	4,72
Perserklee	1,86	0,236	1,87	0,115	73,28	9,51	76,48	4,70
Weißer/Blaue Lupine	1,87	0,234	1,92*	0,113	75,33	9,71	79,99	4,71
Zottelwicke	1,87	0,243*	1,82	0,111	74,60	9,97	74,99	4,58
Inkarnatklee	1,89	0,238	1,84	0,114	70,77	9,07	70,19	4,40
Felderbse	1,87	0,243*	1,82	0,115	74,15	9,79	73,67	4,66
Welsches Weidelgras	1,85	0,238	1,89	0,113	76,06	9,97	79,80	4,81
Landsberger Gemenge	1,89	0,236	1,83	0,111	74,62	9,46	74,15	4,51
Meliorationsgemenge	1,88	0,236	1,86	0,118*	74,97	9,49	75,70	4,79
Phacelia	1,84	0,234	1,85	0,113	75,45	9,63	76,17	4,64
Buchweizen	1,86	0,238	1,84	0,114	63,15	8,08	62,59	3,90
Weißer Senf	1,82	0,237	1,87	0,113	71,50	9,34	74,08	4,45
Sommerraps	1,89	0,235	1,90*	0,113	75,29	9,41	76,16	4,52
ohne Zwischenfrüchte (BB)	1,86	0,232	1,80	0,111	67,47	8,38	65,27	4,01

* Signifikanz nach Dunnett – T ($\alpha=0,05$)

¹⁾ Werte nicht für 2002, und ohne Wiederholungen

3.4.5 Frisch- und Trockenmasseertrag in Abhängigkeit von den Zwischenfruchtgruppen

Wurden die Ergebnisse entsprechend der Zwischenfruchtgruppen zusammengefasst, so bekommen doch einige der tendenziellen Ergebnisse über die Ertragswirkung der Zwischenfruchtvorfrüchte ein signifikantes Niveau (Abb. 28). Ab einer Ertragserhöhung von 10 % gegenüber der Variante ohne Zwischenfrüchte wurde ein signifikanter Einfluss durch die geprüften Gemenge und das Welsche Weidelgras festgestellt.

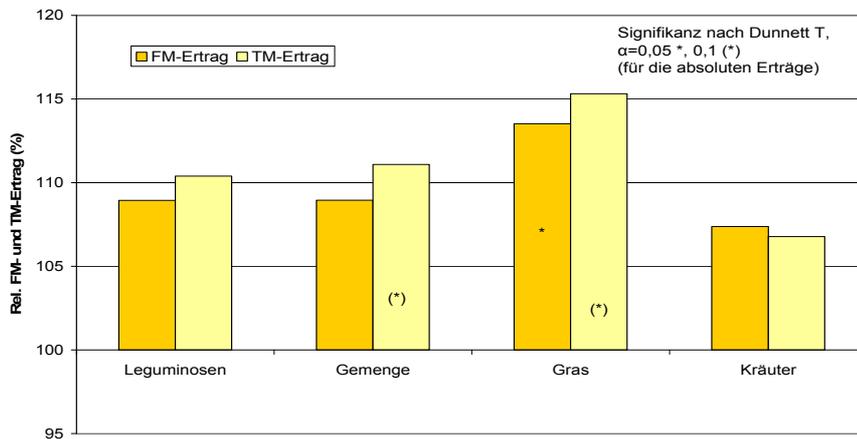


Abbildung 28: Einfluss der Zwischenfruchtgruppe auf die Relativerträge (100 % = ohne Zwischenfrucht-Vorfrucht) bei Kartoffeln im Durchschnitt der drei Versuchsjahre

3.4.6 Befall mit Krankheiten und Knollenverformungen

Im Jahr 2004 wurden Bonituren der Knollen auf den Befall mit Schorf und *Rhizoctonia solani* vorgenommen worden (Tab. 30), um eventuelle Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf das Auftreten von Krankheiten zu erfassen. Da es sich aber nur um ein Versuchsjahr handelt, sind die Ergebnisse nur eingeschränkt nutzbar.

Tabelle 30: Befall mit *Rhizoctonia solani* und Schorf nach dem Anbau von Zwischenfrüchten im Jahr 2004

Zwischenfrüchte	Schorf (Anteil Befall in %)	Sklerotien (Anteil Befall in %)	Sklerotien (Befallsindex)	dry core (Anteil Befall in %)	Verformungen (Anteil in %)
Platterbse	100	6	3	2	1
Perserklee	100	15	9	14	1
Weißer/Blaue Lupine	100	4	3	5	0
Zottelwicke	99	11	5	10	2
Inkarnatklee	100	5	2	7	0
Felderbse	100	5	1	5	2
Welsches Weidelgras	100	8	1	8	14
Landsberger Gemenge	98	9	4	7	0
Meliorationsgemenge	98	6	2	5	3
Phacelia	100	9	3	5	1
Buchweizen	99	12	8	8	0
Weißer Senf	100	2	1	4	3
Sommerraps	99	18	10	9	2
ohne	99	16	7	5	1

3.4.7 Beziehungen zwischen dem Zwischenfruchtanbau und der Nachfrucht Kartoffeln

3.4.7.1 Knollenerträge und Inhaltsstoffe von Kartoffeln in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis und anderen Eigenschaften der Zwischenfrüchte

Zwischen der Aufwuchsmenge an Zwischenfrüchten und den Knollenerträgen besteht keine Beziehung (Abb. 29). Steigende Mengen an Zwischenfrucht-Gründüngung führten in den dreijährigen Versuchen zu keiner Steigerung der Kartoffelerträge. Viel stärker scheinen sich das Alter des Pflanzenmaterials, die C/N-Verhältnisse und die N-Gehalte in den Zwischenfrüchten auf Nachfrüchte auszuwirken.

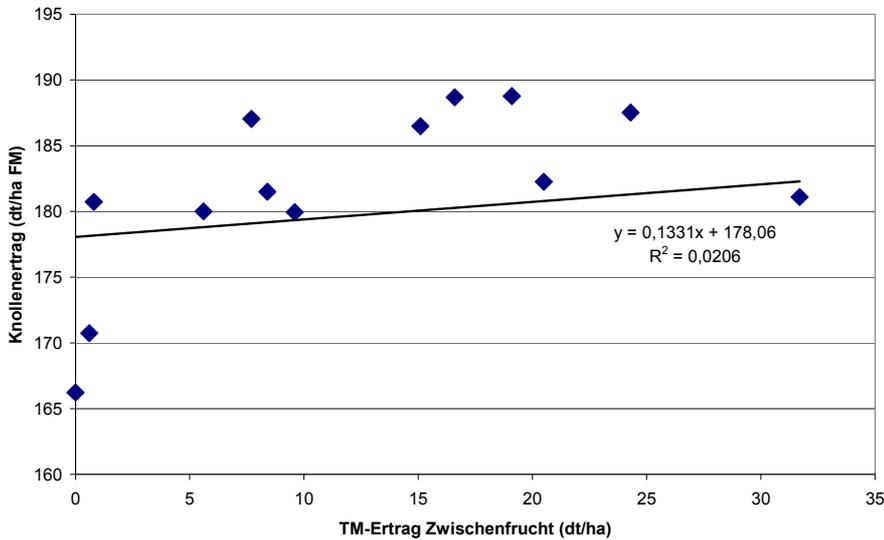


Abbildung 29: Beziehungen zwischen TM-Ertrag an Zwischenfrüchten und den Knollenerträgen der Nachfrucht (0 dt TM = Variante ohne Zwischenfrüchte)

Zwischen den C/N-Verhältnissen und den Knollenerträgen besteht ein statistischer Zusammenhang (Abb. 30, oben). Mit weiter werdenden C/N-Verhältnissen nimmt der Knollenertrag ab und bei engen C/N-Verhältnisse steigt der Knollenertrag an. In die gleiche Richtung weist auch die Beziehung zwischen den N-Gehalten der Zwischenfrüchte und den Knollenerträgen (Abb. 30, unten). Mit steigenden N-Gehalten (führen zu engen C/N-Verhältnissen) in den Zwischenfrüchten ist eine Zunahme der Erträge zu verzeichnen.

Demgegenüber bestand zwischen den Chlorophyllgehalten in den Kartoffelblättern und den N-Gehalten der Zwischenfruchtaufwüchse keine Beziehung. Auch zwischen den Chlorophyllwerten und den N-Gehalten der Knollen bestand nur eine sehr geringe positive Beziehung. Die N_{\min} -Gehalte hatten ebenfalls keinen Einfluss auf die Chlorophyllwerte der Kartoffelpflanzen (ohne Abbildungen).

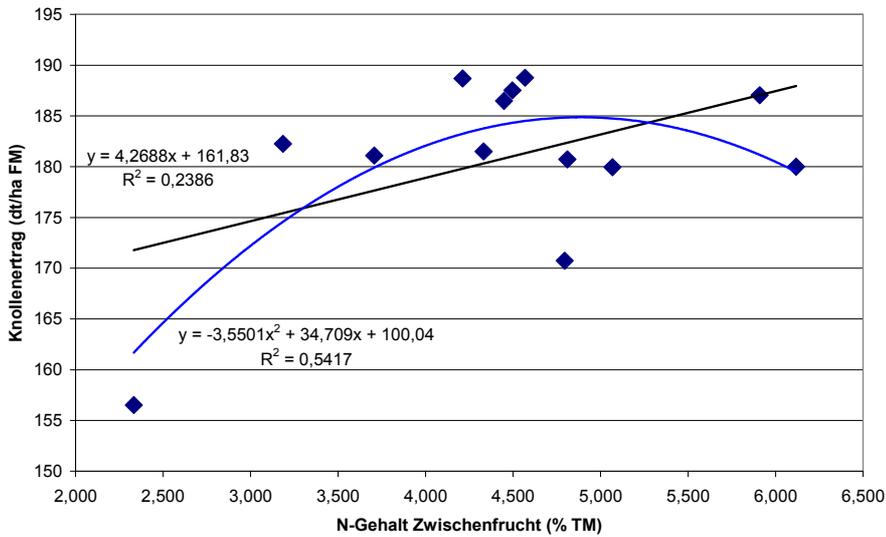
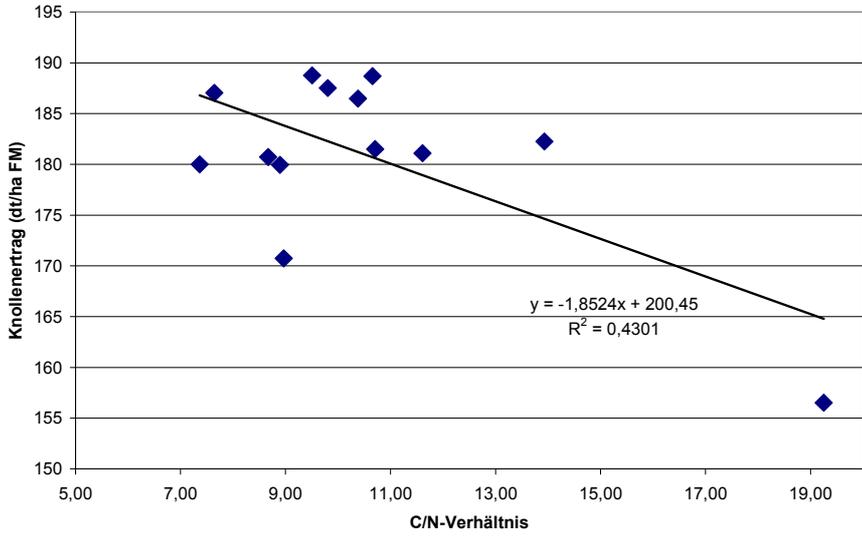


Abbildung 30: Einfluss der C/N-Verhältnisse (oben) sowie der N-Gehalte (unten) in den Zwischenfrüchten auf die Knollenerträge im Durchschnitt der Feldversuche

Auf die Qualität der Kartoffelknollen waren nur geringe Wirkungen durch die Hauptnährstoffe nachzuweisen. Im Wesentlichen bestand nur durch steigende N-Gehalte in den Zwischenfrüchten eine positive Wirkung auf die N-Gehalte in den Kartoffelknollen (Abb. 31). Darüber hinaus war es nicht möglich, durch die entsprechenden Nährstoffe in den Zwischenfrüchten die P-, K- und Mg-Werte in den Knollen zu beeinflussen (ohne Abbildung).

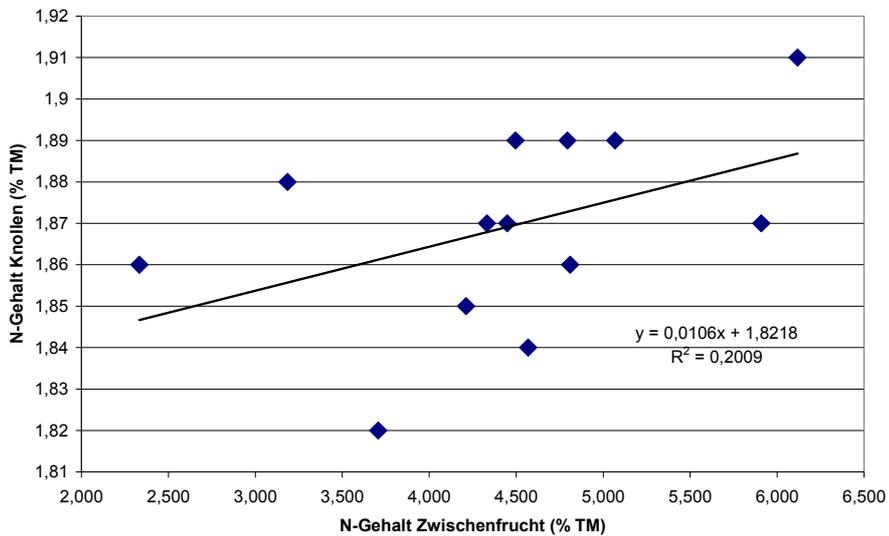


Abbildung 31: Einfluss steigender N-Gehalte in den Zwischenfruchtaufwüchsen auf die N-Gehalte in den Kartoffelknollen im Durchschnitt der Feldversuche

3.4.7.2 Ertragsbildung von Kartoffeln in Abhängigkeit vom N_{\min} -Angebot

Die N_{\min} -Werte vor dem Anbau sowie zur Zeit des Reihenschlusses der Kartoffeln haben einen unterschiedlichen Einfluss auf die Knollenerträge (Abb. 32). Während zwischen den N_{\min} -Werten im Frühjahr und den Knollenerträgen keine Beziehung ermittelt worden ist, erfolgt mit steigenden N_{\min} -Werten zur Hauptwachstumszeit der Kartoffeln eine leichte positive Wirkung auf die Knollenerträge.

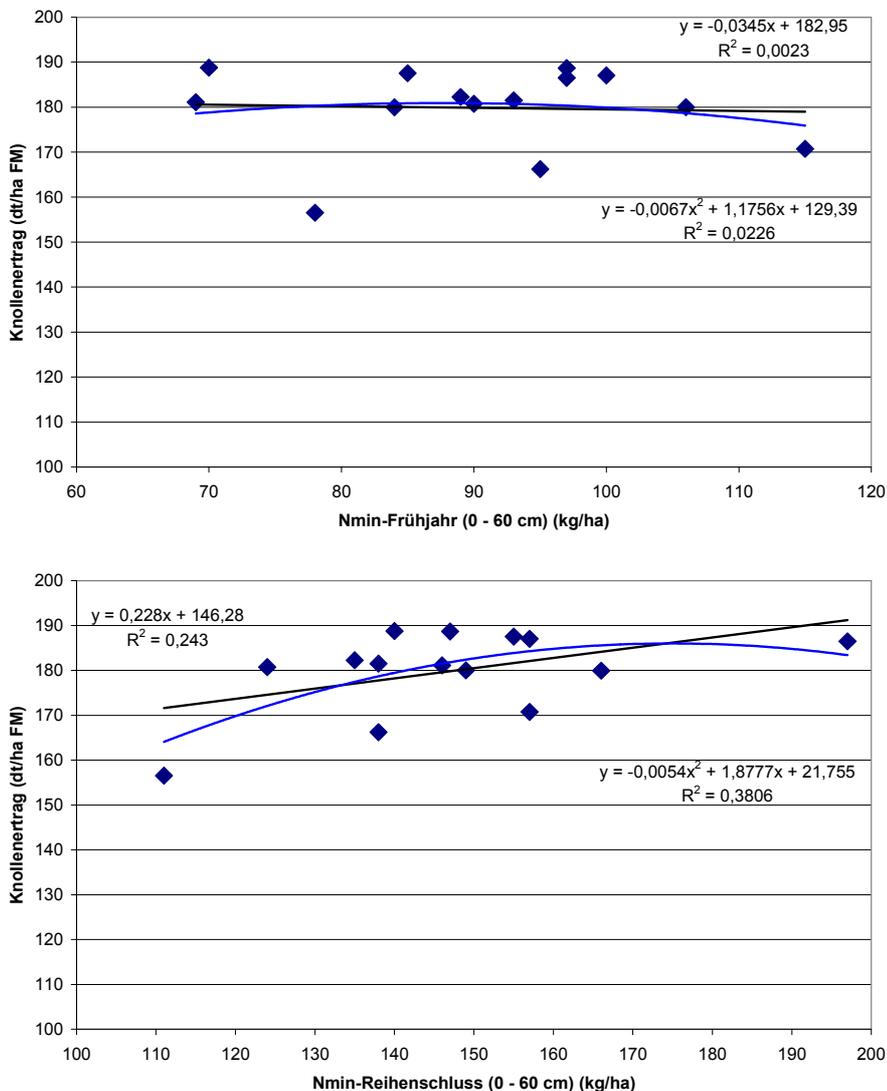


Abbildung 32: Einfluss der N_{\min} -Gehalte (0 – 60 cm Bodentiefe) im Frühjahr (oben) und zur Zeit Reihenschluss (unten) auf die Knollenerträge bei Kartoffeln im Durchschnitt der Versuchsjahre

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Einfluss der Zwischenfrüchte auf die Ertrags- und Qualitätsparameter der Nachfrüchte

Um den Zwischenfruchtanbau in seiner Wirkung besser beurteilen zu können, wurden in den letzten Jahren einige Untersuchungen unter den Bedingungen des ökologischen Anbaus durchgeführt, wobei vorrangig die Wirkung auf die Nachfrüchte Kartoffeln und Sommergetreide im Focus der Betrachtung standen. Weitere Untersuchungen liegen aus dem Gemüseanbau vor (HAAS 2004; LABER 2002, 2007).

In den hier vorgestellten Gefäßversuchen zeigte sich beim Nachbau von Silomais in den Varianten mit einer Zwischenfruchtgründung gegenüber der Variante ohne Zwischenfrucht eine negative Reaktion der Wuchshöhe zu allen

Terminen (Blattentwicklung, Beginn des Längenwachstums, Beginn des Rispschiebens, Milchreife). Dagegen wurde die Wuchshöhe bei der Nachfrucht Kartoffeln in allen Zwischenfruchtvarianten außer Buchweizen angehoben. Die Chlorophyllgehalte erhöhten sich in beiden Kulturen, sodass von einer besseren Stickstoffversorgung in den Zwischenfruchtvarianten ausgegangen werden kann. Die Erträge konnten sowohl bei Silomais als auch bei Kartoffeln gesteigert werden und es ließen sich signifikante Unterschiede ermitteln.

Bei Silomais erzielten alle Zwischenfrüchte außer Buchweizen signifikant höhere Erträge, die höchsten Erträge konnten nach Platterbse, Perserklee, Zottelwicke und Inkarnatklees geerntet werden. Die Stickstoffgehalte in der Trockenmasse wurden durch die Zwischenfrüchte ebenfalls erhöht und es zeigte sich, dass mit steigenden N-Gehalten der Zwischenfrüchte die TM-Ganzpflanzenerträge sowie die N-Gehalte im Mais deutlich zunahmen.

Bei den Kartoffeln führten die Zwischenfrüchte in allen Varianten zu einer Steigerung des Krautwachstums und die Knollenerträge konnten in allen Varianten außer Perserklee signifikant erhöht werden. Dabei erzielten die Zwischenfrüchte Deutsches Weidelgras und Platterbse die höchsten Erträge. Mit steigenden N-Gehalten in den Zwischenfrüchten war ein leicht positiver Effekt auf die Knollenerträge zu verzeichnen. Es zeigt sich aber, dass dieser Zusammenhang nicht so stark wie beim Silomais ausgeprägt war. Die N-Gehalte der Knollen konnten durch steigende N-Gehalte in der Gründüngung ebenfalls positiv beeinflusst werden.

Auf der Grundlage der ¹⁵N-Markierung des Bodens ließ sich ermitteln, dass ca. 20 % des Stickstoffs aus dem mineralisierten Anteil der Gründüngung durch die Folgefrüchte aufgenommen wurden. Die höchste Nutzung des Stickstoffs aus der Gründüngung wiesen die Varianten nach Platterbse und Sommerraps auf, den geringsten Anteil aus der Gründüngung verzeichnete Buchweizen.

Die positiven Wirkungen der Zwischenfrüchte auf die Erträge von Silomais und Kartoffeln in den Gefäßversuchen konnten in den Feldversuchen eingeschränkt bzw. tendenziell bestätigt werden. Hier zeigten sich sehr deutlich die Auswirkungen der Witterungsbedingungen in den einzelnen Anbaujahren auf die Entwicklung der Zwischenfrüchte und auf die Entwicklung der nachfolgenden Hauptfrüchte.

Die Aufwüchse an Zwischenfrüchten waren nicht nur zwischen den Jahren sondern auch im Durchschnitt der Jahre sehr unterschiedlich, so dass auch die Nährstoffbindung in unterschiedlicher Höhe erfolgte. Besonders deutlich wird die Wirkung von Trockenheit und Unkrautdruck bei der Ansaat der kleinkörnigen Leguminosen Perserklee und Inkarnatklees, wo sich teilweise kein oder nur ein geringer Aufwuchs etablierte. Dagegen entwickelten sich Phacelia, Buchweizen, Weißer Senf und Sommerraps in den einzelnen Jahren gut und konnten auch ausreichend Trockenmasse bilden. Von den Leguminosen wies Lupine die größte Trockenmassebildung auf, aber auch Platterbse und Zottelwicke entwickelten sich zufriedenstellend.

Hinsichtlich der Wirkung der Zwischenfrüchte auf den Trockenmasseertrag von Silomais zeigten sich über die drei Jahre Mehrerträge nach den Zwischenfrüchten Zottelwicke und Perserklee, die aber statistisch nicht gesichert sind. Beim Stärke- und Energiegehalt ließen sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Arten feststellen. Die Rohproteingehalte der Varianten Zottelwicke, Platterbse, Lupine und Perserklee waren signifikant höher als die der anderen Varianten und es konnte nachgewiesen werden, dass mit steigenden N-Gehalten in den Zwischenfrüchten die Trockenmasseerträge von Silomais zunahmen.

Eine ähnlich positive Wirkung auf die Rohproteingehalte bzw. Rohproteinerträge von Hafer zeigte der Anbau verschiedener Untersaaten und einer Stoppelsaat (Gemenge Senf/Sommerwicke) an zwei Standorten in Südbayern (FUCHS et al. 2009). Die durchschnittlichen Jahresniederschläge in den Untersuchungsgebieten liegen bei 730 bzw. 780 mm. Demgegenüber ergaben sich in Gebieten mit hohen Jahresmitteltemperaturen (9,4 °C) und geringen Jahresniederschlägen (491 mm) in Österreich tendenziell geringfügig niedrigere Kornerträge und niedrigere Rohproteingehalte bei Sommergerste nach den Zwischenfrüchten Senf, Phacelia, Perko und Platterbse im zweijährigen Durchschnitt (BODNER et al. 2002).

Bei der Prüfung der einzelnen Zwischenfruchtvarianten auf den Ertrag von Kartoffeln in Roda konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden. So erzielten im Jahr 2002 nur einige Arten wie Zottelwicke, Felderbse, Phacelia, Weißer Senf und Sommerraps geringe Ertragszuwächse, dagegen gab es im Jahr 2003 nach allen Leguminosen-

Zwischenfrüchten deutliche Ertragszunahmen. Im Anbaujahr 2004 gab es nur Ertragszuwächse bei den Kräutern. Im Durchschnitt der Jahre wiesen alle Zwischenfruchtvarianten höhere Knollenerträge auf (außer Buchweizen) und es zeigte sich, dass die Ertragszunahmen besonders im Jahr 2003 mit einem erhöhten Anteil an Übergrößen einhergingen. Hinsichtlich der Wirkung auf den Ertrag zeigte sich beim Silomaisanbau ein Vorteil der Leguminosen-Zwischenfrüchte, beim Kartoffelanbau lässt sich keine direkte Überlegenheit bestimmter Arten erkennen.

In mehrjährigen Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen (PAFFRATH 2009) zur Wirkung von verschiedenen Zwischenfrüchten (Ölrettich, Ackerbohnen, Futtermalve + Inkarnatklée, Phacelia, Sonnenblumen + Rotklée, Buchweizen + Seradella, Schwarzsénf) auf den Ertrag sowie auf den Drahtwurmbefall von Kartoffeln konnten ebenfalls keine signifikanten Ertragszuwächse ermittelt werden. Während im Jahr 2006 deutliche Mehrerträge von 20 - 30 % erzielt wurden, waren die Mehrerträge im Jahr 2007 sehr gering und im Folgejahr 2008 konnten nur nach Phacelia sowie Sonnenblumen mit Rotklée höhere Erträge als nach Brache geerntet werden. Insgesamt zeigte Buchweizen die geringsten Ertragszuwächse bzw. die höchste Ertragsminderung. Ölrettich und Phacelia wiesen dagegen die deutlichsten Ertragszuwächse auf. Die Wirkung der einzelnen Fruchtarten auf den Befall der Kartoffeln mit Drahtwürmern zeigte kein einheitliches Bild. So konnte durch den Anbau von Phacelia im Jahr 2007 der Befall deutlich reduziert werden, aber im Jahr 2008 trat nach Phacelia ein etwas höherer Befall als nach Brache auf und die Ackerbohnen wiesen den geringsten Befall auf.

In dreijährigen Versuchen von SURBÖCK et al. (2006) in Österreich wurde der Anbau von Kartoffeln nach einem Zwischenfruchtgemenge aus Senf und Phacelia bzw. einer Untersaat in Hafer untersucht. Sie konnten keine signifikanten Mehrerträge bei den Kartoffeln feststellen. Es zeigt sich aber ein Ertragsvorteil des Anbaus von Zwischenfrüchten gegenüber der Brache. Die Unterschiede in der Sortierung in Abhängigkeit von der Fruchtfolge waren gering. MÖLLER et al. (1999) ermittelten in zweijährigen Untersuchungen signifikante Ertragszunahmen von Kartoffeln nach dem Anbau der Winterwicke auf einem „ertragsschwachen“ Standort, während auf einem „besseren“ Standort keine Mehrerträge erzielt werden konnten.

Einen wichtigen übergeordneten Einflussfaktor auf den Knollenertrag stellte das C/N-Verhältnis in der oberirdisch gebildeten Pflanzenmasse der Zwischenfrüchte dar. In den Untersuchungen zeigte sich, dass bei einem weiten C/N-Verhältnis der Pflanzenmasse größer als 17 - 19 die Knollenerträge abnahmen. So stellten PAUL & CLARK (1988) fest, dass bei C/N-Verhältnissen weiter als 25 keine Netto-N-Mineralisation mehr stattfand und dass die C/N-Verhältnisse somit als wichtiger Indikator für die Abbaugeschwindigkeit und die Stickstoffverfügbarkeit anzusehen sind. Die Leguminosen wiesen im Vergleich der Arten ein engeres C/N-Verhältnis und damit verbunden eine schnellere Mineralisierung und Nährstofffreisetzung als andere Zwischenfruchtarten auf. Dies zeigt sich auch in den höheren N_{\min} -Werten vor der Bestellung der Nachfrüchte im Frühjahr. Jedoch kam es im weiteren Vegetationsverlauf zu einem weitgehenden Ausgleich der Werte.

Zwischen den N-Gehalten der Zwischenfrüchte und den Knollenerträgen konnte ebenfalls eine Beziehung nachgewiesen werden. Winterwicke und Platterbse hatten mit 5,5 % die höchsten N-Gehalte in der Pflanzensubstanz. Buchweizen wies dagegen die geringsten N-Gehalte (2,3 % N) und mit einem Wert von 19 das weiteste C/N-Verhältnis auf. In der Mehrzahl der Versuche zeigte er bei den Nachfrüchten die geringste positive Ertragsreaktion. In Gemengen hat der Anteil der Leguminosen einen großen Einfluss auf das C/N-Verhältnis, denn mit steigendem Leguminosenanteil verringerte sich das C/N-Verhältnis (MÖLLER et al. 2007). Der Ligningehalt beeinflusst ebenfalls die Mineralisierbarkeit der Ernte- und Wurzelrückstände. Bei höheren Anteilen dieser schwer abbaubaren Verbindungen (Zellulose, Lignin) findet ein geringerer Abbau statt.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Wirkung der Gründüngung stellt auch die Behandlung und Einarbeitung der Zwischenfrüchte in den Boden dar. Bei einem Vergleich unterschiedlicher Verfahren in der Schweiz steigerte Mulchen und Mähen der Gründüngung den Ertrag der Nachfrucht Kohl stärker als das Verfahren ohne Schnitt (KOLLER et al. 2008). Es hat sich auch als zweckmäßiger erwiesen, die Pflanzenmasse sofort in den Boden einzuarbeiten. So stellten auch SCHARF & SCHRAGE (1988) die günstigsten Bedingungen für eine Mineralisation bei einer Einarbeitung der Grünmasse in den Pflughorizont (0 – 20 cm Tiefe) fest.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Wirkung des Anbaus von Zwischenfrüchten auf den Ertrag der Folgekulturen sehr stark durch die Standortfaktoren (Witterung, Boden) und die Wachstumsfaktoren (Wasser, Nährstoffe, Struktur) beeinflusst wird. Alle untersuchten Zwischenfruchtarten und -gemenge mit Ausnahme von Buchweizen im Reinanbau

können für einen Anbau genutzt werden. Buchweizen, aber auch die kleinkörnigen Leguminosen Inkarnatklée und Perserklée, sollten besser in Mischungen angebaut werden.

Die Zwischenfruchtversuche wurden in Anbausystemen mit organischer Düngung (ca. 1 GV/ha) durchgeführt. Die Ergebnisse lassen sich daher nicht direkt auf viehlose Systeme übertragen. In Betrieben ohne Viehhaltung könnten Leguminosenzwischenfrüchte möglicherweise verstärkt genutzt werden, um einen höheren Stickstoff-Input zu erreichen. Als gute Lösung bietet sich auch der Anbau von Gemengen mit zwei bis fünf Partnern an, der die Vorteile verschiedener Arten kombiniert.

4.2 Beurteilung der konservierenden Wirkung der Zwischenfrüchte

Neben der positiven Wirkung der Zwischenfrüchte auf das N-Angebot der Folgekulturen muss die Entwicklung der Nitrat-N-Gehalte im Boden während der Wintermonate und damit die Gefahr von Nährstoffverlagerung und -auswaschung berücksichtigt werden. In Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen und den Witterungsbedingungen kann Nitrat ins Grundwasser eingetragen werden. Diese Gefahr besteht besonders auf den leichten Standorten mit einer geringen Feldkapazität.

Bei dem Untersuchungsstandort Roda handelt es sich um einen tiefgründigen Lehmboden, auf dem die unmittelbare Gefahr des Eintrages ins Grundwasser relativ gering ist. Außerdem neigt der Boden sehr stark zur Verschlammung und die Möglichkeiten der Durchführung einer Frühjahrsfurche sind eingeschränkt. Aus diesen Gründen wurden die Pflanzenbestände nach vorherigem Mulchen im Herbst eingepflügt.

Die Ergebnisse der N_{\min} -Untersuchungen zeigten, dass im Herbst vor dem Silomaisanbau im Durchschnitt der Jahre eine deutliche Reduktion der N_{\min} -Werte durch den Zwischenfruchtanbau erreicht wurde. Die höchsten Stickstoffaufnahmen erfolgten dabei durch das Welsche Weidelgras, Sommerraps und Phacelia. Aber auch die untersuchten Gemenge konnten den Nitratgehalt des Bodens reduzieren. Dagegen verzeichneten die meisten Leguminosenarten nur einen geringen Rückgang der Nitratwerte bis zum Herbst. Bei den Untersuchungen zu Kartoffeln lag im Durchschnitt der Jahre ein sehr hohes N_{\min} -Niveau vor, besonders im Jahr 2004 waren sehr hohe Werte mit über 200 kg N/ha zu verzeichnen. Weißer Senf, Sommerraps, Phacelia und Welsches Weidelgras konnten aufgrund hoher Aufwuchsmengen sehr viel Nitrat aufnehmen und damit trotz der sehr hohen Gehalte eine starke Reduktion der Bodenwerte hervorrufen. Bei den Leguminosen wurde jedoch kaum Nitrat aufgenommen und bei Inkarnatklée und Perserklée kam es sogar zu einem weiteren Anstieg der N_{\min} -Gehalte, sodass im Vergleich zu der Variante ohne Zwischenfrucht keine verringerten Werte auftraten.

Im Frühjahr vor der Aussaat von Silomais erhöhten sich die N_{\min} -Gehalte durch die einsetzende Mineralisation und Nährstofffreisetzung und nach den Leguminosen und Gemengen wurden im Durchschnitt höhere Werte im Boden ermittelt. Im kniehohen Maisbestand wiesen die Leguminosenarten mit Abstand die höchsten Gehalte auf (+35 kg N/ha gegenüber ohne Zwischenfrucht). Vor der Bestellung der Kartoffeln zeigten auch die Parzellen mit den Leguminosenarten und das Welsche Weidelgras die höchsten Werte. Jedoch waren die Gehaltsunterschiede zwischen den einzelnen Fruchtarten nicht so groß wie beim Nachbau von Silomais und dieses Niveau blieb auch zum Reihenschluss bei den Kartoffelversuchen bestehen. Nach der Ernte von Mais und Kartoffeln zeigten sich relativ ausgeglichene N_{\min} -Werte über alle Varianten. Die Werte nach Silomais betragen 40 kg bis 60 kg N/ha, während nach den Kartoffeln bis zu 140 kg N/ha im Boden noch vorhanden waren.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen ein sehr ähnliches Bild. Die beste konservierende Wirkung auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens hatten Welsches Weidelgras, Sommerraps, Phacelia und Weißer Senf. Das Landsberger Gemenge und das Meliorationsgemenge konnten ebenfalls ausreichend Nitrat aufnehmen und konservieren, obwohl beide Gemenge hohe Anteile an Leguminosen aufwiesen. Die reinen Leguminosenbestände nahmen aufgrund ihrer Fähigkeit zur Luftstickstoffbindung nur geringere Nitratmengen aus dem Boden auf und zeigten nur einen geringen bzw. keinen konservierenden Effekt.

Untersuchungen von KÖNIG (1996) auf einem sandigen Standort kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Winterraps und Wickroggen zeigten die beste Konservierung über das Winterhalbjahr. Die Leguminosen bzw. Leguminosengemenge erzielten die geringste Konservierung. Die Pflanzenmasse der Leguminosen mit dem hohen Stickstoffgehalt war durch einen hohen Abbau gekennzeichnet und der mineralisierte Stickstoff konnte über den Winter nicht im Oberboden gehalten werden. Deshalb sollte auf den leichten Standorten, die durch eine hohe Auswaschung gekennzeichnet sind, ein Anbau von reinen Leguminosenbeständen vermieden werden, sodass die Leguminosen in Gemengen mit anderen Arten anzubauen sind. Der Umbruch sollte möglichst erst im Frühjahr erfolgen und bei einem Umbruch der Zwischenfrüchte im Herbst ist es besser, den Bestand zu mähen und abzufahren. REENTS & MÖLLER (2001) konnten auf Standorten in Bayern (sandiger Lehm, schluffiger Lehm) feststellen, dass Brassicaceae und teilweise auch Roggen die höchste Sicherheit in der Nitrataufnahme im Herbst gewährleisten. Bei einer guten Herbstentwicklung können Leguminosen in einer Mischung mit Nichtleguminosen ebenfalls hohe Nitratmengen konservieren. Dabei wurden Mischungen von Erbsen und Ölrettich, Perserklee und Ölrettich sowie Sommerwicke und Ölrettich untersucht.

Unter trockenen Bedingungen (550 mm Jahresniederschlag) in Österreich konnten alle untersuchten Zwischenfruchtarten und -mischungen die N_{min} -Gehalte im Boden reduzieren, wobei auch hier die Leguminosen die geringsten Aufnahmen an Nitrat verzeichneten. Eine hohe konservierende Wirkung hatten die Nichtleguminosen (Phacelia, Ölrettich, Stoppelrübe) oder Mischungen dieser Arten mit Futtererbse oder Saatwicke. Zwischenfruchtgemenge aus Leguminosen und Nichtleguminosen scheinen die Vorteile beider Artengruppen zu vereinen. Durch die Leguminosen wird Stickstoff aus der Luft gebunden und durch die Wüchsigkeit der Kruziferen oder Gräser wird genügend Stickstoff aus dem Boden aufgenommen und damit die Auswaschungsgefahr verringert (RINNOFNER et al. 2005).

Steht bei dem Ziel des Zwischenfruchtanbaus der Grundwasserschutz an erster Stelle, so muss die Auswahl der angebauten Art bzw. Mischung eine hohe Wüchsigkeit und eine hohe Nitrataufnahme gewährleisten. In Abhängigkeit vom Standort (Bodenart, nutzbare Feldkapazität, Jahresniederschlag) sind daher besonders die Kruziferen wie Weißer Senf, Ölrettich und Sommerraps auszuwählen, aber auch Phacelia und Gräser (Einjähriges Weidelgras, Welsches Weidelgras) sind geeignet. Auf leichten Standorten sollten möglichst überwinternde Arten (Winterrübsen, Winterroggen, Weidelgras, Winterwicke) angebaut werden, da dies dann die sicherste Möglichkeit einer Konservierung darstellt. Gemenge bzw. Mischungen mit einem Anteil an Leguminosen sind zur N-Konservierung ebenfalls geeignet. Mischungen bieten den Vorteil, dass sich die Arten ergänzen und den Boden in unterschiedlicher Tiefe durchwurzeln. Bei ungünstigen Bedingungen gibt es meistens keine Totalausfälle.

Nachfolgend sollen die einzelnen untersuchten Gruppen zusammenfassend charakterisiert werden:

Kreuzblütler:

- Arten sind sehr wüchsig, aber Ölrettich friert nicht sicher ab und deshalb besteht Gefahr von Durchwuchs
- Aussaat Ende Juli – Mitte September
- Verfahren der Mulchsaat können genutzt werden
- ungeeignet in Fruchtfolgen mit Raps

Leguminosen:

- geeignet in viehlosen Betrieben als zusätzliche N-Zufuhr
- Aussaat Mitte Juli – Anfang August
- relativ hohe Ansprüche an das Saatbett (Pflug und Drillmaschine) und hohe Saatgutkosten

Phacelia:

- keine Übertragung von Fruchtfolgekrankheiten
- Aussaat Mitte Juli – Mitte September
- Verfahren der Mulchsaat können genutzt werden

Weidelgräser:

- zur Gründüngung und zum Verfüttern geeignet
- Aussaat Mitte Juli – Ende August
- in Getreidefruchtfolgen weniger gut geeignet, da Übertragung von Fruchtfolgekrankheiten

Weitere praktische Hinweise zum Zwischenfruchtanbau können der Broschüre „Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau“ entnommen werden (KOLBE et al. 2004).

5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Wirkung des Zwischenfruchtanbaus auf den Ertrag und weitere Qualitätsparameter von Silomais und Kartoffeln zu untersuchen. Dazu wurden mehrjährige Gefäßversuche und Feldversuche (1999 - 2004) auf einem schluffigen Lehmboden in Roda (Landkreis Leipzig) mit den Zwischenfrüchten

- Leguminosen (Platterbse, Perserklee, Lupine, Zottelwicke, Inkarnatklee, Felderbse, Weißklee)
- Gras (Welsches Weidelgras)
- Kräuter (Phacelia, Buchweizen, Weißer Senf, Sommerraps)
- Gemenge (Landsberger Gemenge, Meliorationsgemenge)

angelegt. In den Untersuchungen konnten folgende Ergebnisse ermittelt werden:

Die Düngung mit der Grünmasse der Zwischenfrüchte (2 g N/Gefäß) führte in allen Gefäßversuchen zu signifikanten Mehrerträgen bei den Folgefrüchten mit Ausnahme von Buchweizen bei Silomais und Perserklee bei Kartoffeln. Die günstigste Wirkung auf die Nachfrucht Silomais mit deutlichen Mehrerträgen gegenüber keinem Zwischenfruchtanbau erzielten dabei die Leguminosen Platterbse, Perserklee, Zottelwicke und Inkarnatklee. Die geringste Wirkung auf den Ertrag konnte nach Phacelia und Buchweizen ermittelt werden. Es zeigte sich, dass mit steigenden N-Gehalten der Zwischenfrüchte die TM-Ganzpflanzenerträge sowie die N-Gehalte im Mais deutlich zunahmten. Bei Kartoffeln konnte schon ein Einfluss der Zwischenfrüchte auf die gebildete Krautmasse nachgewiesen werden und die Knollenerträge waren nach Welschem Weidelgras, Phacelia und Weißklee am höchsten. Die geringsten Ertragszuwächse wurden nach Perserklee ermittelt. Mit steigenden N-Gehalten in den Zwischenfrüchten war ein leicht positiver Effekt auf die Knollenerträge zu verzeichnen. Insgesamt zeigten die Leguminosen-Zwischenfrüchte bei Silomais eine bessere Ertragswirksamkeit, bei Kartoffeln zeigte sich keine Überlegenheit von bestimmten Pflanzengruppen.

Die Aufwüchse der Zwischenfrüchte in den Feldversuchen waren sehr unterschiedlich. Besonders deutlich wird die Wirkung von Trockenheit und Unkrautdruck bei der Ansaat der kleinkörnigen Leguminosen Perserklee und Inkarnatklee, wo sich in den Jahren 1999, 2001 und 2003 kein oder nur ein geringer Aufwuchs etablierte. Dagegen entwickelten sich die Arten Phacelia, Buchweizen, Weißer Senf und Sommerraps in den einzelnen Jahren gut und konnten auch ausreichend Trockenmasse bilden. Von den Leguminosen wies Lupine die größte Trockenmassebildung auf, aber auch Platterbse und Zottelwicke entwickelten sich zufriedenstellend.

In den dreijährigen Feldversuchen konnten bei Silomais nach Zottelwicke und Perserklee höhere Trockenmasseerträge erzielt werden, die aber statistisch nicht gesichert sind. In der Tendenz wiesen die Leguminosenarten eine günstigere Wirkung auf den Ertrag auf. Die Stickstoffgehalte von Silomais wurden nach dem Anbau von Platterbse, Zottelwicke, Lupine und Perserklee signifikant erhöht. Eine Wirkung des Zwischenfruchtanbaus auf den Stärkegehalt und den Energiegehalt von Silomais ließ sich jedoch nicht nachweisen. Es zeigte sich auch, dass der Stickstoffgehalt im Boden im Stadium BBCH 30 (Beginn Längenwachstum) einen deutlichen Einfluss auf den Ertrag ausgeübt hat.

Beim Kartoffelanbau konnten in den dreijährigen Feldversuchen durch die Zwischenfrüchte keine statistisch gesicherten Mehrerträge erzielt werden. In allen Zwischenfruchtvarianten außer Buchweizen wurden aber im Durchschnitt der Jahre höhere Knollenerträge geerntet. Ein Einfluss der Zwischenfrüchte auf den Stärkegehalt der Knollen konnte nicht festgestellt werden. Die N_{\min} -Gehalte im Boden hatten keine (zu Vegetationsbeginn) bzw. nur eine geringe Auswirkung (zum Reihenschluss der Kartoffeln) auf den Ertrag. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei den Kartoffeln andere Faktoren eine größere Rolle spielten.

Hinsichtlich der Nährstoffkonservierung wurden mit Weißem Senf, Sommerraps, Phacelia und Welschem Weidelgras die besten Effekte erzielt. Leguminosen sollten aus Sicht des Grundwasserschutzes möglichst in Gemengen und auf leichten Böden als winterharte Arten (Winterwicke, Inkarnatklée) angebaut werden. Gemenge bzw. Mischungen mit einem Anteil an Leguminosen können die Ziele einer Stickstofffixierung und -konservierung vereinen. Sie bieten außerdem den Vorteil, dass sich die Arten ergänzen und den Boden in unterschiedlicher Tiefe durchwurzeln.

6 Literatur

ALBERT, E. et al. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.

BODNER, G.; LIEBHARD, P. & JUD, R. (2002): Auswirkungen von Zwischenfrucht-Begrünungen auf den Ertrag der Folgefrucht und vorläufige Ergebnisse auf die Beeinflussung des Humusgehaltes. Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten, Jahrestagung 2002, Klosterneuburg.

FUCHS, R.; CAIS, K.; REHM, A.; SALZEDER, G. & WIESINGER, K. (2009): Wirkung von Zwischenfrüchten auf die Folgefrucht Hafer – angelegt als Untersaaten in Winterroggen und als Stoppelsaat. Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2009. – Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7, 85 – 97.

HAAS, G. (2004): Stickstoffversorgung von Weißkohl, Silo- und Körnermais durch Winterzwischenfrucht-Leguminosen. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin.

KOLBE, H.; SCHUSTER, M.; HÄNSEL, M.; GRÜNBECK, A.; SCHLIEßER, I.; KÖHLER, A.; KARALUS, W.; KRELLIG, B., POMMER, R.; ARP, B. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de>

KOLLER, M.; VIEWEGER, A.; TOTAL, R.; BAUERMEISTER, R.; SUTER, D. & MÄDER, P. (2008): Stickstoffwirkung von Gründüngungen auf Bio-Weißkohl. AGRARForschung 15 (6), 264 - 269.

KÖNIG, U. J. (1996): Zwischenfruchtanbau von Leguminosen. Schriftenreihe Band 6, Institut f. biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; & STAHR, K. (1997): Die häufigsten Ursachen und Quantifizierung von Priming-Effekten. Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Konstanz. Mitteilungen der Dt. Bodenkundl. Gesellschaft, Konstanz, 6.-14.09.1997.

LABER, H. (2002): Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7, Heft 6, Dresden.

LABER, H. (2007): Ökologischer Gemüsebau. Abschlussbericht. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.

MÖLLER, K. & REENTS, H. J. (1999): Einfluß verschiedener Zwischenfrüchte nach Körnererbsen auf die Nitratgehalte im Boden und das Wachstum der Folgefrucht (Kartoffel, Weizen). Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin, 109 – 112

MÖLLER, K.; STINNER, W. & LEITHOLD, G. (2007): Einfluß der organischen Düngung auf Wachstum, Zusammensetzung und Nährstoffaufnahme eines leguminosenbetonten Zwischenfruchtgemenges. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Dr. Köster, Berlin, 45 – 48. <http://orgprints.org/9639/>

PAFFRATH, A. (2009): Wirkung verschiedener Zwischenfrüchte auf die Folgefrucht Kartoffeln. Versuchsbericht ökologischer Landbau Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Köln-Auweiler, 59 – 64. www.oekolandbau.nrw.de

REENTS, H. J. & MÖLLER, K. (2001): Stickstoffmanagement im ökologischen Anbau unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Zwischenfrüchten. Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökolog. Landbau, Dr. Köster, Berlin, 179 – 192.

RINNOFNER, T., FARTHOFFER, R.; FRIEDEL, J. K.; PIETSCH, G.; LOISKANDL, W. & FREYER, B. (2005): Stickstoffaufnahme und Biomasseertrag von Zwischenfrüchten und deren Auswirkungen auf Bodennitratgehalte und die Folgekultur unter den

Bedingungen des ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet. Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung zum Ökolog. Landbau, kassel university press GmbH, Kassel, 249 – 252.

SCHARF, H. & SCHRAGE, R. (1988): Größenordnung und Einflussfaktoren der Freisetzung von Stickstoff aus Ernterückständen im Gemüsebau. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988 Teil II, 56 - 65

SURBÖCK, A.; SCHIESSENDOPPLER, E.; LEDERMÜLLER, J.; FRIEDEL, J. K. & FREYER, B. (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). Endbericht. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ökologischen Landbau. Auftraggeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Landwirtschaftliche Bildung.

WEISSBACH, F.; KUHLA, S & SCHMIDT, L. (1996 a): Schätzung der umsetzbaren Energie von Grundfutter mittels einer Cellulase-Methode. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, 115.

WEISSBACH, F.; SCHMIDT, L. & KUHLA, S. (1996 b): Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der NEL aus der umsetzbaren Energie. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, 117.

7 Anhang

Agrotechnische Daten zum Silomaisanbau

Tabelle A1: Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Versuchsjahr 1998/99	
Zwischenfruchtanbau	
Aussaattermin	24.07. bzw. 14.08.1998
Bodenbearbeitung	23.07.1998 Stoppelumbruch mit Pflug 24.07. bzw. 14.08.1998 Saatbettbereitung mit Kompaktor 09.11.1998 Herbstfurche
Ernte	06.11.1998 Mulchen der Zwischenfrüchte
Maisanbau	
Aussaattermin	11.05.1999 Sorte "Goldoli" S 210
Bodenbearbeitung und Pflege	12.04.1999 Abschleppen, 13.04.1999 Feingrubber 11.05.1999 Kompaktor, 18.05.1999 Blindstriegel, 02.06.1999 Striegel 10.06.1999 Hackstriegel, 02.07.1999 Anhäufeln
Ernte	20.09.1999
Versuchsjahr 1999/00	
Zwischenfruchtanbau	
Aussaattermin	30.07. bzw. 16.08.1999
Bodenbearbeitung	29.07.1999 Schwergrubber 29.07.1999 Saatfurche mit Pflugwalze und Kompaktor 30.07.1999 Saatbettbereitung mit Kompaktor 31.07.1999 Anwalzen der Saat wegen Trockenheit 23.11.1999 Herbstfurche
Ernte	06.11.1999 Mulchen der Zwischenfrüchte
Maisanbau	
Aussaattermin	04.05.2000 Sorte "Goldoli" S 210
Bodenbearbeitung und Pflege	11.04.2000 Abschleppen, 18.04.2000 Grubber u. Egge 25.04. und 04.05.2000 Kompaktor, 15.05.2000 Striegel 30.05.2000 Hackstriegel, 14.06.2000 Anhäufeln 20.06.2000 Beikraut ziehen per Hand
Ernte	25.09.2000
Versuchsjahr 2000/01	
Zwischenfruchtanbau	
Aussaattermin	19.07. bzw. 17.08.2000
Bodenbearbeitung und Pflege	11.07.2000 Mulchen der Sommergerste und Grubbern 12.07.2000 Pflugfurche und Kreiselegge 19.07. bzw. 17.08.2000 Saatbettbereitung mit Kompaktor 19.07. bzw. 17.08.2000 Anwalzen der Saat 16.11.2000 Herbstfurche
Ernte	18.10.2000 Mulchen der Zwischenfrüchte
Maisanbau	
Aussaattermin	11.05.2001 Sorte "Banguy" S 240
Bodenbearbeitung und Pflege	09.05.2001 Kompaktor, 28.05.2001 u. 15.06.2001 Hackstriegel 06.07.2001 Anhäufeln
Ernte	01.10.2001

Agrotechnische Daten zum Kartoffelanbau

Tabelle A2: Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Versuchsjahr 2001/02	
Zwischenfruchtanbau	
Aussaattermin	17.08.2001
Bodenbearbeitung	22.07.2001 Stoppelumbruch mit Pflug 17.08.2001 Saatbettbereitung mit Kompaktor, 18.08.2001 Anwalzen 14.11.2001 Herbstfurche
Ernte	13.11.2001 Mulchen der Zwischenfrüchte
Kartoffelanbau	
Pflanzung	23.04.2002 Sorte "Secura"
Bodenbearbeitung und Pflege	02.04.2002 Abschleppen, 12.04.2002 Kompaktor 23.04.2002 Grubber, 13.05.2002 Blindstriegeln, 03.06.2002 Anhäufeln 18.06.2002 Anhäufeln
Pflanzenschutz	01.07.2002 und 11.07.2002 Behandlung mit Novodor gegen Kartoffelkäfer 03.09.2002 Kraut schlagen
Ernte	04.09.2002
Versuchsjahr 2002/03	
Zwischenfruchtanbau	
Aussaattermin	20.08.2002
Bodenbearbeitung	19.08.2002 Stoppelumbruch mit Pflug 20.08.2002 Kompaktor 07.11.2002 Herbstfurche
Ernte	Mulchen der Zwischenfrüchte
Kartoffelanbau	
Pflanzung	22.04.2003 Sorte "Agria"
Bodenbearbeitung und Pflege	15.04.2003 Abschleppen, 21.04.2003 Grubbern 21.04.2003 Kompaktor, 05.05.2003 Blindstriegeln 15.05.2003 Hackstriegel und Anhäufeln, 10.06.2003 Anhäufeln
Pflanzenschutz	23.06.2003 und 07.07.2003 Behandlung mit Novodor gegen Kartoffelkäfer 03.09.2003 Krautschlagen
Ernte	04.09.2003
Versuchsjahr 2003/04	
Zwischenfruchtanbau	
Aussaattermin	05.08.2003
Bodenbearbeitung und Pflege	05.08.2003 Kompaktor und Walze 13.10.2003 Mulchen der Zwischenfrüchte 27.10.2003 Herbstfurche
Kartoffelanbau	
Pflanzung	21.04.2004 Sorte "Agria"
Bodenbearbeitung und Pflege	31.03.2004 und 20.04.2003 Kompaktor 28.05.2004 Striegeln 04.06.2004 Hackstriegel und Anhäufeln mit Rollhacke
Pflanzenschutz	29.06.2004 Behandlung mit Novodor gegen Kartoffelkäfer 24.08.2004 Krautschlagen
Ernte	02.09.2004

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Ingeborg Schließer, Martina Schuster, Dr. Hartmut Kolbe
Abteilung Pflanzliche Erzeugung/Referat Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: + 49 341 9174-149
Telefax: + 49 341 9174-111
E-Mail: hartmut.kolbe@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

01.06.2010

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.