

Fruchtfolgen im ökologischen Landbau Pflanzenbaulicher Systemvergleich in Viehhausen und Puch

Zwischenbericht über die Jahre 2005 – 2013



Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 71-3640

3. für das Internet korrigierte Auflage: Dezember 2018

© LfL



Fruchtfolgen im ökologischen Landbau - Pflanzenbaulicher System- vergleich in Viehhausen und Puch

Zwischenbericht 2005 - 2013

**Adelheid Castell, Thomas Eckl, Martin Schmidt, Robert Beck, Eberhard
Heiles, Georg Salzeder, Peer Urbatzka**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Zusammenfassung.....	9
2 Vorwort und Danksagung	13
3 Einleitung	15
3.1 Die historische Entwicklung der Fruchtfolge.....	16
3.2 Definitionen/Begriffe zur Beschreibung von Fruchtfolgen.....	19
4 Material und Methoden	23
4.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	23
4.2 Erhobene Parameter zu den Kulturarten	29
4.3 Bodenuntersuchungen	32
4.4 Berechnung der N ₂ -Fixierleistung und N-Bilanzen	32
4.5 Berechnung der Deckungsbeiträge.....	33
4.6 Berechnung der Getreideeinheiten	34
4.7 Datenauswertung.....	35
5 Ergebnisse und Diskussion zu den Fruchtarten	37
5.1 Klee gras.....	37
5.1.1 Viehhausen	37
5.1.2 Puch.....	43
5.2 Winterweizen	45
5.2.1 Viehhausen	45
5.2.2 Puch.....	48
5.3 Sommergerste.....	50
5.4 Kartoffel	52
5.4.1 Viehhausen	53
5.4.2 Puch.....	60
5.5 Roggen	63
5.6 Körnerleguminose	64
5.7 Humusgehalt und Humusqualität	65
5.8 N _{min} im Boden.....	68
5.9 N ₂ -Fixierleistung und N-Bilanzierung.....	69
5.10 Entwicklung der Weizenerträge über die Versuchslaufzeit	72
5.11 Getreideeinheiten	73
5.12 Ökonomische Betrachtung	76
6 Schlussfolgerungen.....	83
Literaturverzeichnis	87

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Auszug aus dem Buch „Landwirthschaftslehre zum gemeinnützigen Gebrauch für Landwirthe“ von J.C. Schubart (1797)	18
Abb. 2: Auszug aus dem Buch „Landwirthschaftslehre zum gemeinnützigen Gebrauch für Landwirthe“ von J.C. Schubart (1797)	19
Abb. 3: Luftbild der Versuchsanlage in Viehhausen	24
Abb. 4: Anlageplan der Blockanlage in Viehhausen	25
Abb. 5: Bestimmung des Backvolumens anhand der Verdrängung von Rapssamen	29
Abb. 6: Bestimmung des Stärkegehalts von Kartoffeln	31
Abb. 7: Klee grasparzelle in FF1 Ende Mai 2012 in Viehhausen	38
Abb. 8: Mittlere Trockenmasseerträge der vier Schnitte im Hauptnutzungsjahr und der teilweise durchgeführten Schnitte im Herbst von Klee gras in Viehhausen	38
Abb. 9: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee gras in Viehhausen vor dem 1. Schnitt	39
Abb. 10: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee gras in Viehhausen vor dem 2. Schnitt	39
Abb. 11: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee gras in Viehhausen vor dem 3. Schnitt	40
Abb. 12: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee gras in Viehhausen vor dem 4. Schnitt	40
Abb. 13: Entwicklung der mittleren Leguminosenanteile pro Fruchtfolge in Viehhausen	41
Abb. 14: Mittlere Trockenmasseerträge der drei Schnitte im Hauptnutzungsjahr von Klee gras in Puch	44
Abb. 15: Mittlere Rohproteingehalte von Klee gras in den viehhaltenden Systemen in Puch	44
Abb. 16: Befall mit Ampfer in Puch	45
Abb. 17: Rohproteinerträge (dt/ha) und Rohproteingehalte (%) von Winterweizen in Viehhausen	48
Abb. 18: Mittlerer Marktwaren ertrag (> 2,0 mm) von Winterweizen in Puch.	49
Abb. 19: Sortierung der Sommergerste in Puch	51
Abb. 20: Sortierung der Sommergerste in Viehhausen	51
Abb. 21: Sommergerste in FF5 am 15.6.2012 in Viehhausen	52
Abb. 22: Sommergerste in FF6 am 15.6.2012 in Viehhausen	52
Abb. 23: Kartoffel parzelle in Viehhausen am 11.6.2011	53
Abb. 24: Mittlerer Knollenertrag der Kartoffel in Viehhausen	54
Abb. 25: Knollenertrag pro Fruchtfolge und Jahr in Viehhausen	55
Abb. 26: Prozentualer Anteil an mit Drahtwurm befallenen Knollen in Viehhausen	57
Abb. 27: Prozentualer Anteil an mit dry core-Löchern befallenen Knollen in Viehhausen	58
Abb. 28: Zusammenhang zwischen Drahtwurm- und dry core-Löchern	59
Abb. 29: Mittlerer Knollenertrag in Puch.	60
Abb. 30: Knollenertrag in Puch pro Jahr und Fruchtfolge	61
Abb. 31: Sojabohne in FF6 in Viehhausen (5.Juli 2010)	64
Abb. 32: Ackerbohne (FF6) in Puch Anfang Mai 2012	65
Abb. 33: Ackerbohne (FF6) in Puch Ende Juli 2012	65
Abb. 34: N _{min} im Rotationsverlauf in Viehhausen	68

Abb. 35: $N_{\min}$ im Rotationsverlauf in Puch	69
Abb. 36: $N_{\min}$ in FF6 auf dem Standort Puch zur Ernte der Kulturen	70
Abb. 37: N-Bilanz in Abhängigkeit der Fruchtfolge in Puch	72
Abb. 38: Entwicklung der Kornerträge von Winterweizen seit Versuchsbeginn 1998 bis 2013 in Viehhausen	73
Abb. 39: Durchschnittliche jährlich erzielte Getreideeinheiten pro Hektar und Fruchtfolge in Viehhausen	74
Abb. 40: Durchschnittliche jährlich erzielte Getreideeinheiten pro Hektar und Fruchtfolge in Puch	75

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsstandorte Viehhausen und Puch.....	23
Tab. 2: Übersicht über die Versuchsvarianten und die organische Düngung in Viehhausen	24
Tab. 3: Übersicht über die Versuchsvarianten und die organische Düngung in Puch.....	25
Tab. 4: Übersicht der ackerbauliche Maßnahmen eines typischen Versuchsjahres in Puch.....	26
Tab. 5: Übersicht der ackerbauliche Maßnahmen eines typischen Versuchsjahres in Viehhausen	27
Tab. 6: Verwendete Sorten in Puch und Viehhausen im Zeitraum	28
Tab. 7: Faktoren zur Umrechnung der Erträge in Getreideeinheiten	35
Tab. 8: Mittlere Rohproteingehalte von Klee gras in Viehhausen	42
Tab. 9: Mittlere Rohprotein erträge von Klee gras in Viehhausen.....	43
Tab. 10: Befall von Winterweizen mit Septoria tritici in Viehhausen	46
Tab. 11: Marktwaren ertrag, Qualitäts- und Ertragsparameter von Winterweizen	47
Tab. 12: Mittlere Ertrags- und Qualitätsmerkmale von Winterweizen in Puch	49
Tab. 13: Mittlere Erträge, ertragsbildende Parameter und RP-Gehalte der Gerste	50
Tab. 14: Qualitätsuntersuchungen an Malz und Würze.....	52
Tab. 15: Befallsstärke von Phytophthora infestans in Viehhausen	55
Tab. 16: Sortierung und Stärkegehalt der Kartoffel (Mittelwerte 2005-2013).....	56
Tab. 17: Mängelbonituren an der Knolle in % (Mittelwerte 2006-2013)	56
Tab. 18: Mittlere Boniturnoten aus dem Speisewerttest (2008, 2009, 2012)	59
Tab. 19: Sortierung und Stärkegehalt der Kartoffel	61
Tab. 20: Mängelbonituren an der Knolle.....	61
Tab. 21: Mittlere Boniturnoten aus dem Speisewerttest.....	62
Tab. 22: Ertrag und Korneigenschaften von Roggen in Viehhausen und Puch	63
Tab. 23: Merkmale zur Beschreibung des Backverhaltens von Roggen	63
Tab. 24: Erträge und Qualitätseigenschaften der Sojabohne.....	64
Tab. 25: Ertrag, TKM, und Rohproteingehalt von Ackerbohne in Puch.....	65
Tab. 26: : C _{org} - und N _t -Gehalte im Zeitverlauf	66
Tab. 27: C/N - Verhältnis im Zeitverlauf	67
Tab. 28: Mittlere jährliche N-Zufuhr pro Fruchtfolge in Puch.....	70
Tab. 29: Mittlere jährliche N-Abfuhr pro Fruchtfolge in Puch	71
Tab. 30: Mittlere jährliche Getreideeinheiten in Viehhausen.....	74
Tab. 31: Mittlere jährliche Getreideeinheiten in Puch	75
Tab. 32: Deckungsbeitragsrechnung FF1 in Viehhausen	77
Tab. 33: Deckungsbeitragsrechnung FF2 in Viehhausen	78
Tab. 34: Deckungsbeitragsrechnung FF3 in Viehhausen	78
Tab. 35: Deckungsbeitragsrechnung FF4 in Viehhausen	79
Tab. 36: Deckungsbeitragsrechnung FF5 in Viehhausen	79
Tab. 37: Deckungsbeitragsrechnung FF6 in Viehhausen	80
Tab. 38: Deckungsbeitragsrechnung FF1 in Puch	80
Tab. 39: Deckungsbeitragsrechnung FF2 in Puch	81
Tab. 40: Deckungsbeitragsrechnung FF4 in Puch	81
Tab. 41: Deckungsbeitragsrechnung FF5 in Puch	82
Tab. 42: Deckungsbeitragsrechnung FF6 in Puch	82

1 Zusammenfassung

Die Fruchtfolge spielt, nicht nur im ökologischen Landbau, eine äußerst wichtige Rolle. Eine sinnvoll gestaltete Fruchtfolge vermeidet Erosion, verhindert Fruchtfolgekrankheiten, fördert die Bodenfruchtbarkeit und sichert im ökologischen Landbau die Stickstoffversorgung durch Leguminosenanbau. Der Fruchtfolgeversuch der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurde im Herbst 1997 an den Standorten Viehhausen und Puch unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus angelegt.

Langfristige Effekte der Fruchtfolgegestaltung wurden anhand der umfassenden Daten der Jahre 2005-2013 zu allen enthaltenen Kulturen ausgewertet. Dabei wurde untersucht, wie sich die Fruchtfolge auf ertrags- und qualitätsbestimmende Merkmale auswirken. Um nicht nur einzelne Kulturen, sondern die gesamten Fruchtfolgen vergleichen zu können, wurden sie zum einen ökonomisch mittels Fruchtfolge-Deckungsbeiträgen, zum anderen energetisch anhand von Getreideeinheiten bewertet (Fruchtfolgeertrag). Dazu wurde die Entwicklung der Humus- und Stickstoffgehalte im Boden über die gesamte Laufzeit festgestellt und in Puch für die Jahre 2011-2013 die N_2 -Fixierleistung erhoben und für diesen Zeitraum eine N-Bilanz gerechnet.

Der Feldversuch umfasste sechs (Viehhausen) bzw. fünf (Puch) Fruchtfolgen (FF). Zum einen gab es viehhaltende Systeme (FF1-FF3), in denen Klee gras geschnitten und abgefahren und organische Düngung in Form von Gülle oder Stallmist ausgebracht wurde. Zum anderen drei viehlos wirtschaftende Systeme, in denen gemulchtes Klee gras (FF4, FF5) und eine Körnerleguminose (FF6) und legume Zwischenfrüchte die Stickstoffversorgung gewährleisten sollten. Eine Rotation bestand aus drei Früchten. In FF2, FF3 und FF4 waren dies einjähriges Klee gras, Kartoffeln und Winterweizen, in FF5 und FF6 Leguminose, Winterweizen und Sommergerste. Ausnahme war FF1 mit einer Dauer von fünf Jahren je Rotation (zweijähriges Klee gras, Kartoffeln, Winterweizen und Winterroggen).

Der Anbauerfolg der Leguminosen ist für die gesamte Fruchtfolge entscheidend. Körnerleguminose als weitere Marktfrucht in FF6 hatte eine geringere Vorfruchtwirkung als Klee gras. Dies führte aufgrund geringerer N-Verfügbarkeit zu unbefriedigenden Erträgen und Qualitäten in den Nachfrüchten Weizen und Gerste nach Körnerleguminose. Dem höheren Unkrautdruck im Vergleich zum Anbau mit Klee gras in den Soja- und Ackerbohnenparzellen wurde kostenaufwendig mit Handarbeit begegnet, sodass am Standort Viehhausen mit gelungener Unkrautregulierung hohe Sojaerträge erzielt werden konnten. In Puch dagegen fielen die Erträge der Sojabohne aufgrund eines mäßigen Erfolges in der Unkrautregulierung geringer aus. Daher wurde wieder auf Ackerbohne umgestellt, was die Korn erträge deutlich verbesserte.

Das Klee gras stand als Vorfrucht von Kartoffeln in den Fruchtfolgen FF1 bis FF4. Die Etablierung von Klee gras als Untersaat in die Vorfrucht Getreide brachte am Standort Viehhausen höhere Trockenmasseerträge als eine Blanksaat nach der Getreideernte. Auch die Schnittnutzung im Vergleich zu Mulchen führte zu höheren Erträgen und Kleeanteilen. Sowohl Untersaat als auch eine Schnittnutzung resultierten in einer höheren N_2 -Fixierleistung.

Ertraglich war in Viehhausen die Stellung der Kartoffel nach zweijährigem Klee gras (FF1) und nach gemulchtem Klee gras (FF4) am günstigsten. Insgesamt waren starke Jahreseffekte zu erkennen, die häufig durch den Befall mit *Phytophthora infestans* verursacht wurden. Eine oft auftretende Schädigung mit Drahtwurm konnte nicht mit dem Klee gras-

management in Zusammenhang gebracht werden. Auch hier überwogen Jahreseffekte. Der nicht vermarktbarer Anteil der Kartoffeln unterschied sich zwischen den Fruchtfolgen kaum.

Am Standort Viehhausen erreichte Winterweizen in der Fruchtfolge mit mehrjährigem Klee gras höhere Kornerträge als nach einjährigem. Die Rangfolge bezüglich der Qualitätseigenschaften war jedoch anders. Hier erzielte Weizen, der direkt nach einjährigem, gemulchtem Klee gras stand (FF5), die besten Ergebnisse. Sowohl ertraglich als auch hinsichtlich aller Qualitätsparameter schien Weizen nach Körnerleguminose und ohne Klee gras in der Fruchtfolge weder Backqualität noch zufriedenstellende Erträge erreichen zu können. Anhand der Betrachtung des Rohprotein ertrages ist Weizen nach mehrjährigem Klee gras und Kartoffel (FF1) am erfolgreichsten. Entscheidend für die Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen waren der Zeitpunkt der Verfügbarkeit sowie die Menge an Stickstoff für früh oder spät festgelegte Ertrags- und Qualitätsmerkmale.

Auch am Standort Puch erzielte der Weizen nach Körnerleguminose weder ausreichende Kornerträge noch Backqualität. Der Weizen nach Klee gras unterschied sich trotz unterschiedlicher Leguminosenanteile und –management im Ertrag nicht signifikant. In der Backqualität erzielte wiederum der direkt nach Klee gras stehende Weizen (FF5) teils etwas bessere Werte, wobei die Unterschiede im Vergleich zu Viehhausen deutlich geringer ausfielen.

Die Erträge und ertragsbildenden Parameter der Sommergerste waren an beiden Standorten in der FF5 (nach gemulchtem Klee gras und Weizen) höher als in FF6 (nach Körnerleguminose und Weizen). Die untersuchten Parameter zur Brauqualität unterschieden sich jedoch kaum.

Die N_t - und C_{org} -Gehalte im Boden wurden zu Versuchsbeginn, 2010 und 2013 untersucht. In der Fruchtfolge mit dem Anbau von Körnerleguminosen (FF6) und dem Anbau legumer Zwischenfrüchte verringerten sich die C_{org} -Gehalte, während die N_t -Gehalte unverändert blieben. Bei allen Fruchtfolgen mit Klee gras erhöhten sich diese Gehalte. Zwischen dem Kleeanteil (33 % versus 40 %), der Nutzung des Klee grasses (Mulch versus Abfuhr) und der Nachfrüchte (Kartoffel versus Sommergerste) ergaben sich keine Unterschiede bezüglich der Gehalte. Der größte Anstieg insbesondere beim C_{org} -Gehalt wurde in der Fruchtfolge mit Stallmist festgestellt.

Der Fruchtfolgeertrag fiel beim Einbezug der Leguminosen auf beiden Standorten etwa doppelt so hoch in den viehhaltenden Varianten als in den viehlosen Systemen aus. Ohne Berücksichtigung der Leguminosen besaßen die Fruchtfolgen, die Kartoffeln enthielten, das höchste Energieliefervermögen. Dabei fiel in Viehhausen, aber nicht in Puch der Fruchtfolgeertrag der fünfjährigen (FF1) geringer aus als in den dreijährigen Rotationen. Ursache sind höhere Kartoffelerträge in Viehhausen als in Puch und größere Erträge beim Weizen in Puch als in Viehhausen. Beim Vergleich der Fruchtfolgen ohne Kartoffel (FF5, FF6) fällt der höhere Fruchtfolgeertrag bei Einberechnung der Leguminosen in der Fruchtfolge mit Soja in Viehhausen auf. Dies ist auf die guten Sojaerträge in Viehhausen im Gegensatz zu Puch zurückzuführen. Ohne Einbezug der Leguminosen unterstrichen die geringeren energetischen Erträge von Weizen und Gerste auf beiden Standorten die geringere Vorfruchtwirkung von Körnerleguminosen im Vergleich zu Klee gras.

Dieser Sachverhalt resultierte beim Vergleich von FF5 und FF6 in Viehhausen zu einem höheren Fruchtfolgedeckungsbeitrag der Fruchtfolge mit Körnerleguminosen und in Puch zu einem besseren ökonomischen Abschneiden der Fruchtfolge mit Klee gras. Deutlich höhere Fruchtfolgedeckungsbeiträge erzielten alle Fruchtfolgen mit Kartoffeln. Dabei er-

reichte in Viehhausen die Fruchtfolge mit gemulchtem Klee gras (FF4) und in Puch die dreijährige Rotation mit geschnittenem und Gülle gedüngtem Klee gras (FF2) die höchsten Fruchtfolgedeckungsbeiträge. Dieser Unterschied ist v. a. mit verschiedenen hohen Klee graserträgen auf den Standorten zu begründen. In Viehhausen mit sehr hohen Klee graserträgen war der Ertrag der beiden Nachfrüchte höher nach gemulchtem als nach geschnittenem Klee gras, während in Puch sich der Ertrag der Nachfrüchte kaum unterschied und hier der höhere Fruchtfolgedeckungsbeitrag v. a. auf den Unterschied im Deckungsbeitrag des Klee gras zurückzuführen ist.

Die N-Bilanz der Fruchtfolge mit Körnerleguminose fiel nahezu ausgeglichen aus. Dagegen waren alle N-Bilanzen der Fruchtfolgen mit Klee gras mit -20 bis -30 kg/ha*a leicht negativ und unterschieden sich kaum. Letzteres scheint plausibel, da die N-Verfügbarkeit und die N₂-Fixierungleistung ein sich selbst regulierendes System sind. Die negativen Werte überzeugen dagegen nicht, da weder die Ertragsleistung der Kulturen noch die N_t-Gehalte im Boden im Versuchsverlauf absinken. Daher wurde anscheinend die Höhe der N₂-Fixierleistung beim Klee gras unterschätzt.

2 Vorwort und Danksagung

Wir möchten uns ganz herzlich bei allen bedanken, die über viele Jahre an der Durchführung und Gestaltung des Fruchtfolgeversuchs in Puch und Viehhausen mitgewirkt haben.

Die Idee und erste Planung zu diesem Dauerfeldversuch stammte von Dr. Günter Pommer, der leider viel zu früh verstorben ist. Er hatte mit großem Engagement und Sachverstand die Ökolandbauforschung an der damaligen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), jetzt LfL, aufgebaut. Günter Pommer schuf auch die Grundlagen für die erste Publikation aus dem Versuch, die den Zeitraum 1998-2004 umfasste.

Zudem geht unser Dank an Prof. Dr. Günter Leithold, Inhaber der Professur für Organischen Landbau an der Justus-Liebig-Universität Gießen. Er hatte gemeinsam mit Dr. Pommer Anfang der 90er Jahre das Versuchsdesign für den anfangs dreiertigen Fruchtfolgeversuch mit den Standorten Puch (ehemals staatliches Versuchsgut, seit 2003 Versuchstation der LfL), Viehhausen (Versuchstation der TU München-Weihenstephan) und Roda (damals Ökoversuchsfeld der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, mittlerweile aufgegeben) entwickelt. Dr. Hans-Jürgen Reents (Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme an der TU München), als damaliger Koordinator für Ökologischen Landbau der TU München-Weihenstephan, und Dr. Reinhold Gutser (Akademischer Direktor am Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München) trugen mit ihren Anregungen entscheidend zum Versuchskonzept bei.

Diplomanden, Bachelor- und Masterstudenten und Doktoranden haben diesen Ökolandbau-Langzeitversuch als Plattform benutzt, um hier ihre wissenschaftlichen Meriten zu verdienen. Stellvertretend für viele sei hier die Gruppe um Dr. Reinhold Gutser und Dr. Hauke Heuwinkel genannt, letzterer heute Professor für Pflanzenernährung, Bodenkunde und Agrarökologie an der HSWT in Weihenstephan, die mit ihrer Arbeit am Lehrstuhl für Pflanzenernährung (TUM) den Versuch in Viehhausen mehrere Jahre von der N₂-Fixierung über den N-Umsatz bis zu Treibhausgasemissionen aus den Fruchtfolgen begleitet haben.

Die Grundlagen, die diesen Versuch als Ökolandbauversuch erst möglich machte, legte Prof. Dr. Alois Heißenhuber, damals Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftslehre des Landbaus der TU München-Weihenstephan. Er stellte das Versuchsgut Viehhausen 1995 auf ökologische Bewirtschaftung um und ermöglichte im Jahr 1998 die Anlage dieses Dauerfeldversuchs der LBP (heute LfL). Unser Dank gebührt auch Dr. Harald Amon, der als Leiter der - heute für Viehhausen zuständigen - Versuchstationen des Wissenschaftszentrums Weihenstephan dem Versuch immer mit großem Wohlwollen gegenüberstand.

Rupert Fuchs, Arbeitsgruppenleiter „Pflanzenbau im ökologischen Landbau“ an der LfL von 2003 bis 2009, leitete in dieser Zeit die Versuchsdurchführung. 2009 richtete er aus Eigenmitteln eine Projektstelle ein, um eine tiefergehende Auswertung des mittlerweile sehr umfangreichen Datenbestandes und daraus resultierende Publikationen voranzubringen. Ab 2010 wurde die Auswertung vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziell gefördert. Von 2009-2013 war Regina Schneider Projektbearbeiterin, seit 2013 liegt diese Aufgabe bei Adelheid Castell.

Die Durchführung des Feldversuchs, d. h. sämtliche pflanzenbaulichen Arbeiten am Feld, die Aufbereitung der Ernteproben im Herbst sowie die regelmäßige Berichterstattung über die Beobachtungen, Feststellungen am Feld und am Erntegut erledigen immer äußerst ge-

wissenschaft und mit großem Sachverstand die Versuchstechniker Georg Salzeder (Versuchsstation Viehhausen) und Eberhard Heiles (Versuchsstation Puch) mit ihren Versuchsmannschaften. Ihnen gilt unser ganz besonderer Dank für mittlerweile knapp 20 Jahre Versuchsdurchführung!

Wir danken den Mitarbeitern der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU), die die Analysen zu sämtlichen Qualitätseigenschaften am Erntegut aller Fruchtarten und die umfassenden Bodenuntersuchungen durchführten.

Die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Kartoffeln“ am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung haben uns stark unterstützt, indem sie die Qualitätsuntersuchungen an den Kartoffelproben vornahmen.

Horst Laffert, Gerhard Kammermeier und Stefan Kimmelman, Betriebsleiter und ehemalige Betriebsleiter der Versuchsstation Viehhausen sei ebenfalls für ihre Hilfe gedankt.

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die finanzielle Förderung des Projekts „Vergleich der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Fruchtfolgesysteme des ökologischen Landbaus (A/10/08)

3 Einleitung

„Die Fruchtfolge ist der geordnete, sinnvolle zeitliche Wechsel der Pflanzenbestände auf dem Ackerland.“ (Diepenbrock et al., 2005). Fruchtfolgen sind im konventionellen, aber besonders im ökologischen Landbau ein wichtiges Instrument zum Erhalt und zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit, zur Regulierung des Unkraut- und Krankheitsdrucks sowie zur Nährstoffversorgung, insbesondere mit Stickstoff. Leguminosenwurzeln sind in der Lage, mit Bodenbakterien (Knöllchenbakterien/Rhizobien) eine Symbiose einzugehen, bei der die Rhizobien der Pflanze molekularen elementaren Stickstoff in pflanzenverfügbaren Stickstoff umwandeln und im Austausch organische Kohlenstoffverbindungen zur Deckung ihres Energiebedarfs erhalten. Die Fixierleistung von Stickstoff kann je nach Leguminosenart und Umweltbedingungen bis über 300 kg N/ha und Jahr betragen (Diepenbrock et al., 2005).

Ein viehhaltender ökologisch wirtschaftender Betrieb wählt bevorzugt Klee gras, da der oberirdische Aufwuchs als Viehfutter dient. Die abgefahrenen Nährstoffe werden in Form von Gülle oder Stallmist zu den Marktfrüchten rückgeführt. Die Anzahl der viehlos wirtschaftenden Betriebe steigt jedoch kontinuierlich an (Vockinger, 2013). Für diese Betriebe spielt die Nährstoffversorgung durch den Anbau von Leguminosen eine sehr große Rolle, da sonstige, nicht aus dem Betriebskreislauf stammende Stickstoff-Quellen nur in begrenztem Umfang (bis zu 40 kg N/ha nach den Richtlinien der Bio-Verbände) eingesetzt werden dürfen oder nicht zur Verfügung stehen. Der Betriebsleiter eines viehlos wirtschaftenden Betriebs muss den optimalen Anteil an nicht vermarktbar en Leguminosen finden, um einerseits die N-Versorgung zu sichern, und andererseits den durchschnittlichen Fruchtfolgeerlös oder Fruchtfolgedeckungsbeitrag nicht zu mindern.

Die Fruchtfolge wirkt sich also ganz wesentlich auf Ertrag und Qualität der einzelnen Fruchtarten einer Fruchtfolge und auf die Produktivität der gesamten Fruchtfolge aus. Der im Herbst 1997 angelegte Langzeitversuch der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft kann zeigen, wie einige im Ökolandbau vertretene Fruchtfolgeglieder langfristig die Erträge, die Qualitätsparameter verschiedener Kulturen sowie Bodeneigenschaften beeinflussen.

Im Folgenden sollen zunächst in groben Zügen die geschichtliche Entwicklung der Fruchtfolge von der Jungsteinzeit bis heute beschrieben, anschließend wichtige Begriffe zur Charakterisierung von Fruchtfolgen definiert werden. Im Teil Material und Methoden findet sich die Beschreibung der Versuche an den beiden Standorten Viehhausen und Puch, die Versuchsdurchführung sowie die Beschreibung der Untersuchungsmethoden zu den Qualitätsparametern. Die Ergebnisse mit Diskussion sind nach Fruchtarten gegliedert. Zudem werden die Untersuchungen zur Entwicklung der C_{org} – und N_t –Gehalte im Boden dargestellt. Anschließend folgt eine vergleichende Betrachtung der gesamten Fruchtfolgen anhand der durchschnittlich erzielten Getreideeinheiten sowie der Fruchtfolgedeckungsbeiträge. Je nach Kulturart ergeben sich unterschiedliche Fragestellungen, die im jeweiligen Kapitel genannt werden.

3.1 Die historische Entwicklung der Fruchtfolge

Die Geschichte der Fruchtfolge beginnt in der Zeit der sogenannten Neolithischen Revolution. Diese bezeichnet den größten Umbruch der Menschheitsgeschichte, den Übergang vom Leben als Jäger und Sammler hin zum sesshaften Ackerbauer und Viehzüchter, und stellt damit den Beginn der Jungsteinzeit (Neolithikum) dar (Seidl, 2014).

Viele Jahrhunderte wurde hauptsächlich Getreide angebaut. Der Boden wurde zunächst so lange genutzt, bis der Ertrag zu sehr abnahm. Daraufhin bewirtschaftete man ein längere Zeit brach gelegenes Feld, bis auch hier die Fruchtbarkeit erschöpft war. Diese Strategie setzte eine hohe Verfügbarkeit von Flächen voraus und konnte mit zunehmender Sesshaftigkeit der Menschen nicht mehr beibehalten werden (Kämpf, 1978). So entstanden zunächst unterschiedliche Formen der Wechselwirtschaft und die Zweifelderwirtschaft, bis sich im Mittelalter die Dreifelderwirtschaft, auch Brachfelderwirtschaft mit Brache und Getreide genannt, durchsetzte.

Erstmals schriftlich erwähnt findet sich der Begriff Dreifelderwirtschaft in einer Urkunde des Klosters St. Gallen aus dem Jahr 763 n. Chr. Vollkommen durchgesetzt, d. h. das System der Wechselwirtschaft abgelöst, hat sie sich wohl Mitte des 12. Jahrhunderts (Henning, 1994). Der typische Ablauf stellte sich folgendermaßen dar: Im ersten Jahr wurde das brachliegende Feld im Juni gepflügt, anschließend erfolgte die Aussaat des Wintergetreides. Im zweiten Jahr wurde das Getreide geerntet und das Feld abgeweidet. Im folgenden Frühjahr des dritten Jahres wurde gepflügt und eine Sommerung ausgesät. Nach dieser Sommerung lag das Feld wieder brach (Seidl, 2014).

Der bis zur Zeit der Bauernbefreiung geltende Flurzwang verhinderte die Bewirtschaftung der Brache, da diese von allen Bauern als Viehweide, bestehend aus Stoppel und Unkraut, genutzt werden musste. Erst Johann Christian Schubart gelang es Ende des 18. Jahrhunderts, den Feldfutterbau einzuführen. Für diesen Verdienst bekam er von Kaiser Joseph II. den Titel „Edler vom Kleefelde“. Abb. 1 und Abb. 2 zeigen einen Ausschnitt aus einem Lehrbuch von J. C. Schubart von 1797, in dem er beschreibt, warum die verbesserte Dreifelderwirtschaft, also die Bewirtschaftung des ursprünglichen Brachfeldes, so nützlich ist und wie der Flurzwang die Abschaffung der Brache erschwert.

Die verbesserte Dreifelderwirtschaft mit dem gezielten Anbau von Feldfutter führte dazu, dass die Tiere auch während des Sommers zunehmend im Stall gehalten wurden und der zusätzlich anfallende Mist bis zur Einführung der Mineraldüngung im 20. Jahrhundert die Ertragsfähigkeit durch seinen gezielten Einsatz merklich erhöhen konnte. Weitere Vorteile des Leguminosenanbaus machten sich schon damals bemerkbar wie z. B. die Unkrautunterdrückung, die N-Fixierleistung und die Bodenverbesserung durch Tiefwurzler (Luzerne), was zur erfolgreichen Verbreitung des Feldfutterbaus führte (Kämpf, 1978).

Die Aufhebung des Flurzwangs und die Flurbereinigung in den Zeiten der Bauernbefreiung machten betriebsindividuelle Gestaltung einer Fruchtfolge erst möglich.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts erhöhte sich der Anteil an Blattfrüchten in der verbesserten Dreifelderwirtschaft durch die inzwischen verbreitete Kartoffel, die Futterrübe sowie Hülsenfrüchte. Da die damaligen Bestandesdichten des Getreides nicht mit den heutigen vergleichbar sind, war der Unkrautdruck sehr hoch. Umso erfolgreicher bezüglich der Unkrautunterdrückung erwies sich der Anbau von Hackfrüchten durch die Beschattung und intensivere Bodenbearbeitung.

Typisch in Süddeutschland war die Abfolge *Rotklee – Winterung – Sommerung – Kartoffel oder Rübe – Winterung – Sommerung mit Kleeinsaat*. Die vorherrschenden Getreidearten waren Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste und Hafer (Seidl, 2014).

Die Vielzahl an angebauten Kulturpflanzen und der neu eingeführte Zwischenfruchtanbau brachten die unterschiedlichsten und kompliziertesten Fruchtfolgen mit sich. Theodor Brinkmann (1877 – 1951) systematisierte erstmals die Fruchtfolgen, indem er sie in Fruchtfolgeglieder ordnete, die aus einem tragenden Glied (Brache, Hackfrucht oder Klee) und einem oder mehreren abtragenden Gliedern (Getreide) bestanden. Diese Fruchtfolgeglieder setzte er zu zwei-, drei- und mehrgliedrigen Fruchtfolgen zusammen (Böhm, 1997).

Die nach dem 2. Weltkrieg immer intensiver werdende Landwirtschaft mit den neuen Möglichkeiten, die sich durch den chemischen Pflanzenschutz und die mineralische Düngung ergaben, führte zu einer Fruchtfolgegestaltung, die hauptsächlich nach ökonomischen Gesichtspunkten ausgelegt war. Die Bedeutung von Fruchtfolgeregeln verringerte sich, der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit fand oft nicht genügend Beachtung. Erst in den 80er und 90er Jahren mit dem Aufkommen von extensiverem, ökologischem oder dem integrierten Pflanzenbau gewann die vielfältige Fruchtfolge wieder an Bedeutung (Freyer, 2003). Eine große Veränderung in den Flächenanteilen der Kulturarten in Deutschland brachte die zunehmende stoffliche und energetische Nutzung von den sogenannten nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) mit sich. Nachwachsende Rohstoffe wuchsen im Jahr 2014 in Deutschland auf rund 2,3 Millionen Hektar (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2015), was in etwa einem Siebtel der landwirtschaftlichen Nutzfläche entspricht (LN im Jahr 2012: 16,7 Mio. ha (Statistisches Bundesamt, 2012)). Der Maisanbau in Deutschland hat seit den 60er-Jahren fast stetig zugenommen. 1960 waren es deutschlandweit 56.000 ha, im Jahr 2014 2,57 Mill. ha (Rath, 2013). Eine Anbaudiversifizierung soll das sogenannte Greening bewirken, das seit dem 1.1.2015 nach EU-Recht gilt. U. a. sind ökologisch wirtschaftende Betriebe von diesen Verpflichtungen befreit (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2015).

Die Organisation der Fruchtfolge erfolgt natürlich auch im ökologischen Landbau nach ökonomischen Gesichtspunkten. Es muss allerdings dabei langfristiger gedacht und einiges mehr beachtet werden, um die Ertragsfähigkeit des Bodens zu sichern. Der weitestgehende Verzicht auf Pflanzenschutzmittel zwingt verstärkt zur Einhaltung bestimmter Abstände zwischen den Kulturarten. Der Verzicht auf mineralischen N-Dünger hat zur Folge, dass neben der organischen Düngung und dem Anbau von stickstofffixierenden Leguminosen die Nachlieferung aus dem N-Pool im Boden eine große Rolle spielt und deshalb der Humusaufbau durch ein günstiges Verhältnis von humuszehrenden zu humusmehrenden Kulturen stattfinden muss. Vielfalt in der Fruchtfolgegestaltung bedeutet somit gerade für ökologisch wirtschaftende Betriebe oft auch ökonomischen Erfolg (Freyer, 2003).

Die vom Freistaat Sachsen herausgegebene Broschüre „Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau“ gibt einen sehr guten Überblick u. a. über Vorfruchteignung und Anbaupausen der verschiedenen Fruchtarten sowie einige Beispiele einer Fruchtfolge für unterschiedliche Betriebstypen (Kolbe, 2008).

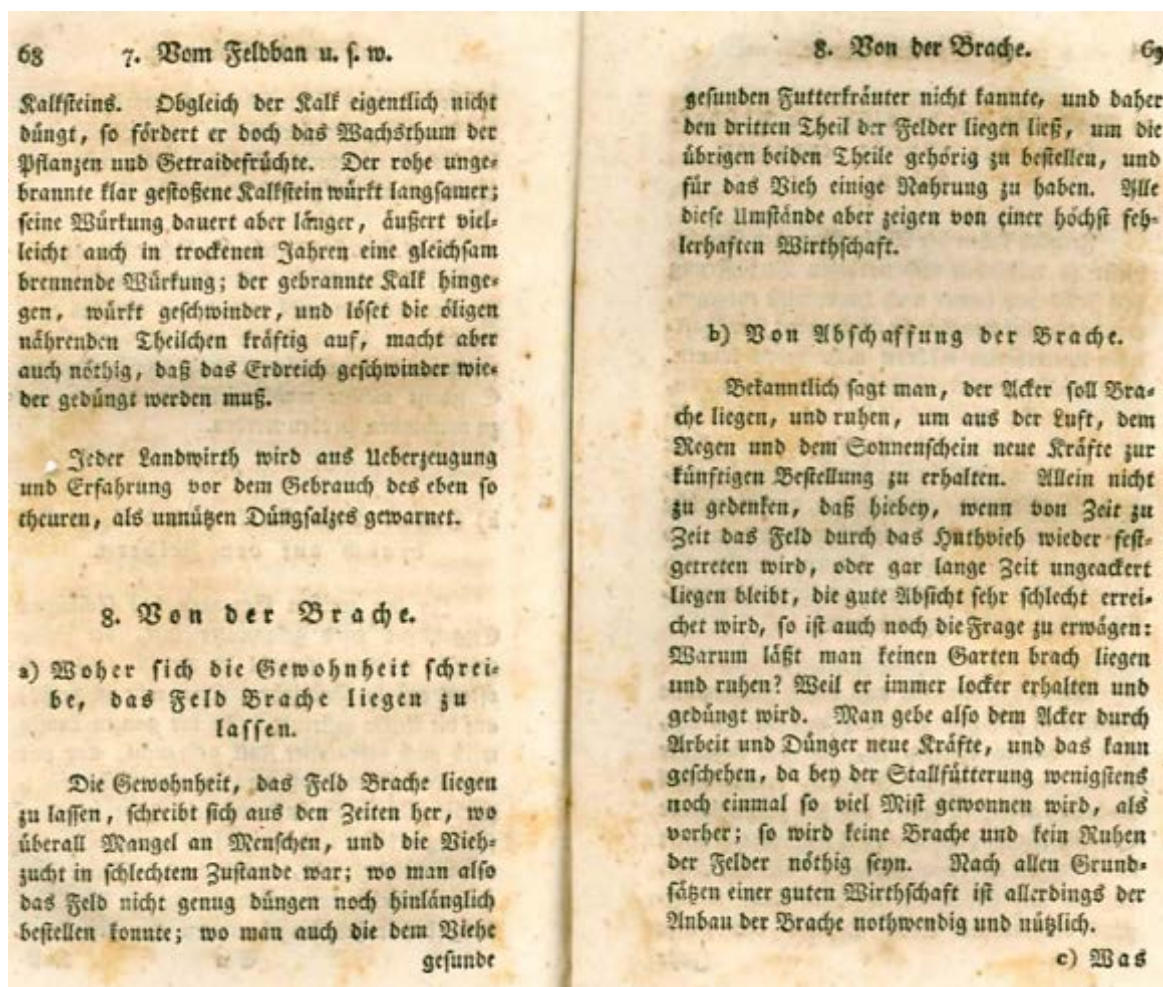


Abb. 1: Auszug aus dem Buch „Landwirthschaftslehre zum gemeinnützigen Gebrauch für Landwirthe“ von J.C. Schubart (1797): „8. Von der Brache. a)Woher sich die Gewohnheit schreibe, das Feld Brache liegen zu lassen. b)Von Abschaffung der Brache.“

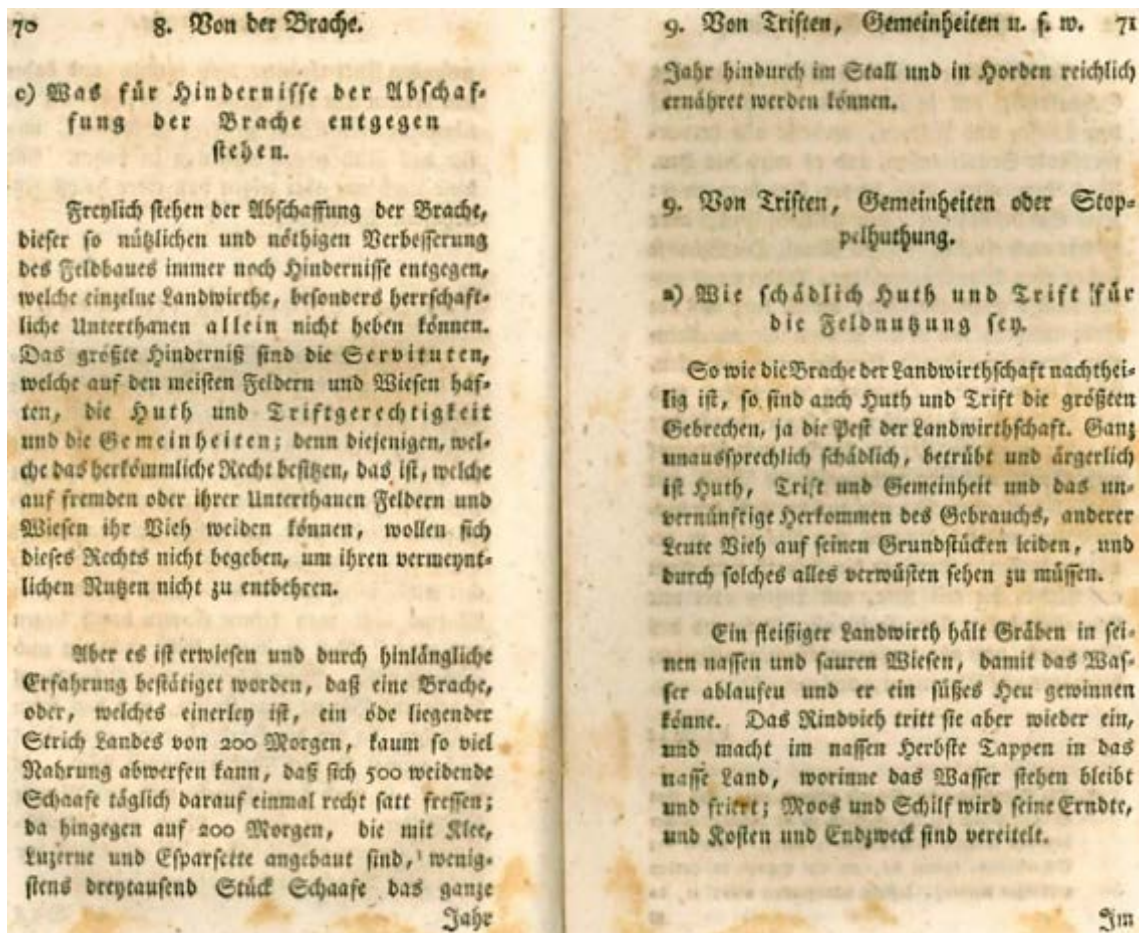


Abb. 2: Auszug aus dem Buch „Landwirthschaftslehre zum gemeinnützigen Gebrauch für Landwirthe“ von J.C. Schubart (1797): „c) Was für Hindernisse der Abschaffung der Brache entgegenstehen“

3.2 Definitionen/Begriffe zur Beschreibung von Fruchtfolgen

Im Folgenden werden einige wichtige Begriffe zur Beschreibung von Fruchtfolgen definiert. Als Quellen dienen die beiden Lehrbücher „Fruchtfolgen“ (Freyer, 2003) und „Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung“ (Diepenbrock et al., 2005).

Hauptfrucht:

Eine Kultur wird als Hauptfrucht definiert, wenn sie die gesamte oder überwiegende Vegetationszeit am Feld steht. Dementsprechend existiert die Form des Hauptfruchtfutterbaus. Dazu zählen Silomais, Klee gras, Acker gras und verschiedene Leguminosen. Das Klee gras kann dabei ein-, über- und mehrjährig genutzt werden.

Zwischenfrucht:

Die Anbaupause zwischen zwei Hauptfrüchten sollen Zwischenfrüchte schließen. **Sommerzwischenfrüchte** werden als Untersaat im Frühjahr in Getreide (z. B. Weißklee, Perserklee, Weidelgräser) oder als Stoppelsaat nach einer Körnerfrucht (z. B. großkörnige Leguminosen, Senfarten) angebaut und können als Futterpflanzen genutzt werden (= **Sommerzwischenfruchtfutterbau**). Sommereinjährige Pflanzen sollen im Winter abfrieren und dienen hauptsächlich als Erosionsschutz (z. B. Phacelia). Winterzwischenfrüchte werden im Spätsommer angesät. Eine verbreitete Mischung ist das Landsberger Gemenge. Eine Winterzwischenfrucht zur Futternutzung ist z. B. der Grünfutterroggen.

Abtragende Kulturen:

Halmfrüchte werden auch als abtragende Fruchtarten bezeichnet. Dazu zählen die Getreidearten, Körnermais und Getreide-Hülsenfrucht-Gemenge mit weniger als 30 % Hülsenfrüchten.

Tragende Kulturen:

Als tragende Kulturen werden alle **Blattfrüchte** inklusive Grün- und Silomais und Ackergras bezeichnet. Blattfrüchte sind Nichtgetreidearten wie Kartoffeln, Zuckerrüben, Klee-gras, Feldgemüse, Raps, Ackerbohne, Körnererbse usw.

Fruchtfolgeglied:

Die Abfolge von der ersten tragenden Blattfrucht bis zur letzten abtragenden Halmfrucht ist ein Fruchtfolgeglied. In der Regel besteht es aus einer Blattfrucht und zwei darauffolgenden Halmfrüchten (= **Dreifelderglieder**).

Fruchtfolgefeld:

Das Fruchtfolgefeld ist die kleinste Gliederungseinheit in einer Fruchtfolge. Sie besteht aus der Haupt-, Zwischen- und möglicherweise Zweitfrucht, die innerhalb eines Jahres auf einer Fläche angebaut wird (Beispiel: Winterzwischenfrucht und Sommergerste).

Fruchtfolgepaar:

Zwei Hauptfrüchte bilden ein **Fruchtfolgepaar**, gleichbedeutend ist die Bezeichnung der beiden Hauptfrüchte als Vorfrucht und Nachfrucht. Ein Fruchtfolgepaar schließt die der Hauptfrucht vorausgehenden Zwischenfrüchte mit ein.

Überfruchtwechsel:

Die Abfolge *Blattfrucht-Blattfrucht-Halmfrucht* wird als Überfruchtwechsel bezeichnet. Ein Beispiel: *Rotklee (im Wechsel mit anderen Kleearten) – Silomais - Sommerweizen mit Untersaat der folgenden Kleeart.*

Doppelfruchtwechsel:

Blattfrucht-Blattfrucht-Halmfrucht-Halmfrucht ist ein Doppelfruchtwechsel. Sie hat eine zweijährige Anbaupause von Getreide zur Folge, was sich günstig auf die Unterdrückung von beispielsweise Getreidefußkrankheiten auswirkt. Ein Beispiel: *Rotklee (im Wechsel mit anderen Kleearten) – Kartoffel + Zwischenfrucht – Hafer – Wintergerste mit Untersaat der folgenden Kleeart.*

Vorfruchtwirkung:

Der Einfluss einer Fruchtart auf den Ertrag und die Qualitätseigenschaften der nachfolgenden Hauptfrucht und auf den Boden wird unter dem Begriff (direkte) Vorfruchtwirkung zusammengefasst. Eine ungünstige Bodenbearbeitung zu einem schlechten Zeitpunkt kann die Vorfruchtwirkung beeinträchtigen oder aufheben. Die indirekte Vorfruchtwirkung ist die Gesamtwirkung aller angebauten Fruchtarten auf die aktuell angebaute.

Fruchtfolgewirkung:

Der Einfluss der gesamten Rotation auf die Bodenfruchtbarkeit und die Erträge der angebauten Kulturen wird als Fruchtfolgewirkung bezeichnet.

Selbstverträglichkeit:

Ein- oder mehrmaliger Anbau derselben Kulturart führt bei Selbstverträglichkeit nicht zu Ertragseinbußen. Fruchtarten mit hoher Selbstverträglichkeit sind z. B. Roggen und Mais.

Ackerflächenverhältnis:

Das Anbauverhältnis oder Ackerflächenverhältnis ist der prozentuale Anteil von Fruchtarten an der Ackerfläche. Unterscheiden sich die Standortbedingungen innerhalb eines Betriebes stark, kann es notwendig sein, mehrere Fruchtfolgen einzurichten und den Betrieb in sogenannte **Rotationsbereiche** zu unterteilen.

4 Material und Methoden

Der Fruchtfolgeversuch wurde im Herbst 1997 an zwei Standorten angelegt: Einmal an der Versuchsstation Viehhausen der TU München (Landkreis Freising), die seit 1995 ökologisch bewirtschaftet wird, zum anderen an der Versuchsstation Puch der Landesanstalt für Landwirtschaft im Landkreis Fürstentfeldbruck (Versuchsfläche wird nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet). Tab. 1 zeigt die wichtigsten Kennzahlen der Standorte.

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsstandorte Viehhausen und Puch

	Viehhausen	Puch
Bodenart	Schluffiger Lehm	Sandiger Lehm
Bodentyp	Braunerde	Pseudogley-Parabraunerde
Bodenzahl	61	64
Mittlerer jährl. Nieder-	786	882
Mittlere monatl. Temp	7,8	8,8

Von allen Kulturarten werden die gängigen Ertrags- und Qualitätsmerkmale erhoben. Diese werden in den folgenden Kapiteln 4.2 und 4.3 beschrieben. Treten Krankheiten auf, werden diese bonitiert. Dabei wird nach den Richtlinien des Bundessortenamts (2000) vorgegangen.

4.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Es handelt sich an beiden Orten um eine einfaktorielle Blockanlage mit eingeschränkter Randomisation und vollständigen Blöcken mit drei Wiederholungen. Die Tab. 2 und Tab. 3 zeigen eine Übersicht über die Abfolgen der Fruchtfolgen und die organische Düngung in Viehhausen und Puch. Sie werden getrennt dargestellt, da es Unterschiede gibt, die auch bei der statistischen Verrechnung der Ergebnisse eine getrennte Betrachtung pro Ort notwendig machen. Ein Luftbild des Versuchs in Viehhausen zeigt Abb. 3. Es ist zu erkennen, dass beispielsweise die dreifeldrige Fruchtfolge FF6 (links oben im Foto) aus drei Parzellen nebeneinander besteht, auf denen jeweils die Fruchtfolge versetzt rotiert, sodass jedes Fruchtfolgefeld jedes Jahr angebaut wird.

Abb. 4 zeigt die Versuchsanlage Viehhausen im Jahr 2013. In Puch wurde die FF3 nicht angelegt, da Stallmist aus ökologischer Tierhaltung zu Versuchsbeginn nicht verfügbar war.

Tab. 2: Übersicht über die Versuchsvarianten und die organische Düngung in Viehhausen

System	viehhaltend			viehlos		
Fruchtfolge	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6
kg N/ha pro FF ⁷⁾	207	148	90/135 ¹⁾	-	-	-
1. Jahr	Kleegras ⁶⁾ (Schnitt)	Kleegras ⁶⁾ (Schnitt)	Kleegras ⁶⁾ (Schnitt)	Kleegras ⁶⁾ (Mulch)	Kleegras ⁶⁾ (Mulch)	Sojabohne ⁸⁾
2. Jahr	Kleegras (Schnitt)	Kartoffel 30 m ³ Gülle ⁵⁾	Kartoffel 300 dt/ha ¹⁾ Mist	Kartoffel	Winterweizen (+Untersaat ²⁾)	Winterweizen (+Untersaat ²⁾)
3. Jahr	Kartoffel 30 m ³ Gülle ⁵⁾	Winterweizen 20 m ³ Gülle ⁴⁾	Winterweizen	Winterweizen	Sommergerste	Sommergerste + Zwischenfrucht ³⁾
4. Jahr	Winterweizen 20 m ³ Gülle ⁴⁾ (+Untersaat ²⁾)					
5. Jahr	Winterroggen 20 m ³ Gülle					

Stroh von Getreide wird in FF2, FF3 und FF4 abgefahren, in FF1, FF5 und FF6 am Feld belassen. ¹⁾ bis incl. 2007: 200 dt/ha*a (=90 kg N), ab 2008: 300 dt/ha*a (= 135 kg N). Ausbringungszeitpunkt: kurz vor Kleegrasumbruch im Frühjahr; ²⁾ Untersaat Weißklee;

³⁾ Zwischenfrucht: Alexandrinerklee + einjähriges Weidelgras; ⁴⁾ Güllegabe Beginn Bestockung;

⁵⁾ Güllegabe auf das Kleegras kurz vor Umbruch; ⁶⁾ Kleegras Ansaat: in FF2, FF3, FF4 als Untersaat; in FF1 und FF5 als Blanksaat im August; vier Schnitte bzw. viermal chen; ⁷⁾ durchschnittliche Gesamt-N-Gehalte (Kjeldahl) aus 2001-2012; ⁸⁾ bis incl. 2003 Ackerbohne und Erbse.



Abb. 3: Luftbild der Versuchsanlage in Viehhausen (Quelle: Bay. Vermessungsverwaltung 2010)

Tab. 3: Übersicht über die Versuchsvarianten und die organische Düngung in Puch

System	viehhaltend		viehlos		
Fruchtfolge	FF1	FF2	FF4	FF5	FF6
kg N/ha pro FF ⁵⁾	267	185	-	-	-
1. Jahr	Klee gras ⁴⁾ (Schnitt)	Klee gras ⁴⁾ (Schnitt)	Klee gras ⁴⁾ (Mulch)	Klee gras ⁴⁾ (Mulch)	KL ²⁾
2. Jahr	Klee gras (Schnitt)	Kartoffel ⁶⁾ 25 m ³ Gülle	Kartoffel	Winterweizen + Zwischenfrucht ¹⁾	Winterweizen + Zwischenfrucht ¹⁾
3. Jahr	Kartoffel 25 m ³ Gülle ⁶⁾	Winterweizen 20 m ³ Gülle ³⁾	Winterweizen	Sommergerste	Sommergerste +Zwischenfrucht ¹⁾
4. Jahr	Winterweizen 20 m ³ Gülle ³⁾				
5. Jahr	Winterroggen 20 m ³ Gülle ³⁾				

Stroh von Getreide wird immer abgefahren. ¹⁾Alexandrinerklee; ²⁾KL=Körnerleguminose. Bis 2003 Ackerbohne oder Erbse, 2004-2010 Sojabohne, ab 2011 Ackerbohne; ³⁾Güllegabe Ende Bestockung; ⁴⁾Ansaat als Untersaat in das vorhergehende Getreide: drei Schnitte, bzw. dreimal Mulchen; ⁵⁾ durchschnittliche Gesamt-N-Gehalte (Kjeldahl) aus 2005-2013; ⁶⁾Güllegabe kurz vor Pflanzung

FF6			FF3			FF5			FF1					FF4			FF2		
SJ	WW	GS	KG (S)	K	WW	KG (M)	WW	GS	KG1 (S)	KG2 (S)	K	WW	RW	KG (M)	K	WW	KG (S)	K	WW
FF5			FF4			FF6			FF2			FF1					FF3		
KG (M)	WW	GS	KG (M)	K	WW	SJ	WW	GS	KG (S)	K	WW	KG1 (S)	KG2 (S)	K	WW	RW	KG (S)	K	WW
FF1					FF2			FF3			FF4			FF5			FF6		
KG1 (S)	KG2 (S)	K	WW	RW	KG (S)	K	WW	KG (S)	K	WW	KG (M)	K	WW	KG (M)	WW	GS	SJ	WW	GS

Abb. 4: Anlageplan der Blockanlage mit 3 Wiederholungen in Viehhausen (Ernte 2013). KG (M)= gemulchtes Klee gras; KG (S) = geschnittenes Klee gras; K = Kartoffel; SJ = Sojabohne; RW = Winterroggen; GS = Sommergerste; WW = Winterweizen

Die folgenden Tab. 4 und Tab. 5 zeigen die Abläufe der Maßnahmen zu Aussaat, Bodenbearbeitung, Unkrautregulierung, Düngung und Ernte im Versuch, wie sie in einem typischen Jahr stattfanden. Dabei muss aus Gründen der Übersichtlichkeit auf genaue Datumsangaben für alle Jahre einzeln verzichtet werden.

Tab. 4: Übersicht der ackerbauliche Maßnahmen eines typischen Versuchsjahres in Puch

Fruchtart	Maßnahme	Aufwandmenge/Anzahl	Zeitraum/BBCH	Fruchtfolge
Kartoffel	Güllegabe	25 m ³	vor Pflanzung	FF1, FF2
Kartoffel	Pflanzung	45000 Knollen/ha	Ende April	FF1, FF2, FF4
Kartoffel	Bekämpfung Kartoffelkäfer	3 l/ha NeemAzal®-T/S oder Novodor® FC	bei nesterweisem Auftreten der Larven	
Kartoffel	Kupferspritzung	Funguran® progress 1,5 kg/ha	bei Befallsbeginn	
Kartoffel	Häufeln	2 mal	nach Pflanzung und kurz vor Reihenschluss	
Kleegras	Schnitt und Abfuhr	3 Schnitte	Blühbeginn Rotklee	FF1, FF2
Kleegras	Mulchen	3 x Mulchen	Blühbeginn Rotklee	FF4, FF5
Kleegras	Umbruch	mit Kreiselgrubber	Frühjahr (vor Pflanzung Kartoffel)	FF1, FF2, FF4
Kleegras	Umbruch	mit Kreiselgrubber	Herbst (vor Winterweizen)	FF5
Kleegras	Aussaat als Untersaat	27 kg/ha	Mitte Mai	FF1, FF2, FF4, FF5
Getreide	Aussaat	300 Kö/m ²		alle
Winterroggen	Güllegabe	20 m ³	zum Schossen	FF1
Winterroggen	Unkrautregulierung	Striegeln 2 - 3 mal	im Frühjahr bis BBCH 39	FF1
Winterweizen	Güllegabe	20 m ³	BBCH 29	FF1, FF2
Winterweizen	Unkrautregulierung	Striegeln 2 - 3 mal	im Frühjahr bis BBCH 39	alle FF
Sommergerste	Unkrautregulierung	Striegeln nach Bedarf		FF5, FF6
Sojabohne Ackerbohne	Aussaat	75 bzw. 40 Kö/m ²	ab 20. April	FF6
Sojabohne Ackerbohne	Unkrautregulierung (teils händisch)	Striegeln, Hacken 2 - 3 mal	BBCH 08 bis 15	FF6
Zwischenfrucht Alexandrinerklee	Aussaat Blanksaat	35 kg/ha	nach Getreideernte	FF5, FF6

Tab. 5: Übersicht der ackerbauliche Maßnahmen eines typischen Versuchsjahres in Viehhausen

Fruchtart	Maßnahme	Aufwandmenge/Saatstärke	Zeitraum	Fruchtfolge
Kartoffel	Pflanzung	45000 Knollen/ha	Ende April	
Kartoffel	Güllegabe	30 m ³	Auf die Vorfrucht Klee-gras am Tag des Um-bruchs	FF1, FF2
Kartoffel	Stallmistgabe	300 dt/ha	Auf die Vorfrucht Klee-gras am Tag des Um-bruchs	FF3
Kartoffel	Bekämpfung Kar-toffelkäfer	3 l/ha Novodor	2 bis 4 x je nach Befall	FF1 bis FF4
Kartoffel	Kupferspitzung	300 g Cu/ha Funguran	2 bis 4 x je nach Witte-rung	FF1 bis FF4
Kartoffel	Häufeln	2 x	kurz vor Auflauf und kurz vor Reihenschluss	FF1 bis FF4
Kleegras	Schnitt und Abfuhr	4 Schnitte im Hauptnut-zungsjahr + ggf. Schnitt im Ansaatjahr	Blübeginn Rotklee	FF1, FF2, FF3
Kleegras	Mulchen	4x Mulchen + ggf. Schnitt im Ansaatjahr	Blübeginn Rotklee	FF4, FF5
Kleegras	Aussaat als Blank-saat	27 kg/ha + 3 kg/ha Luzerne	August	FF1, FF5
Kleegras	Aussaat als Unter-saat	27 kg/ha + 3 kg/ha Luzerne	Frühjahr	FF2, FF3, FF4
Kleegras	Umbruch	Fräse und Spatenpflug	Frühjahr vor Kartoffel	FF1 bis FF4
Kleegras	Umbruch	Fräse und Spatenpflug	Herbst vor Aussaat Win-terweizen	FF5
Getreide	Aussaat	360-400 Kö/m ²	ortsüblich	alle
Winterroggen	Güllegabe	20 m ³	BBCH 21	FF1
Winterweizen	Güllegabe	20 m ³	BBCH 21	FF1, FF2
Getreide	Striegeln	2x doppelte Überfahrt	BBCH 20 bis BBCH 31	alle
Sojabohne	Aussaat	70 Körner/m ²	Mitte April	FF6
Sojabohne	Unkrautregulierung	1 x Striegeln + 2 x Handha-cke	BBCH 12 bis BBCH 31	FF6
Untersaat Weißklee	Einsaat in den WW	1500 Kö/m ²	Frühjahr	FF1, FF5, FF6
Zwischenfrucht	Stoppelsaat	800 Kö/m ² Alexandriner-klee; 600 Kö/m ² einj. Wei-delgras	nach der Sommergerste	FF6

Die Saatbettbereitung erfolgte in Puch mit der Kreiselegge. Die Parzellengröße betrug brutto 150 m², beerntet wurde die Kernparzelle von 30 m². In Viehhausen betrug die Parzellengröße brutto 120 m², die Größe der Kernparzelle 72 m². Die Saatbettbereitung erfolgte ebenfalls mit der Kreiselegge.

Der lange Zeitraum seit Versuchsbeginn machte einige Sortenwechsel notwendig, da zum einen Krankheiten verhindert werden müssen, zum anderen, um die im ökologischen Ackerbau aktuellen Sorten anzubauen. Tab. 6 zeigt die im hier dargestellten Zeitraum angebauten Sorten (die genannten Züchter sind nicht unbedingt die aktuellen Nutzungsberechtigten der Sorten).

Tab. 6: Verwendete Sorten in Puch und Viehhausen im Zeitraum 2005-2013

Fruchtart	Sortenname	Züchter
Winterweizen	Achat	Saatzucht Donau
Sommergerste	Ria 2005-2009 2010, 2011 Primadonna ab 2012 Grace	Lantmännchen SW Seed Hadmersleben GmbH Saatzucht Firlbeck Saatzucht Ackermann
Winterroggen	Nikita ab 2008 Visello	KWS Lochow GmbH
Sojabohne	Merlin	Saatbau Linz (Ö)
Ackerbohne (nur Puch)	Julia	Saatzucht Gleisdorf (Ö)
Kartoffel	Agria	Kartoffelzucht Böhm
Kleegras	<u>Viehhausen:</u> 2005, 2006 FM3 ¹⁾ 2007-2010 FM3 + Luzerne Ab 2011 FM4 ²⁾ + Luzerne ³⁾ <u>Puch:</u> FM3, ab 2011 FM4	Bayerische Qualitätssaatgutmischung, verschiedene Züchter

¹ FM3 (für trockene Standorte): 14,8% Rotklee, 22,2% Luzerne, 7,4% Weißklee, 33,3% Wiesenschwingel, 7,5 % Glatthafer, 14,8% Lieschgras

²⁾ Die Mischung wurde artspezifisch bestellt und zusammengemischt, um möglichst Colletotrichumbefall zu vermeiden

FM4 (für mittlere und frische Standorte):

22,2 % Rotklee (Sorte Merula), 33,3 % Wiesenschwingel (Sorte Cosmolit), 18,6 % Deutsches Weidelgras (Sorte Lacerta), 11,0 % Weißklee (Sorte Lirepa), 15,0 % Wiesenlieschgras (Sorte Comer)

³ 3 kg/ha Luzerne (Sorte Sanditi ab 2011, vorher Fee)

4.2 Erhobene Parameter zu den Kulturarten

Weizen

Die Qualitätsparameter Rohproteingehalt, Sedimentationswert und Fallzahl sowie der Backversuch wurden nach den Standard-Methoden der Internationalen Gesellschaft für Getreidechemie (ICC, 2014) durchgeführt. Das Backvolumen wurde nach einer Methode von Doose (1982) bestimmt (Abb. 5).

Bestandesdichte, Wuchshöhe, die Kornuntersuchungen (TKM, Sortierung, hl-Gewicht) sowie alle Bonituren im Feld wurden nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) ermittelt. Der Kornertrag bezieht sich auf eine Trockensubstanz (TS) von 86 %. Der Marktwarenertrag (86 % TS) ist der Kornertrag abzüglich der Körner mit kleinerem Durchmesser als 2,0 mm.



Abb. 5: Bestimmung des Backvolumens anhand der Verdrängung von Rapssamen

Roggen

Fallzahl und Amylogrammeinheiten wurden nach den Standard-Methoden der Internationalen Gesellschaft für Getreidechemie (ICC, 2014) durchgeführt. Der Amylograph der Firma Brabender liefert drei Werte, die die Verkleisterungseigenschaften und Quellvermögen des Mehls beschreiben:

1. Die Temperatur, bei der das Mehl-Wasser-Gemisch beginnt zu verkleistern.
2. Die Temperatur, bei der das Verkleisterungsmaximum erreicht ist.

3. Die Amylogrammeinheiten (AE), die das Drehmoment des Rührers zum Zeitpunkt des Verkleisterungsmaximums in Form eines Diagramms wiedergibt.

Die Kornuntersuchungen sowie alle Bonituren im Feld wurden nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) ermittelt. Der Kornertrag bezieht sich auf eine Trockensubstanz (TS) von 86 %. Der Marktwarenenertrag (86 % TS) ist der Kornertrag abzüglich der Körner mit kleinerem Durchmesser als 2,0 mm.

Gerste

Bestandesdichte, Wuchshöhe, die Kornuntersuchungen (TKM, Sortierung, hl-Gewicht) sowie alle Bonituren im Feld wurden nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) ermittelt. Die Qualitätseigenschaften der Braugerste werden am Korn, am Malz und an der Würze erhoben. Folgende Merkmale werden in diesem Beitrag dargestellt:

Untersuchungen am Korn:

- Sortierung
- hl-Gewicht
- TKG
- Rohproteingehalt

Untersuchungen am Malz:

- Rohproteingehalt
- Friabilimeterwert

Untersuchungen an der Würze:

- Löslicher Stickstoff
- Eiweißlösungsgrad
- Endvergärungsgrad
- Extrakt

Alle Untersuchungsmethoden sind genau beschrieben in den jährlichen Versuchsberichten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, die auf der Homepage www.LfL.Bayern.de zu finden sind (Herz et al., 2014).

Der Kornertrag bezieht sich auf eine Trockensubstanz (TS) von 86 %. Anhand der Sortierung wurde der Anteil an Vollgerste (> 2,5 mm), an Marktware (> 2,2 mm) und des Anteiles 2,2-2,5 mm ermittelt.

Kartoffel

Bei der Ernte wurde der Knollenertrag pro Parzelle erfasst. Anschließend wurden die Kartoffeln sortiert: Untergrößen < 35 mm, Normalgrößen 35-55 mm und Übergrößen > 55 mm. Das entspricht zwar inzwischen nicht mehr den Richtlinien des Bundessortenamtes, wurde aber beibehalten, um die Ergebnisse über alle Jahre vergleichbar zu erhalten. Nach dem Waschen wurde anhand einer Probe der Stärkegehalt bestimmt. Das Unterwassergewicht der Kartoffelknollen steht in einem Zusammenhang zu ihrem Stärkegehalt. Je

höher das Unterwassergewicht, umso höher der Stärkegehalt. Abb. 6 zeigt die Federwaage, den Drahtkorb mit der Probe und den mit sauberem Wasser gefüllten Kübel, in den die Probe eingetaucht wird.



Abb. 6: Bestimmung des Stärkegehalts von Kartoffeln

Anschließend wurden die Kartoffeln nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) bezüglich verschiedener Qualitätsmängel bonitiert wie z. B. Drahtwurmbefall, Befall mit Dry Core und Netzschorf (eine Probe pro Parzelle ohne Untergrößen). Etwa 10 Knollen pro Variante wurden für den Speisewertest aufgehoben, der Geschmack, Farbe, Mehligkeit und weitere Merkmale bewertet.

Kleegras

Das geschnittene und auch das gemulchte Kleegras wurden pro Schnitt beprobt, um Frischmasseertrag, Trockenmasseertrag sowie Rohfaser, Rohprotein und Rohasche zu erfassen. Zusätzlich wurden Bonituren durchgeführt wie z. B. der Anteil an Klee, Gras und Kräutern. In Viehhausen wurde der jeweilige Trockenmasseanteil visuell geschätzt.

Die Stickstoffbestimmung erfolgte nach der Kjeldahl-Methode. Der N-Gehalt in der Trockenmasse wurde mit 6,25 multipliziert, um den Rohproteingehalt zu erhalten. Mit der Weender-Analyse wurde der Rohfasergehalt der Proben bestimmt. Die Rohasche ist das Gewicht der Probe abzüglich aller organischen Bestandteile und wird durch Verbrennung der Probe im Muffelofen bei 580°C ermittelt.

Grundsätzlich wird in Puch dreimal gemulcht/geschnitten, in Viehhausen viermal. Dies kann jedoch je nach Witterung und Wachstum variieren. Wurden Schnitte im Ansaatzjahr durchgeführt, sind sie im Gesamtertrag enthalten.

Sojabohne

Der Ölgehalt der Sojabohnen wurde nach der Methode von Weibull-Stoldt bestimmt. Die Probe wurde mit Salzsäure aufgeschlossen, sodass das Fett frei vorlag. Anschließend erfolgte die Extraktion nach Soxhlet mit dem Extraktionsgerät Soxtherm der Firma Gerhard (4 Stunden). Extraktionsmittel war Hexan.

Der N-Gehalt wurde nach Kjeldahl bestimmt und mit dem Faktor 6,25 multipliziert, um den Rohproteingehalt zu erhalten. Bonituren und Kornuntersuchungen wurden nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) durchgeführt.

4.3 Bodenuntersuchungen

Bestimmung von Humusgehalt und Humusqualität

In den Jahren 1998, 2010 und 2013 wurden im zeitigen Frühjahr in der Tiefe 0-10 cm Bodenproben in den Parzellen mit Winterweizen gezogen (40 Einstiche pro Parzelle) und die Corg- und Nt-Gehalte mittels Elementaranalysator nach ISO 10694 und 13878 und gasvolumetrischem Carbonatnachweis nach ISO 10639 bestimmt. Die Beprobung in der FF1 wurde aufgrund der fünfjährigen Rotation lediglich 1998 und 2013 durchgeführt.

Bestimmung von $N_{\min}$

Seit Versuchsbeginn wurden zu Vegetationsende und Vegetationsbeginn Bodenproben in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm gezogen und die Gehalte an Ammonium und Nitrat bestimmt. Die Beprobung wurde in allen Parzellen durchgeführt.

4.4 Berechnung der N_2 -Fixierleistung und N-Bilanzen

N_2 -Fixierung

Die N_2 -Fixierung der Leguminosen wurde mit der Differenzmethode nach Hardy und Holsten (1975) für den Standort Puch in den Jahren 2011 bis 2013 geschätzt. Dabei wurde folgende Formel angewendet:

$$\text{Fixierte N-Menge} = N\text{-Menge}_{\text{Klee gras, Ackerbohne (erntbar)}} - N\text{-Mengen}_{\text{Referenzpflanze (erntbar)}}$$

Als Referenzpflanze wurde für Klee gras die bayerische Futtersaatmischung FM4 ohne die Leguminosen und für Ackerbohne Sommerweizen verwendet. Die Referenzpflanzen wurden auf einem Subplot innerhalb der Fruchtfolge angebaut. Da wesentliche N-Mengen in

den Stoppeln und Wurzeln vorliegen (Loges et al. 2001), wurden diese einbezogen. Dabei wurden diese in Anlehnung an Stein-Bachinger et al. (2004) auf 80 % der geernteten Menge bei Klee gras und auf 30 % bei Ackerbohnen (Korn + oberirdische Ernteresiduen) geschätzt.

Auf eine Beprobung der $N_{\min}$ -Gehalte im Boden wurde verzichtet, da in der Literatur nur geringe oder gar keine Unterschiede zwischen Klee gras und Gras sowie Körnerlegumino-se und Getreide dargelegt werden (Neugschwandtner et al. 2016, Urbatzka 2010, Drey-mann 2005). Zur Überprüfung wurden die $N_{\min}$ -Gehalte im Boden zur Ernte der Acker-bohne und des Sommerweizens in 2012 in der Tiefe von 0-90 cm gezogen.

Die Menge an oberirdischen Ernteresiduen wurde für Ackerbohne und Klee gras über das Korn-Stroh-Verhältnis für Stickstoff nach Wendland et al. (2012) geschätzt. Da für FF5 nur unvollständige Daten vorlagen, wurde die N2-Fixierleistung vom gleichbehandelten Klee gras der FF4 übernommen.

N-Bilanz

Die Berechnung der N-Bilanz erfolgte für die gleichen Jahre auf dem Standort Puch über Zufuhr minus Abfuhr. Als Zufuhr wurde die geschätzte N2-Fixierleistung der Hauptfrüchte (s. o.) und der Zwischenfrüchte (Ertrag mal geschätzte N2-Fixierungsleistung nach Wendland et al. (2012), die organische Düngung in FF1 und FF2 und eine Deposition von 20 kg N/ha einbezogen. Die Abfuhr wurde über die abgefahrene N-Erntemenge (Klee gras in FF1 und FF2, Früchte und Menge an oberirdischen Ernteresiduen bei Getreide), Verluste bei der Gülledüngung in Höhe von 17,6 % (Wendland et al. 2012), eine Denitrifikation in Höhe von 20 kg N/ha und die Veränderung an N_t im Bodenpool (siehe Kapitel 4.3) berechnet.

4.5 Berechnung der Deckungsbeiträge

Die durchschnittlichen Fruchtfolgedeckungsbeiträge wurden mit dem „Deckungsbeitrags-rechner Plus“ der LfL, Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, erstellt (<https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>). Alle Preise waren inklusive Mehrwert-steuer. Als Betrachtungszeitraum wurden 5 Jahre voreingestellt. Um die variablen Kosten zu berechnen, wurden die Arbeitsgänge in einem typischen Jahr angesetzt, wie sie in Tab. 4 und Tab. 5 dargestellt sind. Die N2-Fixierleistung wurde nicht bewertet, da davon ausgegangen wurde, dass sich diese im Mehrertrag der Nachfrüchte spiegelt. Die Abfuhr und Zufuhr von Phosphat und Kali wurde bewertet (Reinnährstoffkosten Phosphat 1,32 €/kg, Kali 1,30 €/kg).

Anhand des Feuchtklebergehaltes des Winterweizens wurde der Anteil an Qualität I (> 26 % Feuchtkleber), Qualität II (22-26 % Feuchtkleber) und Futterweizen (< 22 % Feuchtkleber) berechnet und entsprechend bezahlt. Der Anteil an Braugerste und Futterge-rste ergab sich aus der Sortierung (Braugerste = Vollgerste, Sortierung > 2,5 mm). Als Dieselpreis wurde 1,20 € angesetzt. Die Ausbringungskosten der Gülle musste das Pro-duktionsverfahren zahlen, zu dem diese gegeben wurde.

Für alle Arbeiten wurde Eigenmechanisierung vorausgesetzt mit Ausnahme des Mähdruschs (123,70 €/ha), Gülleausbringung (Komplettverfahren emissionsarme Ausbringung 5 €/m³) und Stallmistausbringung (Komplettverfahren inkl. Laden, 3,34 €/t).

Die Lohnkosten für Saisonarbeitskräfte betrugen 7,41 €/AKh.

In den Fruchtfolgen 1, 2 und 3 wurde das Klee gras abgefahren und für einen Marktpreis von 15,70 €/t Frischmasse ab Halm verkauft. Dies entspricht dem voreingestellten konventionellen Preis für eine Verwertung in der Biogasanlage. Im Gegenzug wurde dem Verfahren Klee gras der Gülle- und Mistwert (nur Phosphat und Kali, berechneter Düngewert aus den Nährstoffgehalten und Reinnährstoffkosten), der innerhalb der Fruchtfolgerotation als Rücklieferung für die Klee grasabfuhr aufgenommen wurde, gutgeschrieben. Vom Programm vorgeschlagene Faustzahlen wurden dann übernommen, solange keine eigenen Daten oder nicht ausreichende eigene Daten vorlagen. Der Anteil an Speisekartoffeln und Futterkartoffeln wurde z. B. deshalb übernommen, da die Daten für einen Standort erst ab 2010 und für den anderen Standort erst ab 2012 erhoben wurden. Bei den Arbeitskraftstunden (AKh) wurden auch Arbeiten für Bonituren, Standzeiten Informationsbeschaffung, Kontrollen, Instandsetzung, Verwaltung lt. Vorgaben angenommen.

4.6 Berechnung der Getreideeinheiten

Die Umrechnung der Erträge in Getreideeinheiten macht es möglich, die Leistung unterschiedlicher Fruchtarten zu addieren, Mittelwerte pro Fruchtfolge zu bilden und mit diesen die gesamten Fruchtfolgen und nicht nur einzelne Kulturen zu vergleichen. 1 Getreideeinheit (GE) gibt das Energieliefervermögen von 1 dt Gerste wieder. Dabei geht man von 12,56 MJME aus, die die Gerste im Mittel für verschiedene Tierarten an Energie liefert (Schulze Mönking et al., 2010). Da es sich im Fall des Fruchtfolgeversuchs bei den ersten drei Fruchtfolgen um simulierte Milchviehbetriebe handelt, wurden sämtliche Faktoren mit der Bezugsbasis 11,44 MJME, der Energie aus Gerste für Wiederkäuer, neu errechnet. Quelle für sämtliche Energiegehalte war die Gruber Futterwerttabelle (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2015).

Tab. 7 listet die verwendeten Faktoren auf, mit denen die Erträge multipliziert wurden, um sie in Getreideeinheiten umzuwandeln.

Tab. 7: Faktoren zur Umrechnung der Erträge in Getreideeinheiten

Fruchtart	TS%	MJ ME/kg	Faktor
Gerste zz	86	11,71	1,00
Kartoffel	86	3,33	0,28
Weizen	86	12,07	1,03
Roggen	86	11,98	1,02
Triticale	86	11,86	1,01
Ackerbohne	86	12,09	1,03
Sojabohne	86	12,23	1,04
Kleegras 1.Schnitt	86	16,15	1,38
Kleegras Folgeschnitte	86	12,30	1,05

4.7 Datenauswertung

Jede Fruchtart, die Fruchtfolgeerträge usw. wurde einzeln als einfaktorielle Blockanlage mit dem Statistikprogramm SAS 9.3 verrechnet. Zum Vergleich der Mittelwerte wurde der Student-Newman-Keuls-Test gewählt ($p > 0,05$), für Humusgehalt und Humusqualität in Kapitel 5.7 der T-Test. Die beiden Versuchsstandorte Puch und Viehhausen wurden nicht gemeinsam verrechnet, da in der Versuchsdurchführung Unterschiede bestehen.

5 Ergebnisse und Diskussion zu den Fruchtarten

Die Ergebnisse beziehen sich auf die Jahre 2005-2013 mit Ausnahme der Daten zu den Bodenproben, die in den Jahren 1998, 2010 und 2013 gezogen wurden. Kapitel 5.10 beschreibt, wie sich die Kornerträge von Winterweizen in der gesamten Versuchslaufzeit, also ab 1998, entwickelten. Um die gesamten Fruchtfolgen miteinander vergleichen zu können, wurden einmal deren Leistungen in Getreideeinheiten, zum anderen als Deckungsbeiträge dargestellt (Kapitel 5.11 und 5.12).

Es wurden u. a. Box Plots zur Darstellung der Ergebnisse gewählt. Box Plots präsentieren mehrere Werte: Das Minimum und das Maximum (Antennen oben und unten an der Box), den Median (waagrechter Strich in der Box), den Mittelwert (Raute in der Box), eventuelle Ausreißer (Kreise) und extreme Ausreißer (Sternchen). Die Box enthält die Hälfte aller Werte. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse nach Kulturart getrennt vorgestellt. Da das Klee gras die Grundlage für den Anbauerfolg der Nachfrüchte bildet, wird dieses als erstes beschrieben.

5.1 Klee gras

Der Anbauerfolg von Klee gras ist einer der entscheidendsten Faktoren, der Erträge und Qualitätseigenschaften der nachfolgenden Kulturen beeinflusst. Deshalb ist es wichtig, auch die Erträge und Inhaltsstoffe des Klee grasses im Feldversuch zu betrachten, auch wenn Daten wie Trockenmasseertrag normalerweise in der Praxis nicht erhoben werden.

Lediglich FF1 beinhaltet zweijähriges Klee gras, das in Viehhausen als Blanksaat (Abb. 7) nach Roggen, in Puch als Untersaat im Roggen angesät und vor der Pflanzung der Kartoffeln umgebrochen wird. Die Standzeit beträgt also in Viehhausen etwa 2 ½ Jahre, in Puch nahezu 3 Jahre. In allen anderen Fruchtfolgen in Puch, die Klee gras enthalten (FF2, FF4, FF5), wird das Klee gras als Untersaat in die Vorfrucht eingebracht und vor der Kartoffel im Frühjahr (FF2 und FF4), bzw. vor der Weizenaussaat im Herbst (FF5) umgebrochen.

In Viehhausen wird das Klee gras in FF2, FF3 und FF4 als Untersaat im Frühjahr in die Vorfrucht Winterweizen ausgesät. In FF5 erfolgt eine Blanksaat nach Sommergerste.

5.1.1 Viehhausen

Abb. 8 zeigt die Summe der Trockenmasseerträge aus den vier Schnitten im Hauptnutzungsjahr und dem Schnitt im Ansaatjahr. Das als Blanksaat nach dem Drusch etablierte Klee gras (FF1 und FF5) war den Untersaaten ertraglich signifikant unterlegen. FF1 (geschnitten) erzielte signifikant höhere Trockenmasseerträge als FF5 (gemulcht). Ein Herbstschnitt erfolgte jährlich in FF2, FF3 und FF4, der mit durchschnittlich 22,4 dt/ha zum summierten Trockenmasseertrag beitrug. FF2 und FF3 erzielten dadurch die signifikant höchsten Trockenmasseerträge, FF4 (gemulcht) stand an zweiter Stelle.



Abb. 7: Klee grasparzelle in FF1 Ende Mai 2012 in Viehhausen

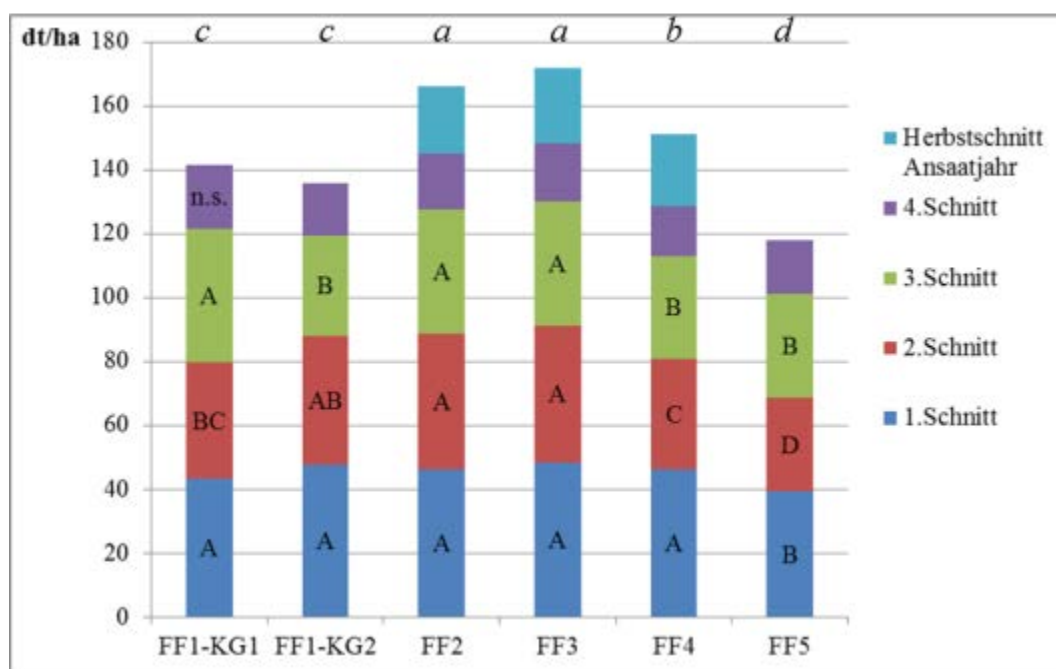


Abb. 8: Mittlere Trockenmasseerträge (2005-2013) der vier Schnitte im Hauptnutzungsjahr und der teilweise durchgeführten Schnitte im Herbst von Klee gras in Viehhausen. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest. Buchstaben oberhalb der Säulen beziehen sich auf die Summe Trockenmasse aller Schnitte

Die Abb. 9 bis Abb. 12 zeigen die prozentualen Anteile zum 1. bis 4. Schnitt an Leguminosen (Klee und Luzerne), Gräsern und Kräutern. Einen Überblick über die Entwicklung der Kleeanteile pro Fruchtfolge gibt Abb. 13.

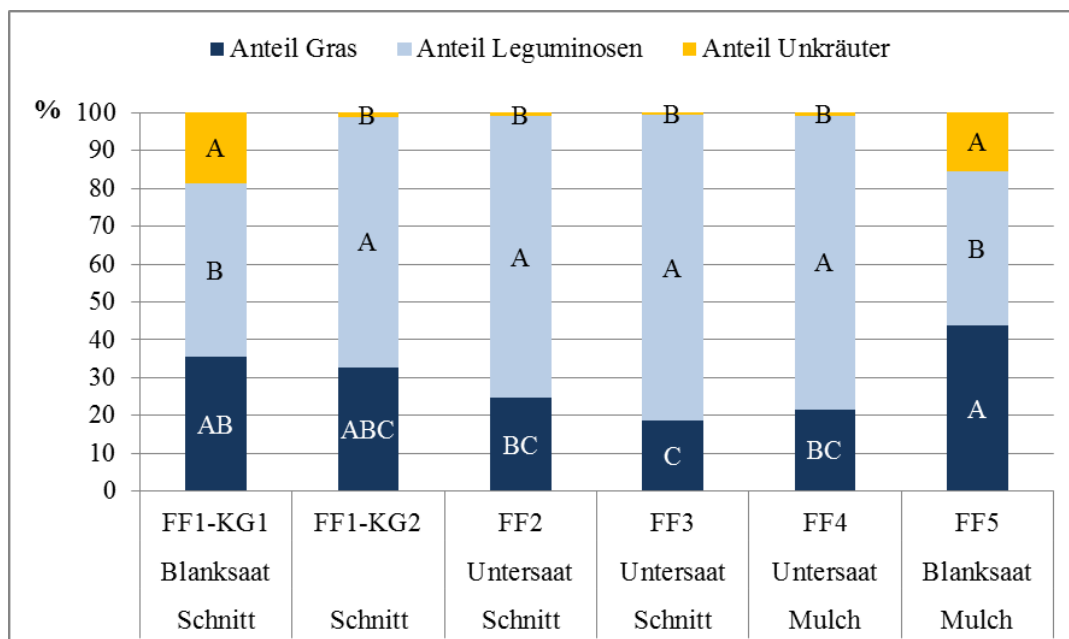


Abb. 9: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee-gras in Viehhausen vor dem 1. Schnitt (Mittelwerte 2005-2013). Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

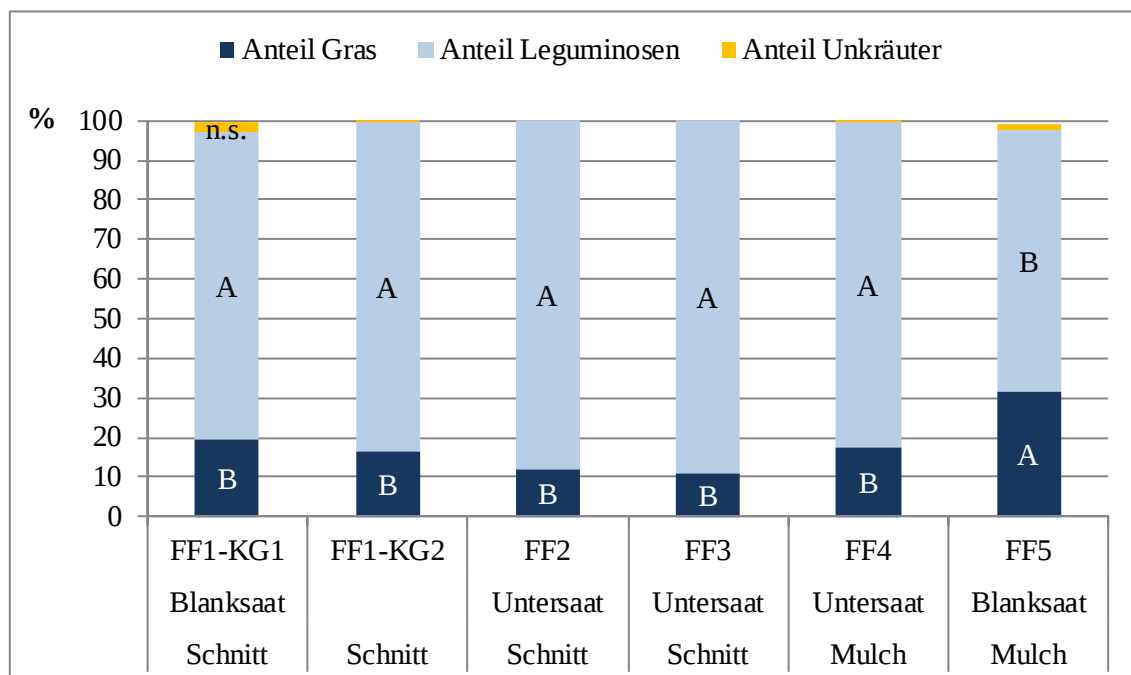


Abb. 10: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee-gras in Viehhausen vor dem 2. Schnitt (Mittelwerte 2005-2013). Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest.

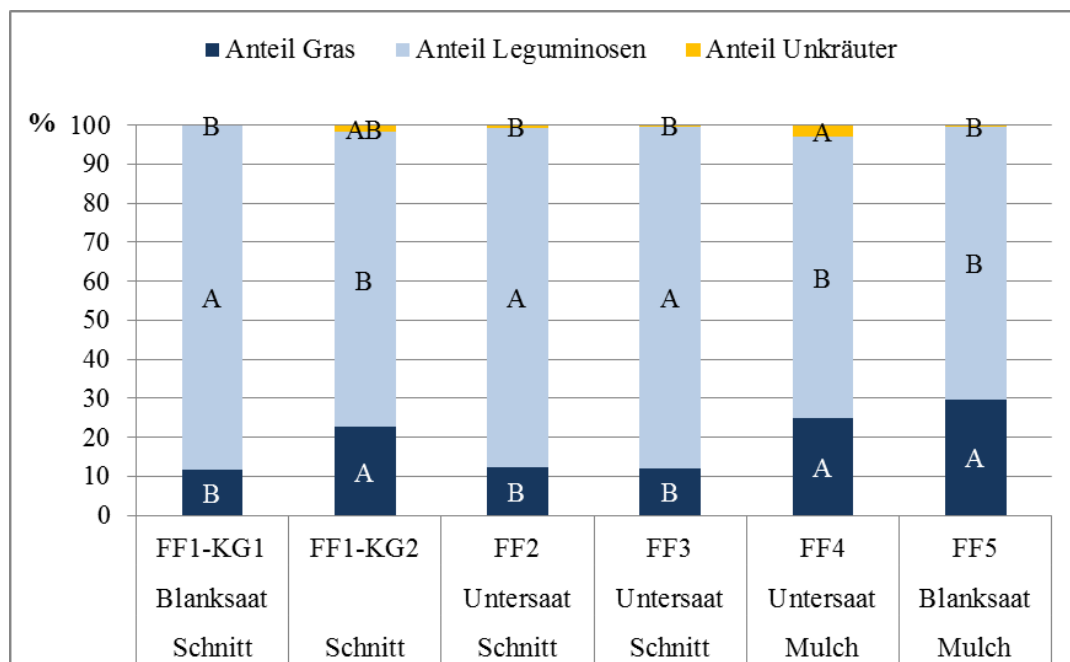


Abb. 11: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee-gras in Viehhausen vor dem 3. Schnitt (Mittelwerte 2005-2013). Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest.

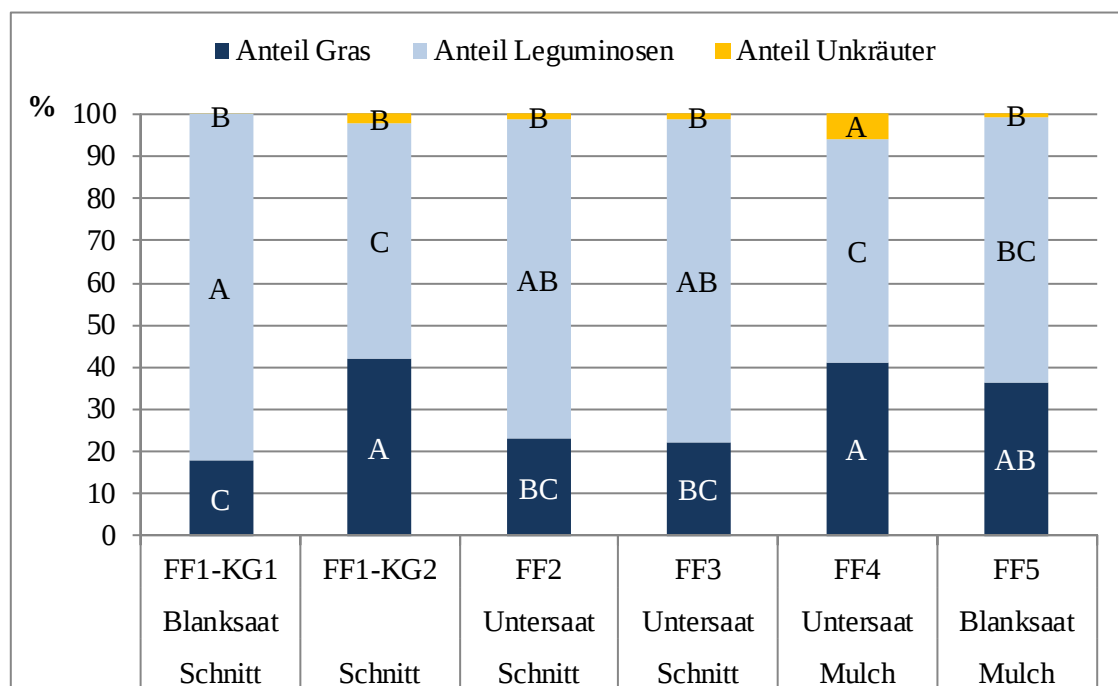


Abb. 12: Prozentuale Anteile von Gras, Leguminosen und Kräutern im Klee-gras in Viehhausen vor dem 4. Schnitt (Mittelwerte 2005-2013). Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest.

Die Fruchtfolgen lassen sich bezüglich des Klee-grasmanagements in Gruppen aufteilen:

Untersaat	gemulcht	FF4
	geschnitten	FF3, FF2
Blanksaat	gemulcht	FF5
	geschnitten	FF1-KG1

Der Leguminosenanteil zur ersten Bonitur war in FF1 und FF5 mit Blanksaat mit etwa 40 bis 45 % signifikant geringer als in FF2, FF3 und FF 4 mit Untersaat (etwa 75 bis 80 %). Der Zeitpunkt der Etablierung hatte zum ersten Schnitttermin einen stärkeren Einfluss auf den Leguminosenanteil als die Nutzungsweise. Auch Leisen (2003) und Urbatzka et al. (2017) berichteten höhere Kleeanteile nach Unter- als nach Blanksaat.

Zum zweiten Schnitt stieg der Leguminosenanteil unterschiedlich stark an (Abb. 13). Die Leguminosen der Fruchtfolgen mit Blanksaat erhöhten sich überproportional. Trotzdem war der Kleeanteil in den FF2, FF3 und FF4 mit Untersaat und auch der der FF 1 mit Blanksaat signifikant höher als bei FF5 (Abb. 10). Dies ist wohl auf die Mulchnutzung in FF 5 zurückzuführen.

Zum dritten Schnitt übertrafen die FF1 (nur 1. Jahr), FF2 und FF3 mit Schnittnutzung mit durchschnittlich 88 % signifikant die FF4 und FF5 mit Mulchnutzung (durchschnittlich 71 %). Der Leguminosenanteil von FF1-KG2 mit 76 % unterschied sich nicht signifikant von den Fruchtfolgen mit Mulchnutzung (Abb. 11). Geringere Kleeanteile nach einer Mulchnutzung bestätigten die Ergebnisse von Dreymann (2005) und Urbatzka et al. (2017). Auch vor dem vierten Schnitttermin wurden diese signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen mit Ausnahme der FF5 beobachtet (Abb. 12).

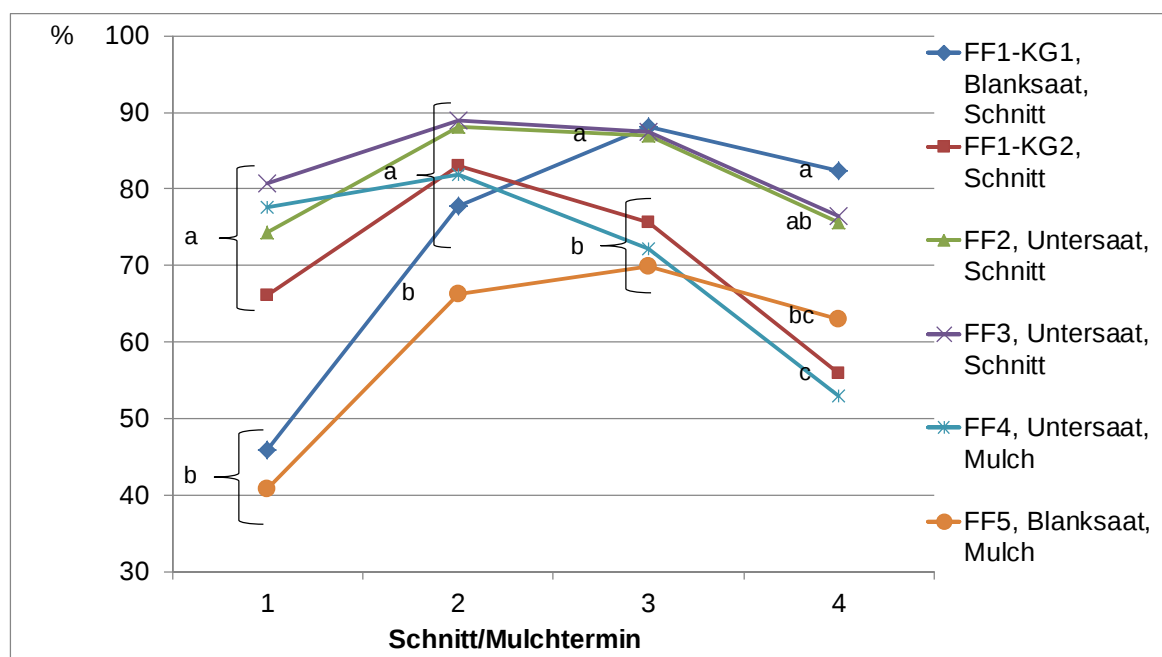


Abb. 13: Entwicklung der mittleren Leguminosenanteile pro Fruchtfolge in Viehhausen (2005-2013); verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$)

Genauso wie bei den Leguminosenanteilen spielte die Art der Etablierung für den Grasanteil zum Zeitpunkt des ersten Schnitts eine größere Rolle als die Nutzung. Die Fruchtfolgen mit Untersaat wiesen mit durchschnittlich 22 % einen um 18 Prozentpunkte niedrigeren Anteil auf als die Fruchtfolgen mit Blanksaat, wobei der Unterschied nur zur FF5 signifikant ausfiel (Abb. 9). Der Grasanteil sank in allen Klee grasparzellen vom ersten zum zweiten Schnitt. Der höchste Grasanteil wurde in FF5 mit 32 % bonitiert (Abb. 10). In allen anderen Fruchtfolgen war der Grasanteil mit etwa 10 bis 20 % signifikant geringer. Zum 3. Schnitt erreichten analog zu den Leguminosenanteilen alle Fruchtfolgen mit Schnittnutzung (FF1, nur 1. Jahr, FF2, FF3) einen signifikant geringeren Grasanteil mit etwa 10 % als die Fruchtfolgen mit Mulchnutzung mit etwa 25 bis 30 % (Abb. 11). Zum 4. Schnitt lagen mit Ausnahme der FF5 dieselben signifikanten Unterschiede vor (Abb. 12). In den Fruchtfolgen mit Schnittnutzung stiegen die Grasanteile auf circa 20 % an, während sie sich bei Mulchnutzung (FF4, FF5) und im zweiten Hauptnutzungsjahr (FF1-KG2) auf etwa 40 % erhöhten.

Zu den Unkräutern: Zum 1. Schnitt ist deutlich erkennbar (Abb. 9), dass die Fruchtfolgen mit Untersaat, also FF2, FF3 und FF4, einen dichteren Bestand aufgrund der längeren Standzeit ausgebildet hatten und Unkräuter unterdrücken konnten. Die Fruchtfolgen mit Blanksaat hatten mit durchschnittlich 17 % einen signifikant höheren Kräuteranteil als die „Varianten Untersaat“ mit etwa 1 %. Der Einfluss der Nutzung spielte zu diesem Zeitpunkt noch keine Rolle.

Zum zweiten Schnitt (Abb. 10) reduzierten sich die Unkräuter in allen Klee grasparzellen auf 0-3 %. Sowohl zum dritten wie auch zum vierten Schnitt (Abb. 11, Abb. 12) wurden in FF4 mit 3 % und 6 % die signifikant höchsten Unkrautanteile festgestellt. Ursache ist anscheinend die Mulchnutzung in Kombination mit Untersaat. Durch das wiederholte Mulchen entstanden immer wieder Verletzungen der Grasnarbe, die Unkräutern gute Bedingungen verschafften.

Tab. 8: Mittlere Rohproteingehalte (2005-2013) von Klee gras in Viehhausen

	Rohprotein-Gehalt %				gewichtetes
	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	Mittel %
FF1-KG1	12,1 b	17,7 ab	17,7 ab	20,7 n.s.	16,3
FF1-KG2	15,5 a	17,5 ab	17,9 ab	20,3	17,1
FF2	15,8 a	17,4 ab	17,5 b	20,8	17,1
FF3	16,5 a	17,4 ab	17,8 ab	20,8	17,5
FF4	16,0 a	18,5 a	18,8 a	22,2	17,9
FF5	12,3 b	16,4 b	18,3 ab	20,9	15,9

Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest, n.s. = nicht signifikant

Tab. 8 zeigt die mittleren Rohproteingehalte pro Fruchtfolge und Schnitt. Die Rohproteingehalte des ersten Schnitts waren in den Varianten Blanksaat, also in FF1-KG1 und FF5, signifikant niedriger als die Varianten Untersaat. Die Rangfolge verändert sich zum zweiten Schnitt. FF5 verfügte mit 16,4 % über die geringsten Gehalte, nur FF4 hatte signifikant höhere Werte. Auch am dritten und vierten Schnittermin erreichte FF4 den höchsten RP-Gehalt, signifikant höher waren die Werte jedoch nur am dritten Termin im Vergleich zu FF2.

Bei den ersten beiden Schnitten sind die unterschiedlichen Rohproteingehalte vermutlich v. a. auf die Anteile von Leguminosen und Gras zurückzuführen (Abb. 9, Abb. 10). Bei der Bewertung der Rohproteingehalte muss beachtet werden, dass alle Klee grasparzellen am selben Tag geschnitten oder gemulcht wurden, sich aber nicht alle unbedingt im selben Entwicklungsstadium befanden, was den Rohproteingehalt ebenfalls beeinflusst haben könnte.

Zur Ergänzung in Tab. 9 die mittleren Rohproteinerträge der vier Schnitte. Analog zu den Rohproteingehalten wurde beim 1. Schnitt ein signifikant geringerer Rohproteinertrag in FF1-KG1 und FF5 und beim 2. Schnitt in FF5 festgestellt. In der Summe erreichte FF5 den geringsten Ertrag.

Tab. 9: Mittlere Rohproteinerträge (2005-2013) von Klee gras in Viehhausen

	Rohprotein-Ertrag dt/ha TM				Summe dt/ha
	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	
FF1-KG1	5,24 b	6,41 a	7,40 a	4,08 n.s.	23,1
FF1-KG2	7,39 a	7,05 a	5,58 c	3,22	23,2
FF2	7,29 a	7,42 a	6,62 ab	3,49	24,8
FF3	8,02 a	7,35 a	6,80 ab	3,73	25,9
FF4	7,44 a	6,17 a	5,93 bc	3,52	23,1
FF5	4,80 b	4,80 b	5,98 bc	3,55	19,1

Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest, n.s. = nicht signifikant

5.1.2 Puch

Das Klee gras in Puch wird dreimal geschnitten und abgefahren, bzw. gemulcht. Abb. 14 zeigt die Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen mit Schnittnutzung. Die Summen der Trockenmasseerträge unterschieden sich nicht signifikant. Insgesamt lag das Ertragsniveau deutlich unter dem in Viehhausen. Die Erträge der Parzellen in FF4 und FF5 wurden nicht in allen Jahren erhoben und werden deshalb nicht dargestellt.

Der Kleeanteil zum ersten Schnitt lag in FF1 im ersten Jahr bei 38 %, im zweiten Jahr bei 45 % und in FF2 bei 49 %. Signifikante Unterschiede lagen nicht vor. Der niedrige Kleeanteil und die geringen Erträge lassen auf eine im Vergleich zu Viehhausen geringe Vorfruchtleistung schließen, da jedoch zum Klee gras nicht alle Daten erhoben wurden, kann

diese Vermutung nur anhand der Erträge und Qualitätseigenschaften der Nachfrüchte in den folgenden Kapiteln gefestigt werden. Die mittleren Rohproteingehalte in Abb. 15 unterschieden sich zwischen den Fruchtfolgen nicht signifikant. Im Mittel lag der Rohproteingehalt des ersten Schnitts bei 12,7 %, des zweiten Schnitts bei 15,7 % und des dritten Schnitts bei 17,8 %.

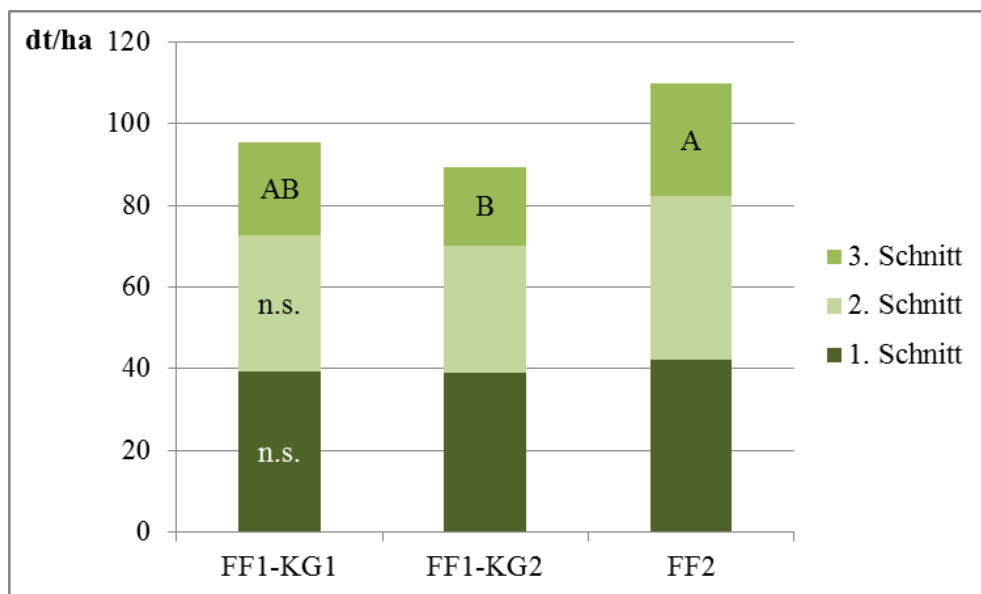


Abb. 14: Mittlere Trockenmasseerträge (2005-2013) der drei Schnitte im Hauptnutzungsjahr von Klee gras in Puch. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

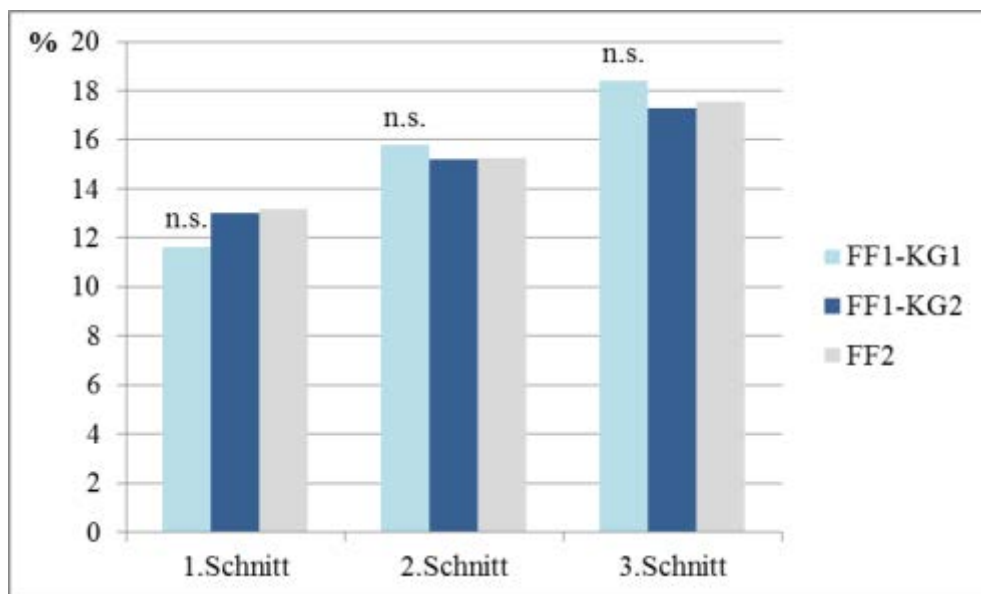


Abb. 15: Mittlere Rohproteingehalte (2005-2013) von Klee gras in den viehhaltenden Systemen in Puch. n.s. = nicht signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

Vor dem ersten Schnitt trat in Puch in 2012 ein erhöhter Besatz mit Ampfer auf (Abb. 16). In FF5 war dieser signifikant höher als in FF1-KG2, FF2 und FF4 (siehe Diskussion auf S. 42 Unkrautanteil im Klee gras). Nach der Bonitur wurden die Ampferpflanzen gestochen.

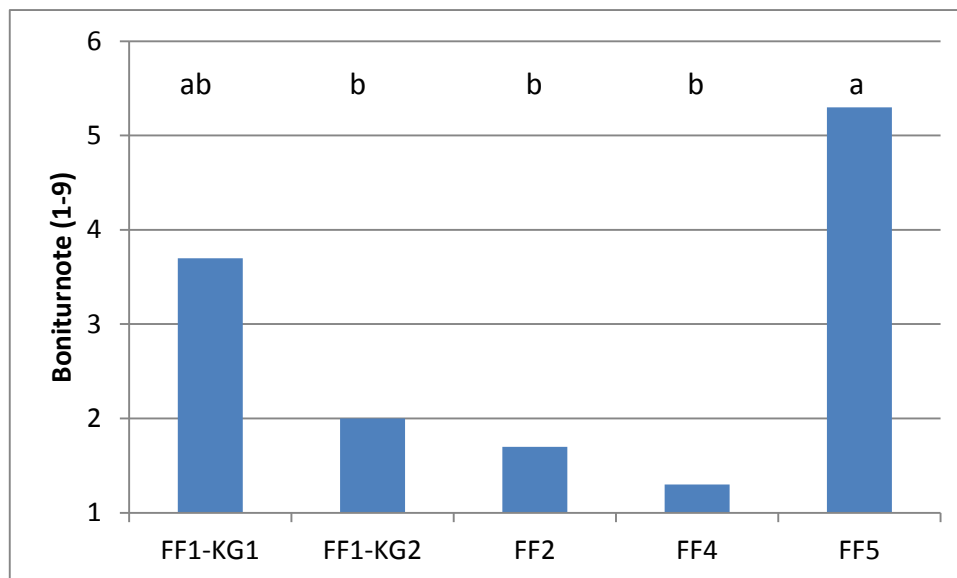


Abb. 16: Befall mit Ampfer in Puch am 7.5.2012. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

5.2 Winterweizen

Im ökologischen Pflanzenbau ist Stickstoff einer der limitierenden Faktoren, was die Erzeugung von Weizen mit hohen Erträgen und guter Backqualität erschwert (Baresel et al. 2008). Zahlreiche Studien beschäftigten sich mit dem Vorfruchteinfluss auf Ertrag und Qualitätsparameter von Winterweizen (z. B. Borghi et al., 1995, Loges et al., 1999). Der ökologische Fruchtfolgeversuch ermöglicht jedoch wegen seiner langen Laufzeit die Erfassung langfristiger Vorfruchteffekte auf Weizen. Jede der sechs, bzw. in Puch fünf Fruchtfolgen enthält Winterweizen. Somit können Erträge und Qualitätsparameter vergleichend dargestellt und dabei folgende Fragen bearbeitet werden: Welcher Betriebstyp ermöglicht hohe Weizenerträge bei gleichzeitig hoher Backqualität? Wie wirken sich Fruchtfolgestellung, unterschiedliche Leguminosenarten und Leguminosenanteile auf Erträge und Qualitätsparameter von Winterweizen aus?

5.2.1 Viehhausen

Tab. 10 zeigt die jährlichen Bonituren des Befalls mit *Septoria tritici*. Die Noten liegen zwischen 2,3 und 8,0. Das Versuchsmittel beträgt 5,1.

Es lässt sich sowohl ein Jahreseffekt als auch ein Fruchtfolgeeffekt erkennen. 2010 und 2012 gab es nur geringe Differenzierungen zwischen den Fruchtfolgen; in den anderen

Jahren ließen sich größere Unterschiede beobachten. Die statistische Verrechnung zeigte, dass der Weizen aus FF5 den signifikant höchsten, der Weizen aus FF1 und FF2 den signifikant geringsten mittleren Befall aufwies. Der berechnete Fruchtfolgeeffekt lässt sich jedoch nicht stärker differenzieren, da zahlreiche Faktoren das Auftreten von *Septoria tritici* begünstigen, z. B.: Das Entwicklungsstadium der Pflanzen bei bestimmten Wetterereignissen, die Luftfeuchtigkeit, die Temperatur, die Niederschlagsmenge, das Mikroklima in der Parzelle, das u.a. von der Bestandesdichte und der Wuchshöhe bestimmt wird, die N-Versorgung durch Düngung, der N-Gehalt im Blatt und das Vorkommen des Inokulums im Boden (Simon et al., 2003). FF1 mit dem durchschnittlich geringsten Befall ist fünffeldrig, d.h. die längere Anbaupause verringert vermutlich den Infektionsdruck.

Tab. 10: Befall von Winterweizen mit *Septoria tritici* in Viehhausen

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Mittel pro FF
FF1	4,0	3,0	6,0	5,0	4,3	5,3	2,3	3,7	4,7	4,3 d
FF2	4,7	2,7	5,7	5,0	4,3	5,3	2,7	4,0	5,0	4,4 d
FF3	4,3	4,0	5,0	5,0	4,3	5,7	5,0	3,7	7,3	4,9 c
FF4	5,7	4,0	4,7	5,3	7,0	4,7	6,0	5,3	7,0	5,5 b
FF5	6,0	5,7	7,0	7,3	6,3	5,0	6,3	4,7	8,0	6,3 a
FF6	3,3	4,7	4,7	6,0	5,7	6,0	3,7	4,3	7,7	5,1 bc
Jahres- mittel	4,7	4,0	5,5	5,6	5,3	5,3	4,3	4,3	6,6	5,1

Note 1 = sehr geringer Befall, Note 9 = sehr starker Befall; Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Tukey-Mittelwerttest

Tab. 11 zeigt den Marktwarenenertrag, die ertragsbildenden Parameter TKM (Tausendkornmasse) und Bestandesdichte sowie einige Backeigenschaften von Winterweizen in den sechs Fruchtfolgen am Standort Viehhausen. Die mittleren Marktwarenenerträge zeigen, dass Weizen nach zweijährigem Klee gras und Kartoffel in FF1 dem Weizen aller anderen Fruchtfolgen signifikant überlegen war. Weizen nach einjährigem Klee gras und Kartoffel in FF2 hatte um 6,2 dt/ha signifikant niedrigere Erträge als FF1. Den höchsten Feuchtklebergehalt erreichte der Winterweizen aus FF5, ebenso das größte Backvolumen. Der Winterweizen in FF6, der nach der Sojabohne steht, wies in allen dargestellten Merkmalen die signifikant niedrigsten Werte auf. Der Weizenertrag in FF3 (mit Stallmist) war dem der Variante FF2 (mit Gülle) signifikant unterlegen, die Qualitätsparameter (Tab. 11 und Abb. 17) unterschieden sich jedoch nicht. Die TKM (Tausendkornmasse) der viehhaltenden Fruchtfolgen (FF1-FF3) waren signifikant höher als die der viehlosen (FF4-FF6). Weizen nach zweijährigem Klee gras in FF1 erreichte die höchste Bestandesdichte, die geringste Anzahl Ähren/m² lag vor in FF6 (nach Sojabohne). Abb. 17 zeigt, dass Weizen aus FF6 die signifikant geringsten Rohproteingehalte und –erträge aufwies. Den signifikant höchsten Rohproteingehalt mit 11,3 % erzielte Weizen in FF5 mit Vorfrucht Klee gras. In FF1 errechnete sich mit 5,1 dt/ha der höchste Rohprotein ertrag, der jedoch nicht signifikant über demjenigen von FF2, FF4 und FF5 lag. Mit 4 dt/ha erreicht die Stallmistvariante (FF3) den zweitniedrigsten Rohprotein ertrag.

Die mittleren Kornerträge von Weizen waren in FF1 am höchsten, gefolgt von FF2, FF4, FF5, FF3 und schließlich FF6. Zunächst ein Vergleich zwischen FF1 und FF2: Der Weizen in FF1 schien ertraglich von der Vorfruchtwirkung eines mehrjährigen Klee-grases im Gegensatz zum überjährigen Klee-gras in FF2 zu profitieren. Die ausgebrachte Güllemenge zu Weizen war in FF1 und FF2 identisch. Es wurden stärker in FF1 als in FF2 diejenigen Ertragskomponenten gefördert, die früh festgelegt werden wie die Anzahl der Bestockungstriebe (Bestandesdichte). Der Proteingehalt im Korn wird dagegen zu einem Zeitpunkt festgelegt, an dem in beiden Fruchtfolgen vergleichbare Mengen an Stickstoff vorhanden waren, die zudem wegen Hitze und Trockenheit häufig nicht mehr leicht verfügbar waren. Das könnte den höheren Kornertrag in FF1 bei gleicher Qualität im Vergleich zu FF2 erklären.

Tab. 11: Marktwarenenertrag (> 2,0 mm Korngröße, 86 % TS), Qualitäts- und Ertragsparameter von Winterweizen der FF1-FF6 (Mittelwerte 2005-2013)

Frucht- folge	Marktwaren- enertrag	Feuchtkle- bergehalt	Sedimentati- onswert	Backvo- lumen	Bestandes- dichte	TKM
	dt/ha	%	ml	ml	Ähren/m ²	g
FF1	56,0 a	21,7 bc	22,4 a	600 b	430 a	45,0
FF2	49,8 b	21,7 bc	21,6 a	593 b	398 b	45,1
FF3	45,1 c	20,8 c	20,8 a	583 b	374 bc	44,7
FF4	50,1 b	22,8 b	21,4 a	613 ab	396 b	43,4
FF5	47,7 bc	24,5 a	21,9 a	632 a	393 b	43,0
FF6	33,9 d	19,1 d	20,3 a	554 c	362 c	42,8
Anzahl Jahre n	9	9	8	8	7	9

Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

Weiterhin bietet sich ein Vergleich zwischen FF3 und FF4 an: FF3 und FF4 unterschieden sich hinsichtlich ihres Kornertrags ebenfalls signifikant. Wie der Kornertrag lagen mit Ausnahme des Sedimentationswertes ebenso alle Qualitätsparameter des Weizens aus FF3 unter dem Niveau von FF4. Bei identischem Ablauf der Fruchtfolgefelder erhielt die Kartoffel in FF3 eine Stallmistgabe, das Klee-gras wurde geschnitten und abgefahren. Das Klee-gras in FF4 (viehlos) wurde gemulcht. Somit standen den Fruchtfolgefeldern der FF4 wahrscheinlich größere Mengen an organischer Substanz zu Verfügung. Der Grasanteil war zudem in den Mulchvarianten höher (Daten in Kapitel 5.1.1 dargestellt), was wegen des weiten C/N-Verhältnisses zu einem langsamen Abbau führt. Somit konnte der im Vergleich zu geschnittenem Klee-gras erst später mineralisierte Stickstoff dem Weizen zu einem für die Qualität entscheidenden Zeitpunkt verfügbar sein. Ein weiterer nachteiliger Effekt der Stallmistvariante könnte eine N-Immobilisation im Boden gewesen sein.

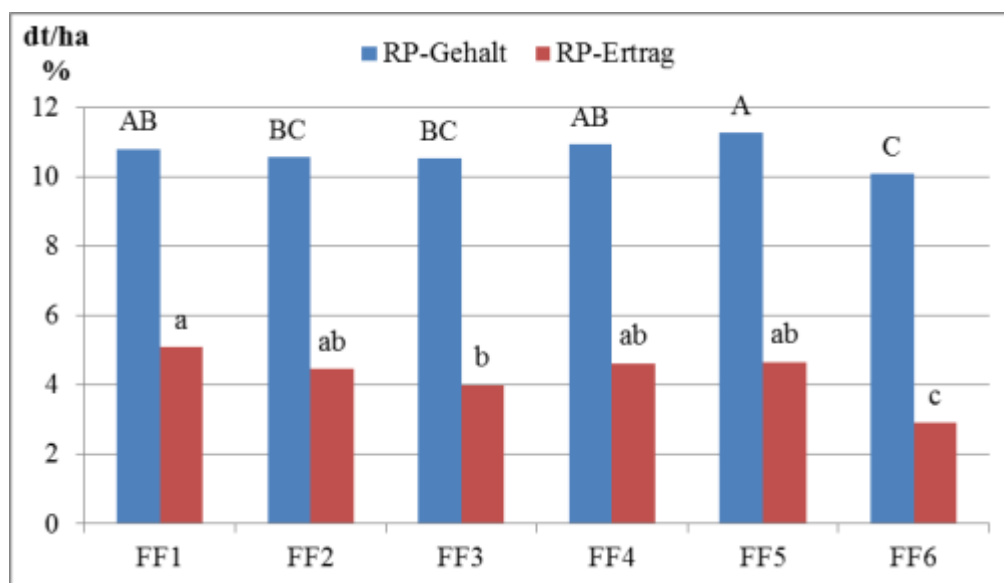


Abb. 17: Rohproteinerträge (dt/ha) und Rohproteingehalte (%) von Winterweizen in Viehhausen (Mittelwerte 2005-2013). Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem SNK- Mittelwerttest

Insgesamt erreichte nur der Weizen aus FF5 nach überjährigem, gemulchten Klee gras die am Markt üblicherweise geforderte Backqualität. Die Ursachen sind zum einen die für FF4 aufgeführten Gründe (Bereitstellung von Stickstoff zum Zeitpunkt der Proteinbildung im Korn) sowie die wahrscheinlich absolut höhere Menge an Stickstoff aufgrund der Stellung direkt nach Klee gras. Die signifikant niedrigsten Erträge und Qualitätsparameter des Weizens in FF6 sind mit der geringeren N-Vorfruchtwirkung der Körnerleguminosen im Vergleich zu Klee gras zu begründen.

Die TKM wird im Makrostadium Ähren- und Rispen schwellen festgelegt: In den Fruchtfolgen mit Klee grasabfuhr und organischer Düngung (FF1-FF3) war zu diesem Entwicklungsstadium anscheinend mehr Stickstoff mit der Folge größerer TKM verfügbar. Nach der zweiten Rotation im ökologischen Dauerfeldversuch am Gladbacherhof mit drei Fruchtfolgen, die vergleichbar sind mit FF1, FF5 und FF6 der vorliegenden Untersuchung, ergaben sich bezüglich des Kornertrags von Winterweizen ähnliche Aussagen (Schulz et al. 2008).

5.2.2 Puch

Die mittleren Kornerträge von Winterweizen lagen zwischen 34,8 dt/ha und 56,7 dt/ha (Tab. 12). Die Erträge sind zusätzlich grafisch in Abb. 18 dargestellt, hier allerdings als Marktwaren erträge ($>2,0$ mm).

Weizen nach Körnerleguminose (FF6) erzielte die signifikant geringsten Erträge und Bestandesdichten sowie die signifikant niedrigste Backqualität. Ausschließlich die Stellung unmittelbar nach gemulchtem Klee gras in FF5 führte zu einem befriedigenden Backvolumen (Einstufung nach Felgentreff et al., 2005). Die Vorfruchtwirkung der Körnerleguminose in FF6 war nicht ausreichend, um Backqualität oder zufriedenstellende Erträge zu erzeugen. Weizen in FF1, FF2 und FF4 unterschieden sich trotz unterschiedlicher Leguminosenanteile und -management sowie fehlender organischer Düngung in FF4 in keinem

der dargestellten Merkmale signifikant. Weitere Prüflahre müssen abgewartet werden, um die niedrigeren Kornerträge in FF4 (im Vergleich zu FF1) gegebenenfalls zu bestätigen. Auf das TKM hatte die Fruchtfolge keinen signifikanten Einfluss. Am zweiten Versuchsstandort Viehhausen zeigte sich dagegen eine Überlegenheit von Weizen nach zweijährigem Klee gras (FF1) bezüglich Bestandesdichte und Kornertrag, die Rangfolge der Merkmale Backvolumen, RP- und Feuchtklebergehalt ist identisch, wie im vorherigen Kapitel 5.2.1 erläutert.

Tab. 12: Mittlere Ertrags- und Qualitätsmerkmale von Winterweizen in Puch

Fruchtfolge	Korn- ertrag dt/ha		Bestandes- dichte Äh- ren/m ²		TKM g	Back- volumen ml		RP-Gehalt %		Feucht- klebergehalt %	
FF1	56,7	A	349	A	43,7 n.s.	579	A	10,7	AB	21,3	AB
FF2	54,9	A	350	A	43,7	575	A	10,6	AB	20,8	B
FF4	49,6	A	341	A	43,8	579	A	10,7	AB	21,6	AB
FF5	53,2	A	368	A	42,4	609	A	11,3	A	23,7	A
FF6	34,8	B	302	B	42,8	525	B	9,9	B	18,6	C
Jahre n	9		9		8	7		7		7	

Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) nach Student-Newman-Keuls Mittelwertvergleich; n.s. = nicht signifikant

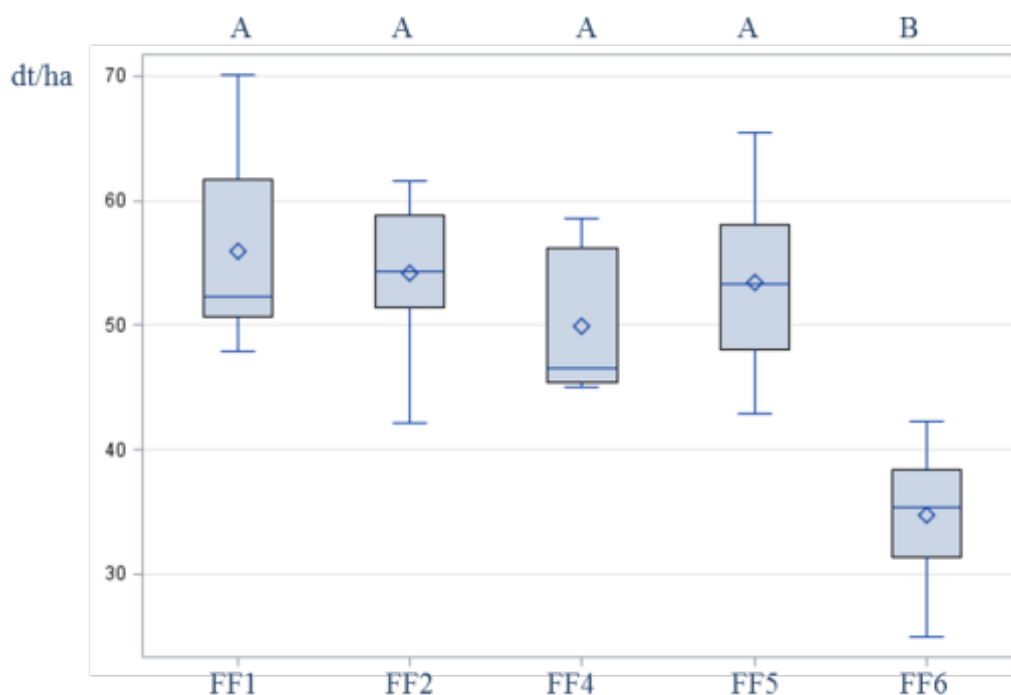


Abb. 18: Mittlerer Marktertrag (> 2,0 mm Korngröße, 86 % TS, 2005-2013) von Winterweizen in Puch. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

5.3 Sommergerste

Anforderungen an die Qualität von Braugerste sind ein Eiweißgehalt zwischen 9,5 % - 11,5 %, eine hohe Keimfähigkeit, gute Lösungseigenschaften, ein hoher Extraktgehalt und Endvergärungsgrad (König, 2002). Der Vollgerstenanteil sollte über 90 % betragen. Partien, die diesen Anteil nicht erreichen, können angenommen und verarbeitet werden, wenn sie sehr homogen sind und sich somit bezüglich Wasseraufnahme und Keimung gleich verhalten (Alvermann, 2014).

Der Vollgerstenertrag aus FF5 und FF6 betrug zwischen 81 % und 88 % vom Kornertrag.

Die Gerste aus FF5 (nach Klee gras und Winterweizen) in Puch erreichte dabei die höchsten Erträge und auch den höchsten Vollgerstenanteil. In Viehhausen betrug der Vollgerstenanteil in FF5 rund 84 %. Die Sortierungen von 2,2-2,5 mm, von 2,5-2,8 mm und größer 2,8 mm sind in den Abb. 19 und Abb. 20 dargestellt. In Viehhausen waren die Unterschiede zwischen FF5 und FF6 gering, signifikant nur in der Fraktion 2,5-2,8 mm. In Puch war der Anteil an Körnern > 2,8 mm in beiden FF höher als in Viehhausen. Körner unter 2,5 mm sind in Viehhausen in FF5 um 3,7, in FF6 um 4,7 Prozentpunkte stärker aufgetreten als in Puch.

Tab. 13: Mittlere Erträge, ertragsbildende Parameter und Rohprotein-Gehalte von Sommergerste in Puch und Viehhausen (2005-2013)

		Kornertrag	Vollgerstenertrag	TKM	Bestandesdichte	Wuchshöhe	Hektoliter	RP-Gehalt
		dt/ha, 86 % TS	dt/ha, 86 % TS, >2.5mm	g	Ähren/m ²	cm	kg/hl	%
Puch	FF5	42,2 A	37,3 A	42,8 A	477 A	73	67,3 A	9,9 NS
	FF6	27,6 B	23,9 B	40,5 B	375 B	62	65,9 B	9,4
Viehhausen	FF5	38,4 a	32,1 a	41,7 a	502 a	80	70,1 ns	10,2 a
	FF6	29,4 b	23,8 b	39,9 b	471 b	73	68,1	9,4 b

Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest je Standort

Die Sommergerste in FF6 (Körnerleguminose – Winterweizen – Sommergerste) zeigte ebenso wie der Winterweizen ungenügende Erträge, eher zu niedrige Rohproteingehalte (RP-Gehalt), am Standort Puch eine um 100 Ähren/m² geringere Bestandesdichte als die Gerste in FF5 (Tab. 13). Das hl-Gewicht ist bei Werten zwischen 64-66 als mittelmäßig (FF6 Puch), ansonsten (> 66 kg) als gut zu bewerten. Diese und folgende Einstufungen der Ergebnisse wurden von Herz et al. (2013) übernommen.

Die Sommergerste als 2. Nachfrucht von Körnerleguminose in FF6 schien nicht mehr genügend Stickstoff zur Verfügung zu haben. Die Sommergerste nach Klee gras und Weizen profitierte von der besseren Vorfruchtwirkung im Vergleich zur Körnerleguminose.

Im Gegensatz zu den Sortierungen und den meisten in Tab. 13 gezeigten Merkmalen unterschieden sich die Qualitätseigenschaften der Braugersten (Tab. 14) zwischen den beiden Fruchtfolgen nicht. Auch die beiden Standorte erzeugten sehr ähnliche Brauqualität (die Mittelwertvergleiche wurden pro Ort einzeln gerechnet).

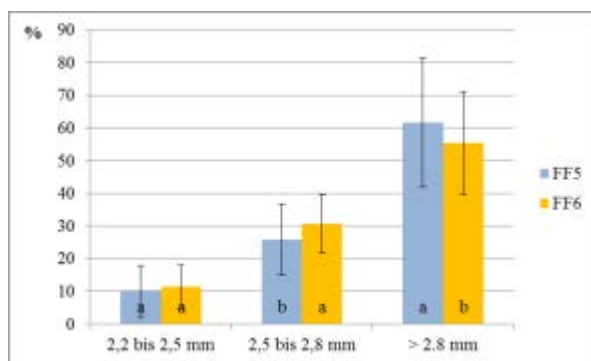


Abb. 19: Sortierung der Sommergerste in Puch. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede nach SNK-Mittelwerttest ($p \leq 0,05$)

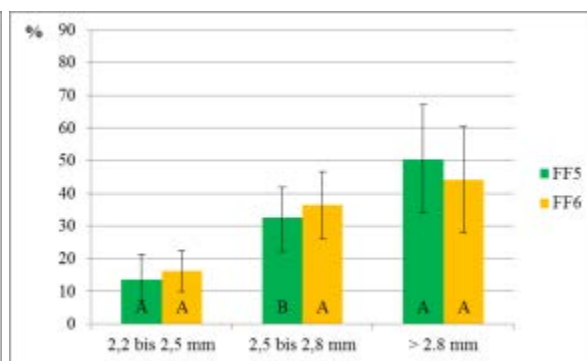


Abb. 20: Sortierung der Sommergerste in Viehhausen. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede nach SNK-Mittelwerttest ($p \leq 0,05$)

Der Friabilimeterwert beschreibt die Malzmürbigkeit. Je höher der Wert, umso besser. Ein Anteil von 90-100 % ist sehr gut, wie er in Tab. 14 mit Ausnahme von FF5 in Viehhausen vorlag. Je niedriger der Friabilimeterwert, umso höher der Anteil an glasigen und teilglasigen Körnern, die den Brauwert des Bieres beeinträchtigen. Der Friabilimeterwert war in FF6 tendenziell höher als in FF5 (nicht signifikant). Der lösliche Stickstoff, also die Stickstoffmenge, die in der Laborwürze in Lösung gegangen ist, hängt ab vom Rohproteingehalt des Malzes, der Lösungsfähigkeit der Gerstensorte und dem Mälzungs- und Maischverfahren. Ein Wert über 700 mg/100 g Malztrockensubstanz (MTS) wird als zu hoch bewertet. Der Eiweißlösungsgrad drückt die Menge an löslichem Stickstoff relativ aus. Je geringer der Rohproteingehalt im Malz, umso niedrigere Werte an löslichem Stickstoff müssen vorliegen, um einen bestimmten Eiweißlösungsgrad zu erreichen. Ein Beispiel aus Narziss & Back, 2012: Ein Eiweißlösungsgrad von 40 % ergibt sich bei einem Rohproteingehalt von 11,5 % und 750 mg löslichem Stickstoff/100 g MTS. Bei nur 9,8 % Rohprotein genügen dafür bereits 580 mg löslicher Stickstoff/100 g MTS.

Tab. 14: Qualitätsuntersuchungen an Malz und Würze

		RP Malz %	Friabili- meter-Wert %	Eiweißlö- sungsgrad %	lösl. N mg/100g Malz	Endvergä- rungsgrad %	Malz- extrakt %
Puch	FF5	9,7 A	90,2 n.s.	50,9 n.s.	813 n.s.	83,4 n.s.	82,5 n.s.
	FF6	8,8 B	95,0	54,4	798	83,8	82,3
Vieh- hausen	FF5	9,9 a	89,0 n.s.	50,3 b	803 n.s.	83,6 n.s.	82,6 n.s.
	FF6	9,2 b	91,6	53,1 a	785	84,1	82,8

Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

Die beiden Fotos (Abb. 21 und Abb. 22) zeigen einen Vergleich des Bestandes in Viehhäusen Mitte Juni. Die Unterschiede in Bestandesdichte und Wuchshöhe sind deutlich erkennbar. Die Gelbfärbung der Pflanzen in FF6 deutet auf mangelnde Stickstoffversorgung hin.



Abb. 21: Sommergerste in FF5 am 15.6.2012 in Viehhäusen



Abb. 22: Sommergerste in FF6 am 15.6.2012 in Viehhäusen

5.4 Kartoffel

Die Kartoffelsorte Agria wurde bereits 1985 als mittelfrühe Speisekartoffel mit Pommes- und Chipseignung zugelassen. Mit Abstand hat Agria mit 711 ha im Jahr 2014 die höchste Vermehrungsfläche in Deutschland, mit knapp 17 ha von 96 ha gesamt in Bayern auch die höchste ökologische Vermehrungsfläche. Ihr Ertrag wird mit 8 (hoch bis sehr hoch) eingestuft. Sie neigt stark zu Übergrößen, die Knollenform ist oval, die Schalenbeschaffenheit genetzt. Der Kochtyp ist vorwiegend festkochend (Bundessortenamt, 2014).

5.4.1 Viehhausen

Am Standort Viehhausen wird die Kartoffel in den Fruchtfolgen FF1-FF4 direkt nach Klee gras angebaut.



Abb. 23: Kartoffelparzelle in Viehhausen am 11.6.2011

Ein wichtiger Einflussfaktor für Ertragsunterschiede zwischen den Fruchtfolgen ist die Nährstoffversorgung, die hauptsächlich durch die Vorfruchtleistung und Düngung bestimmt wird. Grundsätzlich wirkt sich eine unterschiedliche N-Versorgung zu Vegetationsbeginn zunächst auf die Blattbildung aus. Bei sehr guter N-Versorgung kann viel Blattmasse gebildet werden, welche grundsätzlich positiv mit dem Knollenertrag korreliert ist. Je höher der N-Vorrat im Boden, desto länger kann eine gesunde Pflanze das Krautabsterben hinauszögern. Der Stickstoff im Boden wird vor der Knollenbildung hauptsächlich in den Blättern akkumuliert und zum Zeitpunkt der Knollenbildung umverlagert (Möller, 2002). Der Effekt der unterschiedlichen N-Versorgung in den vier Fruchtfolgen, der sich auf die Knollenwachstumsdauer auswirken müsste, wurde in vielen Jahren von *Phytophthora infestans* und sicherlich weiteren Faktoren wie beispielsweise mangelnder Wasserversorgung überlagert. Der Phytophthora-Befall war in den Fruchtfolgen zwar vergleichbar stark, aber er verhinderte vermutlich, dass bezüglich der N-Versorgung bevorzugte Fruchtfolgen ihr Ertragspotenzial ganz ausschöpfen konnten.

Die mittleren Knollenerträge der Jahre 2005-2013 zeigt Abb. 24. Die Erträge waren in FF1 mit 407 dt/ha und FF4 mit 408 dt/ha signifikant höher als in FF2 und FF3 (375 und 365 dt/ha). Sowohl in FF1 als auch in FF4 stand eine hohe Menge an organischer Substanz zu Verfügung. Die Kartoffel in FF1 steht nach zweijährigem Klee gras mit einer höheren N_2 -Fixierleistung als einjähriges Klee gras (Loges et al., 1998) und erhält etwa 90 kg

N/ha in Rindergülle. Das Getreidestroh wird in FF1 nicht abgefahren und trägt somit zur Humusbildung bei.

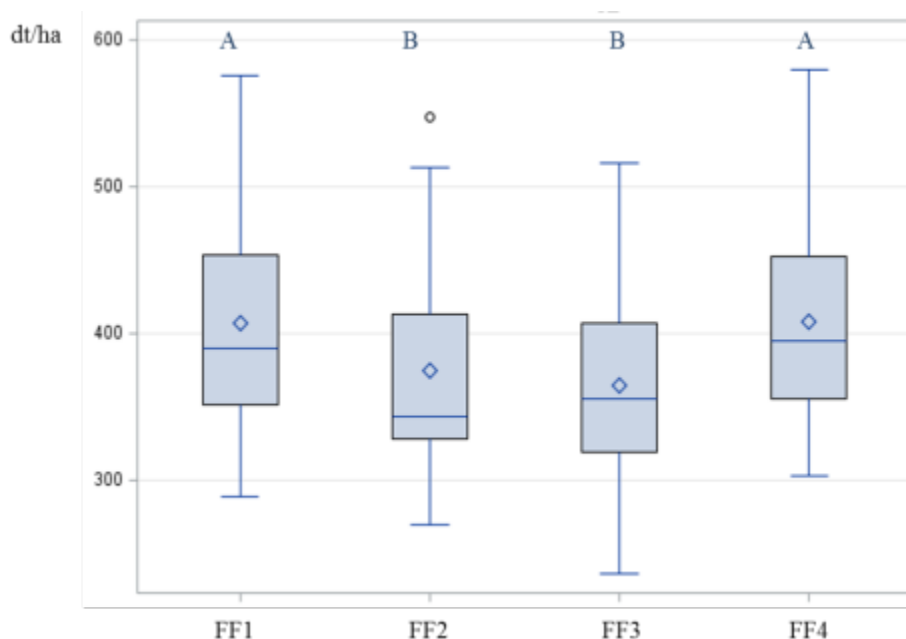


Abb. 24: Mittlerer Knollenertrag der Kartoffel in Viehhausen. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

Die geringen Knollenerträge in FF3 sind zurückzuführen auf die Stellung nach überjährigem Kleeegras sowie auf die organische Düngung in Form von Stallmist. Die Stallmistgabe lag bis einschließlich 2007 bei 20 t (Tab. 2) und wurde erst 2008 auf 30 t erhöht. Der Anteil an schnell verfügbarem Stickstoff beträgt in Stallmist etwa $\frac{1}{4}$ der ausgebrachten N-Menge, was je nach Jahr in der Größenordnung von 24-35 kg N_{schnell} /ha liegt (N_{schnell} ist in Wendland et al. (2012) eine Bezeichnung für den im Anwendungsjahr verfügbaren Stickstoff). Rindergülle dagegen liefert einen Anteil von 60 % N_{schnell} (Wendland et al., 2012), d.h. rund 53 kg N/ha standen den Kartoffeln in FF1 und FF2 zur Verfügung. Der Mehrertrag von FF1 im Vergleich zu FF2 macht die bessere Vorfruchtwirkung eines zweijährigen Kleeegrases im Vergleich zu Überjährigem deutlich. Die Kartoffel in FF4 profitierte von ihrer Vorfrucht, einem gemulchten Kleeegras, das mit einem hohen Trockenmasseertrag von 151 dt/ha TM (Kapitel 5.1.1) ober- und unterirdische Biomasse hinterließ, die den Stickstoffpool-Pool anreicherte (Daten in Kapitel 5.7).

Abb. 25 zeigt, dass die Kartoffelerträge sich zwar zwischen den Fruchtfolgen unterscheiden, jedoch stark den Jahreseffekten unterlagen. Je früher Krautfäule auftritt, also je höher Luftfeuchtigkeit und Niederschläge nach Reihenschluss, umso früher stirbt das Kraut ab und das Ertragspotential kann nicht ausgeschöpft werden. Dieser Zusammenhang ist bei gemeinsamer Betrachtung der jährlichen Knollenerträge in Abb. 25 und den Terminen der ersten Bonitur von *Phytophthora infestans* in Tab. 15 zu erkennen.

Die guten Bedingungen im Jahr 2007 mit einem durchschnittlichen Knollenertrag von 530 dt/ha macht den Ertragseinbruch 2008 besonders deutlich. Ursache dafür war ein Platzregen kurz nach der Pflanzung, der den Boden stark verschlammte sowie die sehr häufigen Niederschläge ab Ende Juni, die den Befall mit *Phytophthora infestans* förderten.

2009 herrschte ebenfalls bereits Anfang Juli ein hoher Phytophthora-Befall, der die Erträge verminderte. Dasselbe gilt für das Jahr 2011, in dem bereits Mitte Juli ein mittel-stark und starker Befall festgestellt wurde. 2010 und 2012 fielen im Mai vermehrt Niederschläge, die eine schlechte Jugendentwicklung und einen verspäteten Reihenschluss nach sich zogen. 2013 herrschten extreme Witterungsbedingungen, d. h. kühle und niederschlagsreiche Witterung im Juni und Mai, und Trockenheit von Mitte Juli bis Mitte August.

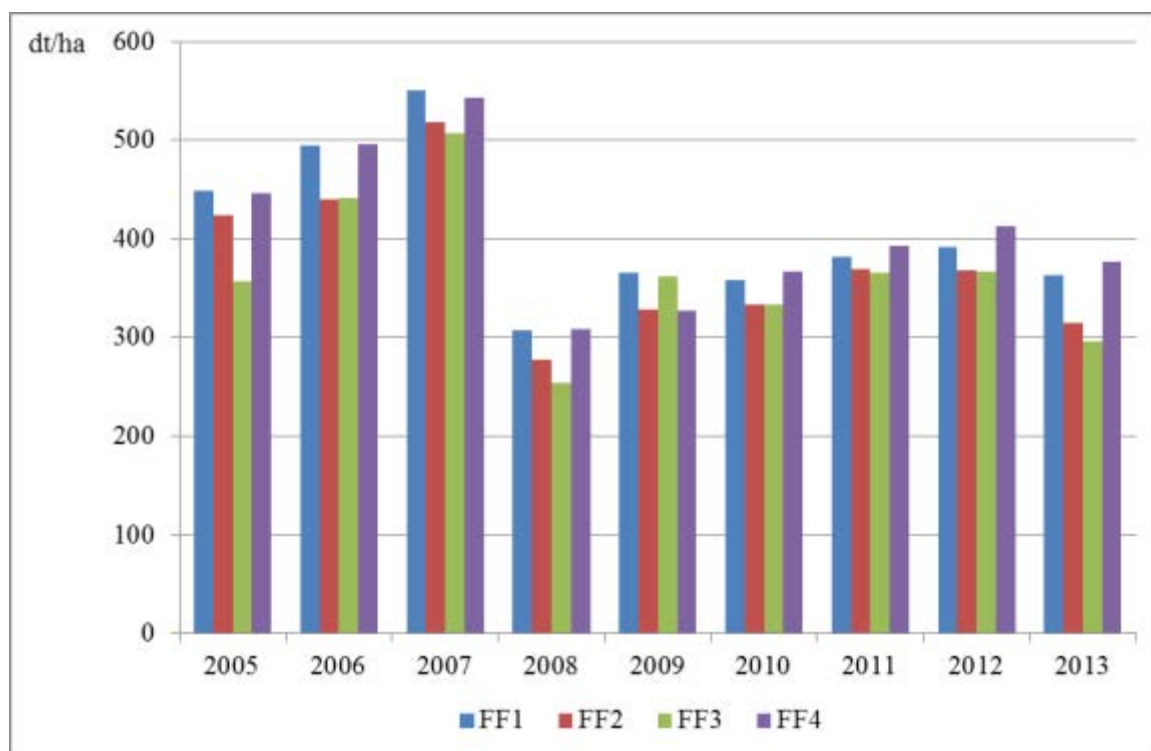


Abb. 25: Knollenertrag pro Fruchtfolge und Jahr in Viehhausen

Tab. 15: Befallsstärke von *Phytophthora infestans* (nach Bundessortenamt, 2000) mit Boniturdatum in Viehhausen 2005-2012 (2013 kein Befall)

	2005		2006	2007		2008		2009		2010	2011	2012		Mittel
	01. Aug	11. Aug	10. Aug	24. Jul	01. Aug	04. Jul	15. Jul	01. Jul	09. Jul	10. Aug	15. Jul	20. Jul	26. Jul	
FF1	5,0	7,0	3,0	5,7	7,7	4,3	7,3	2,7	3,7	4,3	6,0	2,7	3,3	4,8
FF2	3,3	5,7	3,7	5,3	7,7	3,7	7,0	4,0	5,3	3,7	6,3	5,0	6,0	5,2
FF3	2,3	4,0	4,0	6,3	8,3	4,3	7,0	3,3	4,3	3,0	6,0	3,7	4,7	4,6
FF4	2,7	5,0	3,3	5,3	7,7	4,7	8,0	3,7	5,0	5,0	7,0	3,3	5,3	5,1

Die Sortierungen unterschieden sich über die Fruchtfolgen nicht (Tab. 16). Der geringe Anteil an Untergrößen ist positiv zu bewerten. Die Unterschiede im Stärkegehalt waren gering. Es konnte jedoch sowohl ein Fruchtfolgeeffekt ($p > 0,0053$) als auch ein Jahresef-

fekt ($p < 0,0001$) festgestellt werden. Je später der Erntezeitpunkt, umso mehr Stärke kann eingelagert werden. In der Praxis wird deshalb angestrebt, den Rodungstermin auf den Stärkegehalt auszurichten, im vorliegenden Versuch war dies nicht möglich, was die starken Schwankungen zwischen den Jahren erklären kann.

Eine Korrelation zwischen Stärkegehalt und Ertrag war nur schwach ausgeprägt ($R=0,21$).

Tab. 16: Sortierung und Stärkegehalt der Kartoffel (Mittelwerte 2005-2013)

FF	Sortierung < 35 mm %	Sortierung 35-55mm %	Sortierung > 55 mm %	Stärkegehalt %
1	3 n.s.	68 n.s.	29 n.s.	14,6 ab
2	3	68	29	14,9 a
3	3	68	29	14,2 b
4	3	64	33	13,9 b
Jahre n	8	8	8	9

n.s. = nicht signifikante Unterschiede nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

Tab. 17: Mängelbonituren an der Knolle in % (Mittelwerte 2006-2013)

FF	Draht- wurm- löcher	dry core- Lö- cher ¹	Hohl- herzig- keit ¹	Rhizoc- tonia de- formiert ¹	Schorf 5-15 %	Schorf 16-30 %	Schorf 31-45 %	Schorf- index ¹	Wachs- tums- risse ¹	geschä- digte ge- samt ^{1,2}
1	15,4 ns	14,8 b	1,7 ns	2,9 ns	2,8	0,3	0,1	0,5 b	2,3 b	28,1 ns
2	16,8	23,7 a	1,7	3,7	5,9	0,9	0,0	1,2 a	3,5ab	34,6
3	12,1	18,9 ab	1,2	2,9	8,6	1,7	0,1	1,8 a	4,1 a	33,1
4	7,7	13,6 b	1,7	2,8	7,4	1,0	0,1	1,4 a	2,8 ab	25,5
Jahre n	6	6	5	7	8	7	2	8	8	4

Mittelwerte aus Jahren mit Befall, Jahre ohne Befall nicht einberechnet. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest, bei ¹ mit wurzeltransformierten Daten, ²nur Jahre 2010-2013

Die mittleren prozentualen Anteile an Mängeln stellt Tab. 17 dar. Die Anzahl der geschädigten Knollen insgesamt liegt bei etwa 30 % und unterscheidet sich zwischen allen Fruchtfolgen nicht signifikant.

Der Kartoffelanbau in Fruchtfolgen mit mehrjährigem Klee gras wird üblicherweise nicht empfohlen, da eine lange Bodenruhe dem Drahtwurm entgegenkommt (Schepl & Paffrath, 2007). Die mittlere Anzahl an Knollen mit Drahtwurmlöchern in % in unserem Versuch zeigt, dass die Kartoffeln nach zweijährigem Klee gras gegenüber Kartoffeln nach überjähri gem Klee gras nicht benachteiligt waren.

Der mittlere Drahtwurm-Befall schien in Kartoffeln nach gemulchtem Klee gras (FF4) am geringsten zu sein. Die Betrachtung der jährlichen Boniturwerte in Abb. 26 zeigt, dass die

Differenz zu den anderen Varianten hauptsächlich durch das Jahr 2009 verursacht wurde, in dem lediglich 14 % der Probe Drahtwurmlöcher aufwiesen; die Kartoffeln der FF1-FF3 wiesen dagegen zwischen 45-54 % auf. Die Drahtwurm-Boniturwerte pro Wiederholung von FF4 zeigen 2009 extreme Schwankungen: 1. Wiederholung: 40 %, 2. Wiederholung: 0 %, 3. Wiederholung: 2 %. Es wurde vermerkt, dass die 40 bonitierten Knollen aus der ersten Wiederholung nur leicht befallen waren. Es handelte also nicht um einen Erfassungsfehler, sondern kann mit den feuchteren Bedingungen in der ersten Wiederholung im Vergleich zu den beiden leicht höher gelegenen Blöcken begründet werden.

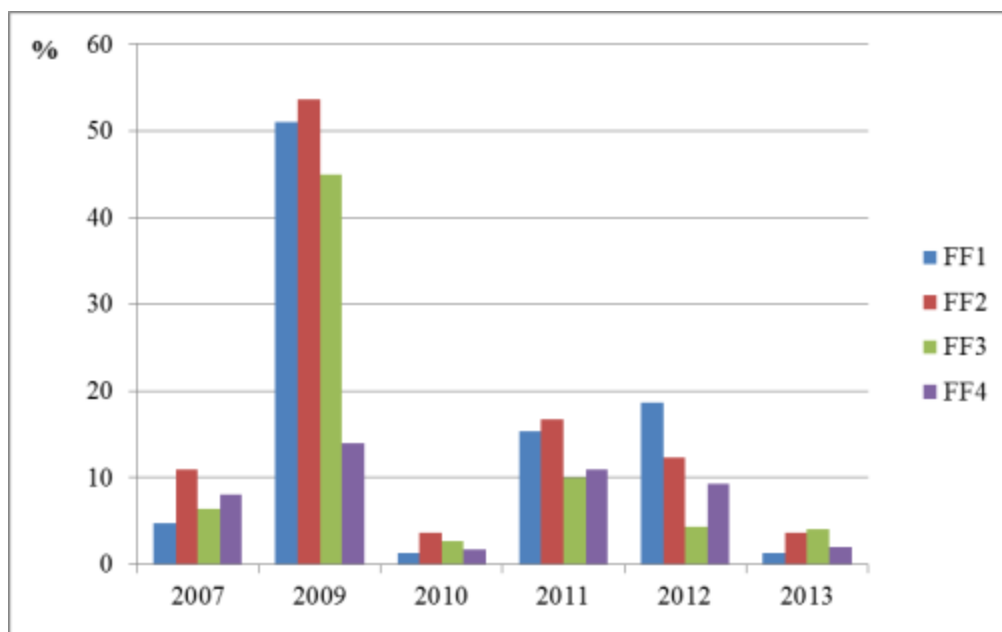


Abb. 26: Prozentualer Anteil an mit Drahtwurm befallenen Knollen pro Jahr und Fruchtfolge in Viehhausen. 2006 und 2008 ohne Drahtwurmbefall

Landzettel & Dreyer (2011) beschrieben das Jahr 2009 als „eines der dramatischsten Drahtwurmjahre in der langjährigen Erfahrung vieler Anbauer“. Als Ursache nennen sie die Niederschlagssituation. 2009 herrschte in den untersuchten Gebieten Trockenheit, was die Kartoffel mit ihrem hohen Wassergehalt für Drahtwürmer attraktiv macht. Diese Erklärung könnte auch für Viehhausen gelten, wo es ab Ende Juli bis in die erste Oktoberhälfte überdurchschnittlich trocken und warm war. Abb. 26 verdeutlicht die extremen Jahreseffekte: 2006 und 2008 gab es keine Drahtwurmlöcher an sämtlichen Proben, 2009 durchschnittlich 40,9 %, 2010 2,3 %, 2011 13,6 %, 2012 11,2 % und 2013 2,8 %. Die Boniturwerte pro Parzelle (Daten nicht dargestellt) zeigen zudem, dass die Drahtwürmer nicht gleichmäßig über die Versuchsfläche verteilt waren. Problematisch ist die Umrandung der Versuchsfläche mit Dauergrünland. Dieses bietet dem Schnellkäfer wie dem Wurm den gewünschten Lebensraum. Die Parzellen, die wegen ihrer Position am rechten oder linken Ende des Blocks an drei Seiten Dauergrünland angrenzen, unterliegen somit anderen Bedingungen als die Parzellen in der Mitte - der Käfer kann hier verstärkt einfliegen und Eier ablegen, die Randreihen hin zu Grasland könnten zudem auch direkt von aus dem Grünland einwandernden Drahtwürmer geschädigt werden.

Grundsätzlich kann dem Drahtwurm durch intensive Bodenbearbeitung und Austrocknung am meisten geschadet werden. Deshalb wird von der Beratung den drahtwurmgefährdeten Kartoffelerzeugern strikt von mehrjährigen Brachen abgeraten und zudem empfohlen, Klee gras nicht in Untersaat in Getreide zu etablieren, da zum einen die Stoppelbearbeitung nach der Getreideernte entfällt und zum anderen das Klee gras den Boden nach der Abreife des Getreides weiter beschattet und damit den Drahtwurm vor Austrocknung schützt. Ein Beispiel der Beratung für eine Fruchtfolge, die die Bedingungen für den Drahtwurm verschlechtern sollte:

Klee gras, mehrstufiger Umbruch im August – Wintergerste, nach der Ernte intensive Bodenbearbeitung – Zwischenfrucht – Kartoffel – Dinkel, nach Ernte intensive Stoppelbearbeitung (Landzettel, mündl. Mitteilung, 2016). Ein Umbruch von Klee gras im August führt jedoch je nach Bodenart und Management zu einer deutlich erhöhten Auswaschungsgefahr von Nitrat (Heß 1989, Drey mann et al., 2005).

Mit Ausnahme von 2011 zeigte die Kartoffel aus FF2 in sämtlichen Jahren den stärksten Befall an dry core-Löchern. Allerdings zeigen die Einzelwerte (Abb. 27), dass der Jahres-effekt sehr hoch war. Die höchsten Mängel durch dry core-Löcher wurden 2009, 2011 und 2012 (Jahresmittel über die Fruchtfolgen: 19,7 %, 31,5 % und 35,5 %) bonitiert.

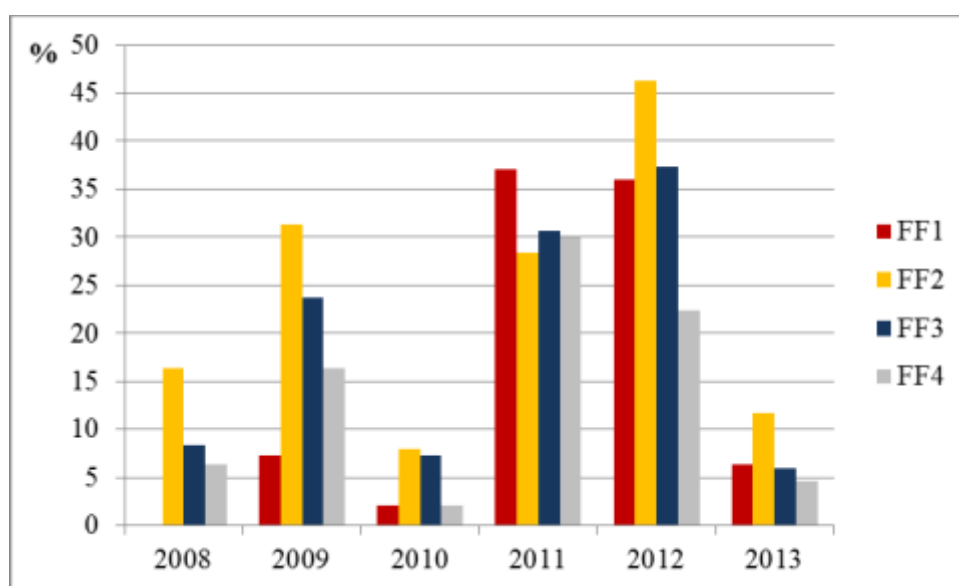


Abb. 27: Prozentualer Anteil an mit dry core-Löchern befallenen Knollen pro Jahr und Fruchtfolge in Viehhausen. 2005, 2006 und 2007 ohne Befall

Keiser (2007) stellte einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Drahtwurm und dem Befall mit dry core-Löchern, einem der Symptome von *Rhizoctonia solani*, fest. Auch Dreyer & Landzettel (2011) untersuchten mit dem Hintergrund der Ergebnisse von Keiser diese Korrelation in ihren Untersuchungen und kamen ebenfalls zu dem Schluss, dass der Drahtwurm nicht nur Lochfraß, sondern auch oberflächliche Verletzungen der Schale verursacht und damit eine Eintrittspforte für *Rhizoctonia solani* schafft. Den Zusammenhang unserer Daten zeigt Abb. 28. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $R = 0,48$ ist dieses Ergebnis vergleichbar mit Dreyer & Landzettel (2011), wobei diese jeder Knolle nur einen Mangel zuordneten. Die Steigung ist sehr hoch signifikant von Null verschieden.

Eine gute N-Versorgung führt zu großen Knollen und damit bei gefährdeten Sorten wie Agria verstärkt zu Wachstumsrissen. Weiter Ursachen sind eine unregelmäßige Wasser-

und Nährstoffversorgung. Die Kartoffel in FF3 (mit Stallmistgabe) neigt etwas stärker zu Wachstumsrisen (Tab. 17), allerdings zeigte sich in den Sortierungen kein Unterschied zu anderen Fruchtfolgen (Tab. 16). Die Mineralisationsraten von Stallmist können sehr unregelmäßig hoch sein, was eine ungleichmäßige Nährstoffzufuhr für die Kartoffel bedeutet. Das führt zu Wachstumsschüben, die wiederum Wachstumsrisse verursachen können.

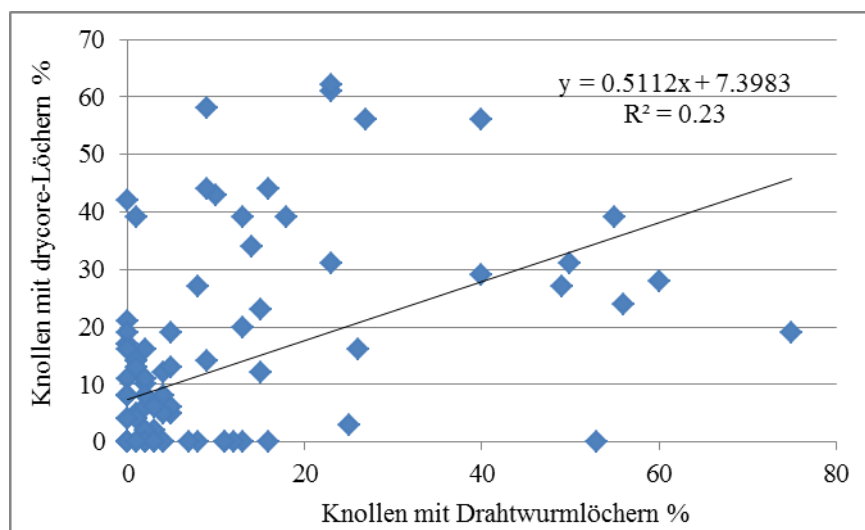


Abb. 28: Zusammenhang zwischen Drahtwurm- und dry core-Löchern (2006-2013)

Der Schorfbefall in den Kartoffeln war in FF1 geringer als in den übrigen Fruchtfolgen ausgeprägt (Tab. 17). Laut Hoffmann und Schmutterer (1983) führt Stallmist zu einem erhöhten Schorfbefall. Ursache in FF3 und FF4 könnten demnach größere Mengen an organischer Substanz als in FF1 sein.

Tab. 18 zeigt die mittleren Boniturnoten aus 3 Jahren, in denen ein Speisewerttest durchgeführt wurde. Da es sich in jeder Fruchtfolge um dieselbe Sorte handelt, ist es schwierig, Unterschiede herauszuschmecken. Geringfügig höhere Mängel im Geschmack traten in FF4 auf. Die geringfügig höhere Mehligkeit in den FF1 und FF2 lässt sich mit den Stärkegehalten erklären (Tab. 16).

Tab. 18: Mittlere Boniturnoten aus dem Speisewerttest (2008, 2009, 2012)

FF	Fleischfarbe	Mehligkeit	Struktur	Mängel im Geschmack	Konsistenz	Feuchtigkeit
1	3,0	2,7	3,4	4,0	4,8	5,3
2	3,3	2,6	3,7	4,1	5,0	5,6
3	3,3	2,0	3,6	4,3	5,1	5,4
4	3,3	2,1	3,6	4,6	5,3	5,6

Zusammenfassend lässt sich sagen: Die beiden Fruchtfolgen FF1 und FF4 erzielten signifikant höhere Erträge als FF2 und FF3. Die Kartoffel in FF1 profitierte von der Vorfruchtwirkung eines zweijährigen Klee-grases und einer Güllegabe. Die unter- und oberir-

dische Biomasse des Klee-grases in FF4 stellte der Kartoffel in FF4 leicht mineralisierbaren Stickstoff zur Verfügung.

Sortierungen unterschieden sich zwischen den Fruchtfolgen kaum, die Stärkegehalte geringfügig. Bezüglich der Mängelbonituren sind starke Jahreseffekte zu erkennen.

Biotischer (z. B. Krautfäule) und abiotischer (Trockenheit) Stress überlagerten oft den Fruchtfolgeeffekt.

5.4.2 Puch

In Puch wird das Klee-gras in FF1 als Untersaat ausgebracht, d.h. im Vergleich zu Viehhausen steht hier das Klee-gras einige Monate länger am Feld. Auch das Klee-gras in FF2 und FF4 wird, wie in Viehhausen, als Untersaat etabliert. Kurz vor dem Pflanzen erfolgt eine Güllegabe in FF1 und FF2, jeweils im Mittel über die Jahre 103 kg N/ha, d.h. rund 62 kg N/ha stehen den Kartoffeln im Anwendungsjahr zur Verfügung (entspricht N_{schnell} nach Wendland et al., 2012). Abb. 29 zeigt die mittleren Knollenerträge. Die Kartoffeln in FF1 erzielen mit 299 dt/ha die signifikant höchsten Erträge. Im Gegensatz zur Rangfolge in Viehhausen schneidet in Puch die Kartoffel nach gemulchtem Klee-gras in FF4 mit 241 dt/ha ertraglich schlechter ab.

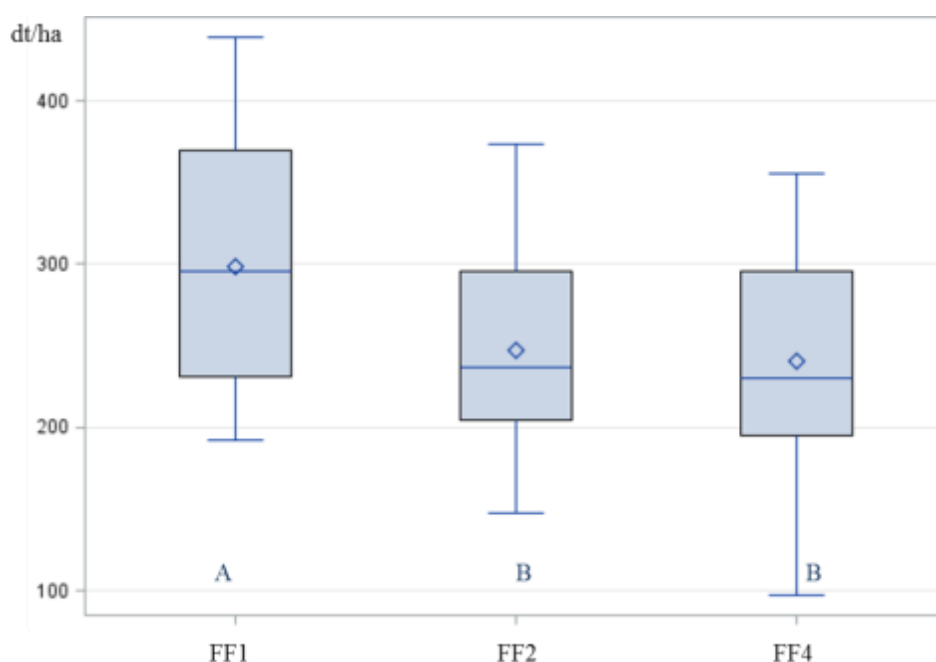


Abb. 29: Mittlerer Knollenertrag in Puch. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest.

Die jährlichen Knollenerträge zeigt Abb. 30. Sie liegen zwischen 137 dt/ha und 394 dt/ha. Die Differenzen zwischen den Fruchtfolgen sind im Jahr 2013 besonders auffällig: 357 dt/ha in FF1, 191 dt/ha in FF2 und 137 dt/ha in FF4. Diese Unterschiede lassen sich anhand der Summe der Trockenmasseerträge der Vorfrucht Klee-gras im Jahr 2012 erklären, die in FF1 82,7 dt/ha, in FF2 64,6 dt/ha und in FF4 nur 35,6 dt/ha betragen. Die Kar-

toffeln in FF1 erreichen jedes Jahr (Ausnahme 2010) die höchsten Erträge, allerdings nicht mit einem so deutlichen Vorsprung wie 2013.

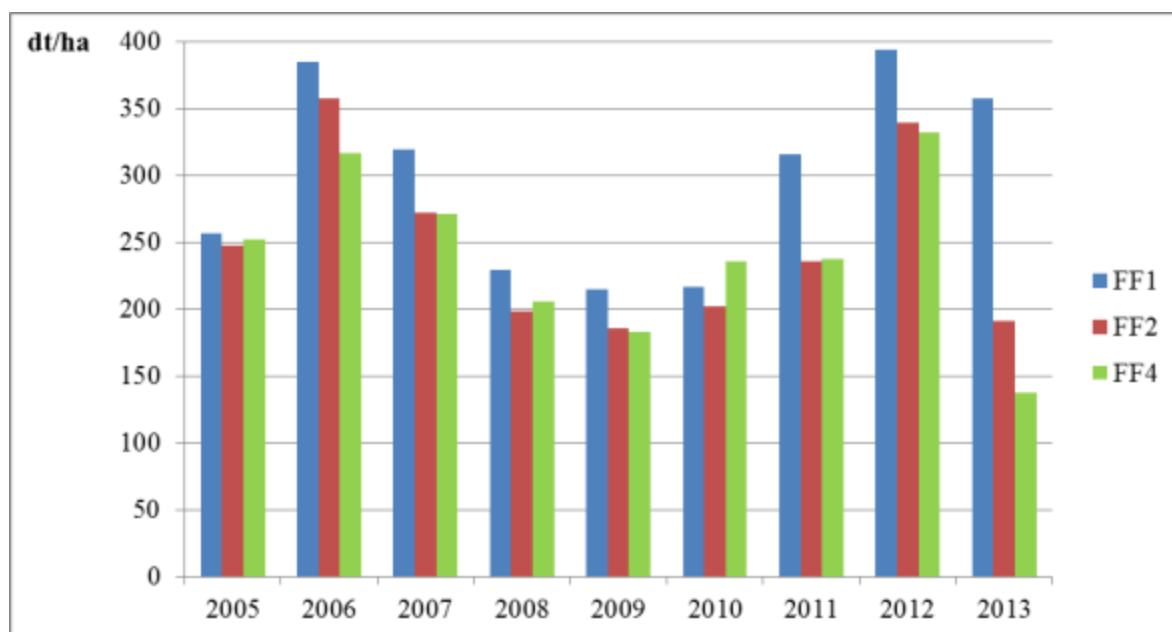


Abb. 30: Knollenertrag in Puch pro Jahr und Fruchtfolge

Die Sortierungen und Stärkegehalte in Tab. 19 unterscheiden sich zwischen den Fruchtfolgen mit Ausnahme der Untergröße nicht. Im Vergleich zu Viehhausen gibt es etwas weniger Übergrößen und mehr Untergrößen.

Tab. 19: Sortierung und Stärkegehalt der Kartoffel (Mittelwerte 2005-2013)

FF	Sortierung < 35 mm %	Sortierung 35-55mm %	Sortierung > 55 mm %	Stärkegehalt %
1	7 a	73 ns	22 ns	14,9 ns
2	10 ab	73	17	14,6
4	11 b	72	16	14,6

n.s. = nicht signifikante Unterschiede nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest

Tab. 20: Mängelbonituren an der Knolle (2012 und 2013) in %

FF	Drahtwurm- löcher	dry- core- löcher	Rhizocto- nia- deformiert	Schorf 5-15 %	Schorf 16-30 %	Schorf 31-45 %	Schorf- index	Wachs- tumsrisse	geschä- digte ge- samt
1	15,3	5,3	6,3	6,3	2,5	0,2	1,8	0,2	43,2
2	6,3	6,2	15,8	16,5	0,5	3,7	4,3	2,8	36,9
4	14,8	5,5	17,3	12,3	1,5	0,0	2,3	2,5	40,2

Die Mängelbonituren in Tab. 20 enthalten nur die Werte aus den beiden Jahren 2012 und 2013 und können daher nicht direkt mit den Bonituren am Standort Viehhausen verglichen werden. Der Gesamtanteil geschädigter Knollen liegt mit etwa 40 % etwas höher als in Viehhausen.

Drahtwurmlöcher schienen in FF2 am geringsten problematisch zu sein. Genauso wie in Viehhausen ist jedoch auch hier ein starker Jahreseffekt unverkennbar. Die dargestellte mittlere Anzahl an befallenen Knollen in % werden hauptsächlich durch das Jahr 2012 bestimmt, in dem in FF1 28,7 %, in FF4 29,0 % und in FF2 12,3 % als drahtwurmgeschädigt bonitiert wurden. 2013 dagegen lag der Befall zwischen 1-2 %. Um eine Aussage treffen zu können, inwieweit sich das unterschiedliche Klee grasmanagement auf die Drahtwurmproblematik an diesem Standort auswirkt, müssen weitere Jahre betrachtet werden.

Dies gilt ebenfalls für alle anderen Merkmale, welche ebenfalls starke Jahreseffekte aufweisen und bzgl. Drycore-Löchern, Schorf und Wachstumsrissen ungefähr den Daten aus Viehhausen entsprechen.

Zur Vervollständigung der Darstellung der Merkmale sind in Tab. 21 die mittleren Boniturergebnisse des Speisewerttests angegeben. Die Werte unterscheiden sich nicht.

Tab. 21: Mittlere Boniturnoten aus dem Speisewerttest (2005-2013, ohne 2012)

FF	Fleischfarbe	Mehligkeit	Struktur	Mängel im Geschmack	Konsistenz	Feuchtigkeit
1	3,8	2,8	3,9	3,8	5,3	5,1
2	3,9	2,9	4,1	3,8	5,1	5,1
4	3,9	2,5	4,0	3,7	5,4	5,1

5.5 Roggen

Der Winterroggen steht in der ersten Fruchtfolge FF1 nach dem Winterweizen und vor dem zweijährigen Klee gras. Da keine der anderen Fruchtfolgen Roggen enthält, kann er nicht verglichen werden. Dennoch zeigen die Ergebnisse, wie leistungsfähig dieses Fruchtfolgefeld mit seiner Stellung 3 Jahre nach Klee gras bezüglich Kornertrag und Backqualität sein kann. Tab. 22 zeigt Kornerträge und weitere Merkmale zur Beschreibung des Korns an beiden Versuchsstandorten.

Tab. 22 Ertrag und Korneigenschaften von Roggen in Viehhausen und Puch
(Mittelwerte 2005-2013, Zahl in Klammern = Anzahl Jahre)

	Korn- ertrag dt/ha 86% TS	TKM g	Sortierung 2,0-2,2mm %	Sortierung 2,2-2,5mm %	Sortierung > 2,5mm %	hl- Gewicht hl/kg
Puch	54,4 (9)	35,1 (8)	3,3 (8)	30,4 (8)	64,6 (8)	77,9 (8)
Vieh- hausen	53,1 (9)	33,2 (9)	4,6 (9)	36,0 (9)	57,5 (9)	78,3 (9)

Das Ertragsniveau an beiden Orten war im Gegensatz zum Winterweizen nahezu identisch. Die Hybridsorte Visello, die seit 2009 angebaut wird, war dabei der Populationssorte Nikita (2005-2008) im Mittel über die beiden Standorte ertraglich um 10,6 dt/ha überlegen.

Das TKM, die Sortierungen und das Hektolitergewicht unterschieden sich im Mittel zwischen den Orten ebenso kaum. Eine Prognose des Backverhaltens liefern die Werte in Tab. 23. Die Amylogrammeinheiten waren an beiden Orten hoch, was sich ungünstig auf das Verbacken auswirkt. Auch die Fallzahlen und die hohe Temperatur bei maximaler Verkleisterung deuten auf geringe enzymatische Aktivität hin.

Tab. 23: Merkmale zur Beschreibung des Backverhaltens von Roggen in Viehhausen und Puch
(Mittelwerte 2005-2013, Zahl in Klammern = Anzahl Jahre)

	Rohprotein- gehalt %	Fallzahl s	Amylogramm- einheiten AE	Verkleisterungs- maximum °C
Puch	7,8 (6)	246 (6)	877 (6)	71,2 (6)
Viehhausen	7,8 (7)	252 (7)	856 (7)	72,2 (6)

5.6 Körnerleguminose

Aufgrund starken Auftretens von Fußkrankheiten bei Erbse und Ackerbohne wurde in Viehhausen und in Puch ab 2004 die Sojabohne als Körnerleguminose in der FF6 gewählt. In Puch entschied man sich wegen der hohen Unkrautproblematik gegen die Sojabohne und stellte ab dem Jahr 2011 wieder auf Ackerbohne um. Tab. 24 stellt die mittleren Ergebnisse der Sojabohne in Puch und in Viehhausen dar.

Tab. 24 Erträge und Qualitätseigenschaften der Sojabohne in Puch und Viehhausen (Mittelwerte 2005-2010 in Puch, 2005-2013 in Viehhausen)

	Kornertrag	Rohprotein- gehalt	Rohprotein- ertrag	Ölgehalt	TKM	Anzahl Jahre
	dt/ha, 86%	%	dt/ha	%	g	n
Puch	16,6	38,2	6,7	21,4	145	6
Viehhausen	36,6	42,7	13,8	19,4	170	9

Der Sojabohnenanbau in Viehhausen gelang deutlich besser als in Puch, wie an dem Mehrertrag von 20 dt/ha zu erkennen ist. Das lag vor allem an dem Mehraufwand zur Unkrautregulierung, der in Viehhausen hauptsächlich per Handhacke erfolgte und an der Umzäunung der den Hasenfraß verhinderte (Abb. 31). An beiden Versuchsstandorten stellte sich Taubenfraß nach der Saat als großes Problem dar, dem in Viehhausen mit Abdeckung erfolgreich begegnet wurde.

Der zusätzliche Aufwand zur Unkrautregulierung in Viehhausen schlägt sich natürlich in den Deckungsbeiträgen nieder, wie in Kapitel 5.12 nachzulesen ist.



Abb. 31: Sojabohne in FF6 in Viehhausen (5.Juli 2010)

Tab. 25 zeigt die Ergebnisse der drei Jahre in Puch, in denen Ackerbohne angebaut wurde. Im Gegensatz zur Sojabohne, deren Ertragsleistung in Puch im Jahr 2010 auf 5,9 dt/ha eingebrochen war, gelang der Ackerbohnenanbau zufriedenstellend.

Tab. 25: Ertrag, TKM, und Rohproteingehalt von Ackerbohne in Puch (2011-2013)

	Kornertrag dt/ha, 86%	TKM g	Rohproteinertrag dt/ha	Rohproteingehalt %
FF6	27,4 (3)	465 (3)	6,5 (2)	30,7 (2)

Zahl in Klammern= Anzahl Jahre



Abb. 32: Ackerbohne (FF6) in Puch Anfang Mai 2012



Abb. 33: Ackerbohne (FF6) in Puch Ende Juli 2012

5.7 Humusgehalt und Humusqualität

Die Gesamtheit der organischen Substanz im Boden wird als Humus bezeichnet. Der Kohlenstoffgehalt in der organischen Substanz variiert innerhalb der Substanzklassen, liegt aber im Durchschnitt bei etwa 50 % (Scheffer & Schachtschabel, 2002). Üblicherweise wird von einem Anteil von 58 % Kohlenstoff an der organischen Bodensubstanz ausgegangen, sodass der C_{org} -Gehalt mit dem Faktor 1,72 multipliziert wird, um den Humusgehalt in % zu berechnen. Die Humusqualität wird anhand des Verhältnisses von organischem Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff (C_{org}/N_t) beschrieben. Je enger das Verhältnis, also je stickstoffreicher ein Boden, umso schneller werden die organischen Stoffe abgebaut. Ein extrem weites Verhältnis führt zur Immobilisation von Stickstoff, d. h. Stickstoff wird in der Körpersubstanz der Bakterien festgelegt (mikrobielle Festlegung) oder in stabile Humusformen umgewandelt (chemische Festlegung) (Amberger, 1996).

Ein aktiver Boden mit einem relativ hohen Humusumsatz ist besonders im ökologischen Landbau ein wichtiges Ziel. Dies setzt eine ausreichende Nachlieferung von organischer Substanz voraus. Sollen Einbußen in der Bodenfruchtbarkeit vermieden werden, sollte auf Mineralböden langfristig ein höherer Umsatz - im Rahmen standorttypischer Gehalte - mit

höheren Humusgehalten verbunden sein. Die tatsächliche Wirkung von Fruchtfolgen oder eine unterschiedliche Nutzung des Klee-grases auf den Humusgehalt und die Humusqualität ist dabei weitestgehend unbekannt. Auf den beiden Versuchsstandorten wurde dies ab Versuchsbeginn untersucht.

Tab. 26: C_{org} - und N_t -Gehalte im Zeitverlauf in Abhängigkeit der Fruchtfolge und des Standortes

	C_{org} (mg C/g)						N_t (mg N/g)					
	Viehhausen			Puch			Viehhausen			Puch		
	1998	2010	2013	1998	2010	2013	1998	2010	2013	1998	2010	2013
FF1	11,2	-	11,8	11,8	-	12,5	1,21	-	1,32	1,30	-	1,37
FF2	11,6	12,7*	12,6 [#]	11,8	12,0	12,3	1,26	1,36*	1,38*	1,28	1,33 [#]	1,36
FF3	11,2	13,3**	13,4***	-	-	-	1,22	1,40**	1,44**	-	-	-
FF4	11,4	12,7**	12,5 [#]	11,9	12,2	12,5	1,25	1,38*	1,39***	1,29	1,35	1,38 [#]
FF5	11,5	12,4	12,7	12,1	12,5 [#]	13,0*	1,26	1,40*	1,42*	1,30	1,39*	1,45*
FF6	11,5	10,8 [#]	11,3	11,7	10,9*	11,0	1,25	1,22	1,27	1,25	1,22 [#]	1,25

signifikante Unterschiede zum Gehalt 1998 (t-Test, [#]= $p < 0,1$, *= $p < 0,05$, **= $p < 0,01$, ***= $p < 0,001$)

Die C_{org} - und N_t -Gehalte entwickelten sich in den Fruchtfolgen unterschiedlich. Am Standort Viehhausen stiegen die C_{org} -Gehalte in den Fruchtfolgen FF2, FF3 und FF4 tendenziell oder signifikant nach zwölf und nach 15 Jahren an (Tab. 26). In Puch lassen sich nur in FF5 signifikante Steigerungen des Humusgehaltes beobachten. In FF6 sanken die C_{org} -Gehalte an beiden Standorten von Versuchsbeginn bis 2010 tendenziell, bzw. in Puch signifikant, stiegen aber zur Messung im Jahr 2013 wieder an auf 1,13 % und 1,10 %, was einem Humusgehalt von 1,94 % und 1,89 % entspricht.

Die N_t -Gehalte in FF3, der Stallmistvariante, die nur in Viehhausen existiert, stiegen genauso wie die C_{org} -Gehalte hoch signifikant von Versuchsbeginn bis 2013 an. Auch in FF2, FF4 und FF5 lassen sich signifikante, in FF4 sogar sehr hoch signifikante Anstiege beobachten. Weniger deutlich sind die Veränderungen der Stickstoffgehalte in Puch. In FF5 stieg der N_t -Gehalt signifikant, in FF2 tendenziell. In FF6 sank der Stickstoffgehalt bis 2010 (n.s.), stieg allerdings wieder bis zur nächsten Probenahme im Jahr 2013 auf das Ausgangsniveau an.

Das Verhältnis von C_{org} zu N_t (Tab. 27) lag nach 15 Jahren mit Ausnahme der FF3 unter dem des Versuchsbeginns, d. h. es wurde enger. In FF1 (nur Viehhausen) und FF6 war diese Verringerung signifikant oder tendenziell. Nach zwölf Jahren konnte dies für alle Fruchtfolgen in Puch, in Viehhausen nur für FF6 statistisch auf dem Niveau von mindestens $p < 0,1$ abgesichert werden.

Tab. 27: C/N - Verhältnis im Zeitverlauf in Abhängigkeit der Fruchtfolge und des Standortes

	Viehhausen			Puch		
	1998	2010	2013	1998	2010	2013
FF1	9,26	-	8,95 [#]	9,09	-	9,17
FF2	9,22	9,30	9,10	9,21	9,02 [#]	9,06
FF3	9,23	9,45 [#]	9,26	-	-	-
FF4	9,11	9,22	8,96	9,23	9,01*	9,03
FF5	9,18	8,86	8,93	9,32	9,00 [#]	8,94
FF6	9,15	8,82**	8,91 [#]	9,38	8,95*	8,80*

signifikante Unterschiede zum Ausgangsgehalt 1998 (t-Test, [#]= $p < 0,1$, *= $p < 0,05$, **= $p < 0,01$)

Auf beiden Standorten konnte eine geringere Leistung bezüglich der Humuswirkung und Stickstoffanreicherung im Boden durch Körnerleguminosen (FF6) im Vergleich zu gemulchtem Klee gras (FF5) beobachtet werden. Zum einen kann das an der geringeren Standzeit einer Körnerleguminose im Vergleich zum Klee gras liegen, weiterhin an der geringeren Fixierleistung sowie der Abfuhr des größten Anteils an Nährstoffen mit der Soja- oder Ackerbohne. Das zurückbleibende Leguminosenstroh verfügt über ein enges C/N, ist sehr proteinreich und wird schnell mineralisiert. Die geringere Vorfruchtwirkung der Körnerleguminose im Vergleich zum Klee gras hat geringere Erträge der nachfolgenden Früchte Winterweizen und Sommergerste zur Konsequenz, d. h. auch die Strohmenge, die am Feld verbleibt, ist niedriger, genauso die Wurzelmasse.

Zwischen den Varianten ein- bzw. zweijähriges Klee gras, Nachfrucht Kartoffel bzw. Gerste (FF4, FF5) und gemulchtem und abgefahretem Klee gras mit organischer Düngung (FF2, FF3, FF4) konnten keine Unterschiede bestimmt werden. Ggf. sind die Laufzeit mit 15 Jahren und/oder die Unterschiede zwischen den Varianten wegen der hohen Anteile der Leguminosen zu gering. Lediglich zwischen den FF3 und FF5 konnte in der Auswertung ein statistischer Unterschied in Viehhausen festgehalten werden. Aufgrund mehrerer Unterschiede zwischen diesen beiden Fruchtfolgen (Klee grasnutzung, Nachfrüchte) ist dies aber schwierig zu interpretieren.

Die Unterschiede zwischen den Standorten in der Entwicklung der Gehalte unterstützen die These nach standorttypischer Humusbilanzierung (Kolbe 2010). In Puch waren die Ausgangswerte für C_{org} und N_t höher als in Viehhausen und die Veränderung fiel im Vergleich geringer aus.

Bei der Interpretation der Daten muss beachtet werden, dass die Lagerungsdichte nicht erfasst wurde. Es wird davon ausgegangen, dass die Lagerungsdichte zwischen den Fruchtfolgen sowie über die Jahre unverändert blieb.

Zusammenfassend lässt sich sagen: In einer Fruchtfolge mit Anbau von Körnerleguminosen alle drei Jahre und Anbau legumer Zwischenfrüchte verringerten sich die C_{org} -Gehalte, während die N_t -Gehalte unverändert blieben. Bei einem Klee grasanteil von mindestens 33 % in der Fruchtfolge erhöhten sich diese Gehalte. Zwischen dem Klee anteil (33 % versus 40 %), der Nutzung des Klee grasses (Mulch versus Abfuhr) und der Nachfrüchte (Kartoffel versus Sommergerste) ergaben sich keine Unterschiede bezüglich der Gehalte.

5.8 $N_{\min}$ im Boden

Beim Klee gras und vor den Körnerleguminosen in FF6 lagen zu Vegetationsende der Leguminosen die $N_{\min}$ -Werte in der Tiefe 0-90 cm im langjährigen Mittel unter 50 kg/ha (Abb. 34, Abb. 35). In Viehhausen waren die $N_{\min}$ -Gehalte der FF5 und in Puch in FF5 und FF6 höher als in den anderen Fruchtfolgen. In Puch konnte dies nur im Vergleich zur FF2 statistisch gesichert werden. Ursache könnte für FF5 in der Mulchnutzung des Klee grasses und der im Vergleich der FF1-FF4 geringere Abfuhr der Nachfrüchte liegen (Abb. 39, Abb. 40). In FF6 sind die relativ höheren $N_{\min}$ -Gehalte in Puch wahrscheinlich auf die rein legume Zwischenfrucht zurückzuführen, während in Viehhausen eine Mischung aus einer legumen und einer nicht-legumen Zwischenfrucht gesät wurde.

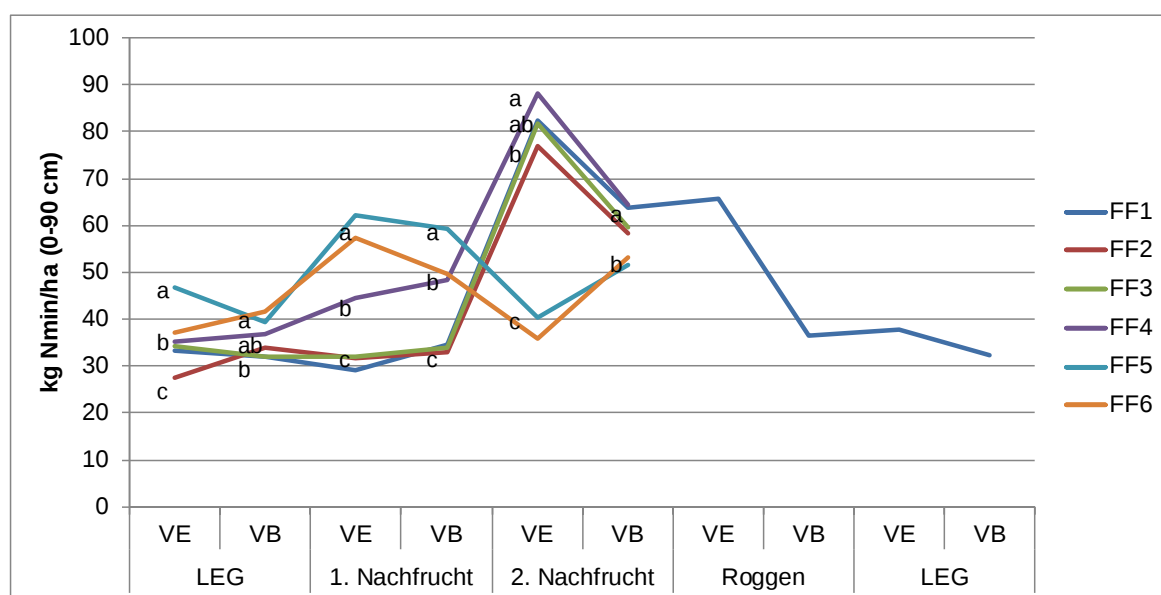


Abb. 34: $N_{\min}$ im Rotationsverlauf in Viehhausen, Mittel aus 2005 bis 2013, VE = Vegetationsende, VB = Vegetationsbeginn, LEG = Leguminosen, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede je Zeitpunkt (SNK-Test, $p < 0,05$)

Letztgenanntes begründet vermutlich auch den deutlichen Anstieg der $N_{\min}$ -Werte in Puch in FF6 zum folgenden Vegetationsbeginn. Auch durch den Kleeriss in FF5 erhöhten sich die $N_{\min}$ -Gehalte auf beiden Standorten und lagen signifikant höher als in FF1 bis FF4 zum Vegetationsbeginn und Vegetationsende der 1. Nachfrucht. Durch einen Kleeriss im Frühjahr in den FF1 bis FF4 sinkt die Gefahr einer Stickstofffreisetzung während der Sickerwasserperiode analog zu früheren Forschungsergebnissen (Heß 1989). Auch in FF6 stiegen die $N_{\min}$ -Werte in FF6 aufgrund des Anbaus von Soja in Viehhausen an bzw. blieben auf einem relativ höheren Niveau als die FF1 bis FF4 in Puch.

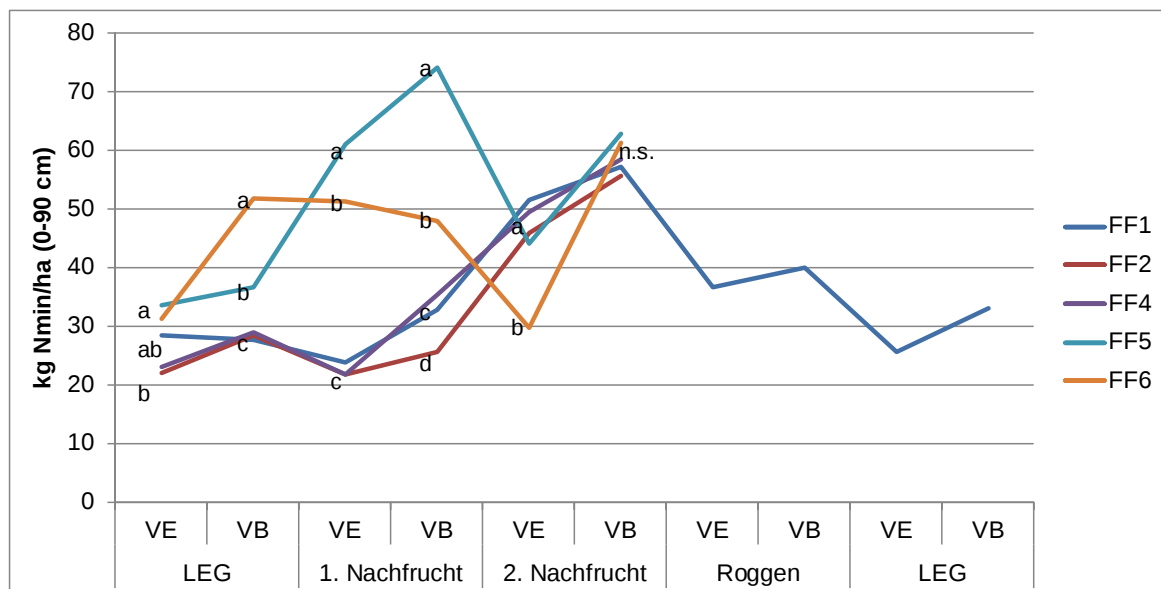


Abb. 35: N_{min} im Rotationsverlauf in Puch, siehe Legende Abb. 34

Erst durch den nachfolgenden Kleeriss in den FF1 bis FF4 und den Anbau von Kartoffeln vergrößerten sich in diesen Fruchtfolgen auf beiden Standorten die N_{min} -Gehalte im Boden zum Vegetationsende der 2. Nachfrucht. Im gleichen Zeitraum reduzierten sich die N_{min} -Werte in den FF5 und FF6 durch den Anbau von Winterweizen und lagen mit Ausnahme der FF5 in Puch signifikant niedriger als in den FF1 bis FF4 mit Kartoffeln. Zum Vegetationsbeginn der 2. Nachfrucht stiegen durch den Anbau einer Zwischenfrucht in den FF5 und FF6 die N_{min} -Gehalte auf beiden Standorten. In Viehhausen lagen die N_{min} -Gehalte zu diesem Zeitpunkt in den FF1 bis FF4 mit Kartoffeln signifikant höher als in FF5 und FF6, während in Puch keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden. In der einzigen fünfjährigen Fruchtfolge (FF1) reduzierten sich die N_{min} -Werte durch den Anbau der 3. Nachfrucht Roggen wieder.

5.9 N_2 -Fixierleistung und N-Bilanzierung

Die höchste N_2 -Fixierleistung der Hauptfrucht wurde in FF2 gefolgt von FF1 (bezogen auf ein Hauptnutzungsjahr) geschätzt (Tab. 28). Die N_2 -Fixierung im Klee gras mit Abfuhr lag um 49 (FF2) bzw. 31 % (FF1, 1. Hauptnutzungsjahr) höher als im gemulchten Klee gras in FF4. Höhere N_2 -Fixierungsraten von geschnittenem im Vergleich zu gemulchtem Klee gras werden in der Literatur in dieser Größenordnung bestätigt (Heuwinkel et al. 2007, Drey mann 2005, Loges et al. 2000). Ursache hierfür ist v. a. ein höherer Grasanteil (vgl. Standort Viehhausen in Kapitel 5.1.1), da durch den schnellverfügbaren Stickstoff aus dem Mulchmaterial v. a. das Graswachstum gefördert wird (vgl. Heuwinkel 2001). Die N_2 -Fixierleistung der Ackerbohne lag zwischen den unterschiedlich genutzten Klee gräsern.

Die N_{min} -Werte im Boden zur Ernte unterschieden sich zur Ernte 2012 zwischen Ackerbohnen und Sommerweizen kaum: Unter Ackerbohnen lagen in der Tiefe von 0-90 cm 2 kg N_{min} /ha mehr vor (Abb. 36). Da auch in anderen Arbeiten sich die N_{min} -Gehalte zwischen Klee gras und Gras bzw. zwischen Körnerleguminosen und Getreide nur wenig un-

terschieden, scheint diese Größe zur Schätzung der N_2 -Fixierung von vergleichsweise untergeordneter Bedeutung.

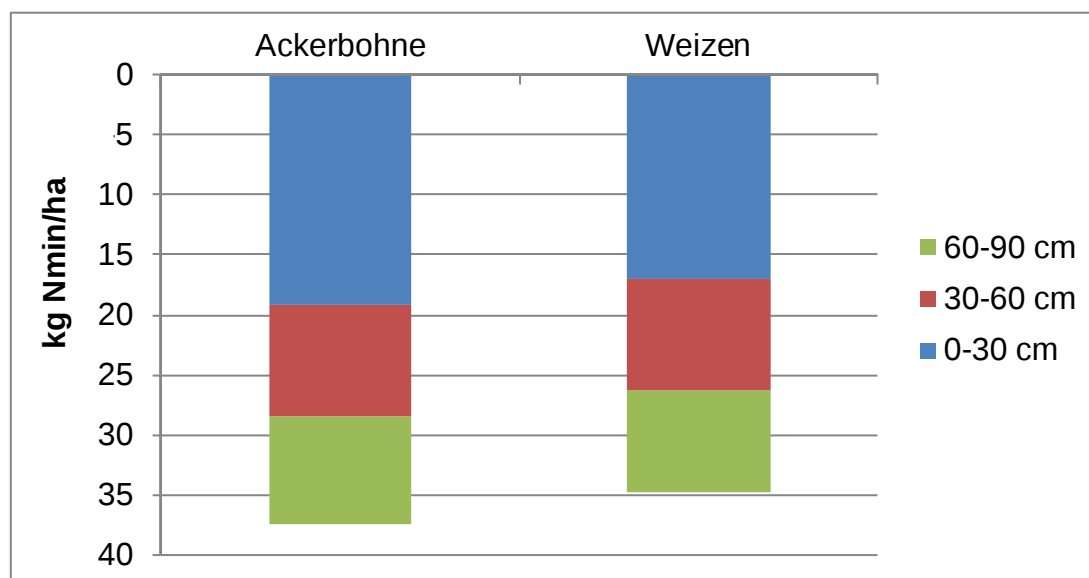


Abb. 36: N_{min} in FF6 auf dem Standort Puch zur Ernte der Kulturen in 2012

Die Fruchtfolgen FF1 und FF2 mit Klee-grasabfuhr hatten bezogen auf ein Jahr mit etwa 120 kg N/ha eine etwa doppelt so hohe N-Zufuhr als FF4, FF5 und FF6 mit 55 bis 77 kg N/ha (Tab. 28, Tab. 29). Neben der höheren N_2 -Fixierleistung ist dies Großteils auf die organische Düngung zurückzuführen.

Tab. 28: Mittlere jährliche N-Zufuhr (2011-2013) pro Fruchtfolge in Puch (kg N/ha und Rotation)

	N_2 -Fixierung Hauptfrucht ¹	N_2 -Fixierung Zwischenfrucht ⁴	organische Düngung	Summe (je Jahr)
FF1	398 ²	0	193	118
FF2	245	0	134	126
FF4	164	0	0	55
FF5	164 ³	22	0	62
FF6	188	43	0	77

¹ = berechnet mit einfacher Differenzmethode, ² = zwei-jähriges Klee-gras, ³ = entspricht Wert in FF4, da Daten in FF5 unvollständig, ⁴ = berechnet nach Ertrag und N_2 -Fixierleistung nach Wendland et al. (2012)

Die höchsten N-Abfuhr wurden ebenfalls für FF1 und FF 2 festgestellt (Tab. 29). Diese lagen mit etwa 150 kg N/ha*Jahr wiederum nahezu doppelt so hoch wie in FF4, FF5 und FF6 mit etwa 80 bis 90 kg N/ha*Jahr. Ursache war hauptsächlich die Abfuhr des Klee-grases, welche 353 kg N/ha in FF1 für zwei Hauptnutzungsjahre und 205 kg N/ha für ein Hauptnutzungsjahr betrug. Trotz ähnlicher Summen unterschieden sich die FF4 und FF5

von der FF6. Der größte Anteil des N-Entzuges in FF6 war auf die Ackerbohnen zurückzuführen, während in FF4 und FF5 die nichtlegumenen Marktfrüchte deutlich höhere N-Entzüge als in FF6 aufwiesen.

Tab. 29: Mittlere jährliche N-Abfuhr (2011-2013) pro Fruchtfolge in Puch (kg N/ha und Rotation)

	Legumi- nose	Kartoffel	Weizen ¹	Gerste ¹	Roggen ¹	Verluste Düngung	Veränderung Bodenpool ²	Summe (je Jahr)
FF1	353	124	102	0	80	34	46	148
FF2	205	89	95	0	0	23	39	151
FF4	0	82	89	0	0	0	59	77
FF5	0	0	86	89	0	0	98	91
FF6	136	0	56	51	0	0	0	81

¹ = Korn + Stroh, ² = Nt-Gehalt im Boden (siehe Kapitel 5.7)

Die N-Bilanz fiel in den Fruchtfolgen FF1, FF2, FF4 und FF5 mit Klee gras mit etwa -20 bis -30 kg/ha*Jahr auf einem vergleichbaren Niveau aus (Abb. 37). In FF6 war die N-Bilanz besser und nahezu ausgeglichen. In einer Arbeit der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft lag die N-Bilanz einer Fruchtfolge mit Klee grasabfuhr und anschließender organischer Düngung mit etwa 10 kg N/ha*Jahr deutlich geringer als bei der gleichen Fruchtfolge mit gemulchtem Klee gras (Beckmann et al. 2001). Auch Schulz (2012) stellte bei einer Fruchtfolge mit gemulchtem Klee gras und Körnerleguminosen im Vergleich zu Klee gras mit Abfuhr und organischer Düngung eine positivere N-Bilanz fest, wobei der Unterschied im Vergleich zu Beckmann et al. (2001) geringer ausfiel. Bei einer Fruchtfolge mit Körnerleguminosen war die N-Bilanz nochmals positiver, vergleichbar mit den Ergebnissen der LfL.

Die Ursache für die widersprüchlichen Ergebnisse könnte in der Dauer der Feldversuche liegen. In der Arbeit aus Sachsen war diese gering. Es wurde direkt nach Versuchsbeginn mit den Messungen angefangen. Schulz (2012) berichtete von Ergebnissen der 2. Rotation bei sechsjährigen Fruchtfolgen, also ab dem 7. Versuchsjahr. Im bayerischen Feldversuch dagegen konnten sich die N-Verfügbarkeit und damit auch die Höhe der N₂-Fixierung über die Jahre einstellen, da ab dem 14. Versuchsjahr gemessen wurde. Diese Parameter sind ein sich selbst regulierendes System, da die N₂-Fixierleistung einer Kultur u. a. entscheidend vom N_{min}-Gehalt im Boden beeinflusst wird: je geringer diese Werte sind, desto höher ist die N₂-Fixierungsrate.

Die leicht negativen N-Bilanzen in den Fruchtfolgen FF1, FF2, FF4 und FF5 mit Klee gras sind aber trotzdem nicht plausibel, da die Erträge der Nicht-Leguminosen stabil sind (für Weizen in Viehhausen vgl. Abb. 38) und die N_t-Gehalte im Boden seit Versuchsbeginn ansteigen (Tab. 26). Daher wird anscheinend die N₂-Fixierleistung des Klee grasses unterschätzt. Entweder ist die N-Menge der Stoppeln und Wurzeln zu gering bewertet worden und/oder es liegt an der verwendeten Methode zur Schätzung der Höhe der N₂-Fixierung. Es ist bekannt, dass die Differenzmethode im Vergleich zu N¹⁵-Methoden die N₂-Fixierleistung teils unterschätzt (Wichmann 2003, Loges et al. 2001).

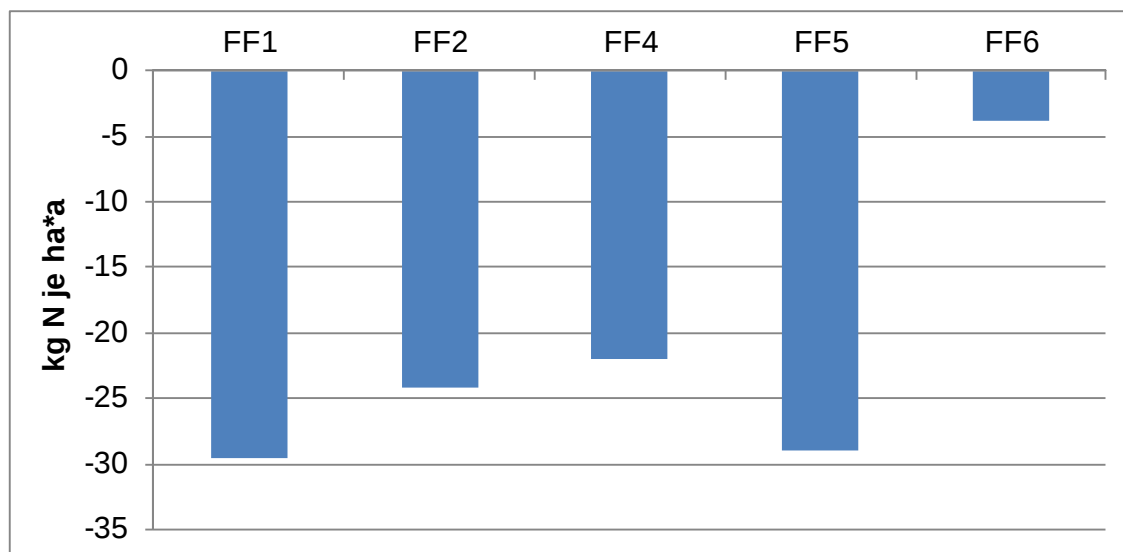


Abb. 37: N-Bilanz in Abhängigkeit der Fruchtfolge in Puch, Mittelwerte aus 2011-2013

5.10 Entwicklung der Weizenerträge über die Versuchslaufzeit

Die Umstellung einer Fläche auf ökologischen Landbau bedeutet je nach Bodengüte einen mehr oder weniger starken Einbruch der Getreideerträge. Ab dem fünften Umstellungsjahr lässt sich nach den Datenerhebungen von Nieberg (2001) ein Aufwärtstrend beobachten. Die Stabilisierung des neuen Systems und die positiven Effekte der ökologischen Bewirtschaftungsweise wie z. B. Humusanreicherung oder eine verbesserte Bodenstruktur sollten sich demnach langfristig bemerkbar machen. Inwieweit das bei welcher der sechs Fruchtfolgen am Versuchsstandort Viehhausen (Umstellung auf ökologischen Landbau fand 1995 statt) der Fall ist, soll die folgende Grafik mit den Kornerträgen von Winterweizen in den sechs Fruchtfolgen ab 1998 (der ersten Ernte nach der Versuchsanlage) bis 2013 zeigen.

Die Kornerträge starten zur ersten Ernte 1998 überdurchschnittlich hoch mit 59,4 dt/ha im Versuchsmittel. Die Vorfrucht vor der Anlage des Versuchs war Erbse. Die organische Düngung führte in den ersten beiden Fruchtfolgen zu Kornerträgen von 71,1 dt/ha (FF1) und 68,1 dt/ha (FF2). Dieses hohe Ausgangsniveau wurde bis 2013 nicht mehr erreicht.

Ab 2005 schien der Weizen in FF1 mit Ausnahme des Jahres 2010 einen Ertragsvorsprung im Vergleich zu den anderen Fruchtfolgen zu erreichen. In den Jahren 2006, 2007 und 2011 erzielte der Weizen in FF1 die signifikant höchsten Erträge.

Der Weizen in FF6 hatte ab 1999 die niedrigsten Erträge, mit Ausnahme von 2002, 2010 und 2012 signifikant. Die Futtererbse als Vorfrucht vor Weizen in FF6 hatte einen niedrigen Ertrag (29,7 dt/ha, 1998), was durch die direkte Vorfrucht Futtererbse im Jahr 1997 bedingt war und erbrachte folglich eine geringe Vorfruchtleistung.

Zwischen den Weizenerträgen der FF2, FF3, FF4 und FF5 gab es sichtbare FF x Jahr – Interaktionen, d. h. die Fruchtfolgen haben auf bestimmte Bedingungen nicht immer gleich reagiert. Ein deutliches Beispiel ist das niederschlagsreiche Jahr 2010, in dem die Weizenerträge von FF1 FF2, FF3 und FF4 im Vergleich zum Vorjahr sanken, in FF5 aber um rund 5 dt/ha und in FF6 um rund 3 dt/ha anstiegen.

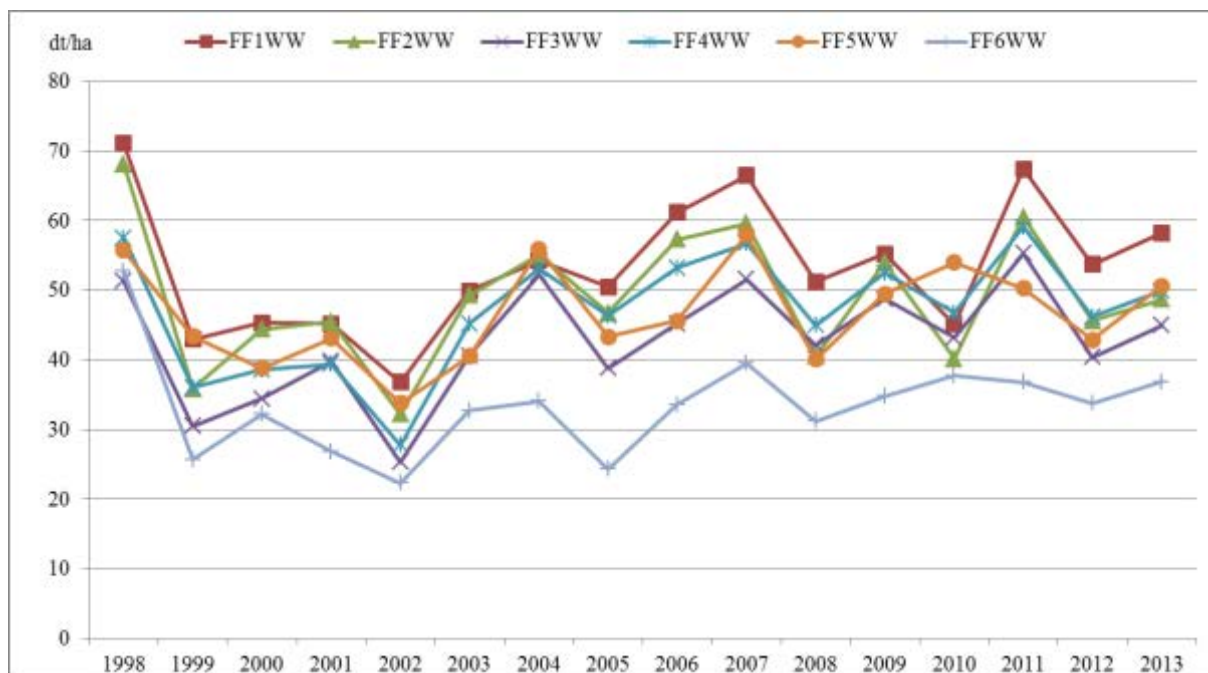


Abb. 38: Entwicklung der Kornerträge (dt/ha, 86 % TS) von Winterweizen seit Versuchsbeginn 1998 bis 2013 in Viehhausen

Eine Zunahme der Kornerträge ab 2002 war am stärksten in FF6 mit einem Bestimmtheitsmaß von 38 % beobachten. Die Steigungen der Erträge in den restlichen Fruchtfolgen sind ebenfalls positiv, allerdings mit geringen R^2 von 3 % (FF2) bis zu 20 % (FF4).

5.11 Getreideeinheiten

Um die Leistung einer gesamten Fruchtfolge zu bewerten, also Erträge unterschiedlicher Fruchtarten addieren zu können, gibt es mehrere Möglichkeiten: Die Trockenmasseerträge, die Stickstofferträge oder die Energieerträge über alle Fruchtarten summieren und den Mittelwert bilden, mit dem man die Fruchtfolgen vergleichen kann. Auch die Umrechnung der Erträge in Getreideeinheiten (GE) macht es möglich, die Leistung verschiedener Fruchtarten zu addieren. Dabei handelt es sich ebenfalls um eine energetische Betrachtung, die das Energieliefervermögen des jeweiligen Ernteprodukts im Verhältnis zu Futtergerste wiedergibt (Schulz, 2012). Die genaue Vorgehensweise zur Umrechnung in Getreideeinheiten ist im Kapitel 4.6 beschrieben.

Tab. 30 zeigt die durchschnittlichen Erträge (2005-2013) in Getreideeinheiten pro ha und Jahr. Das gemulchte Klee gras aus den Fruchtfolgen FF4 und FF5 wurde dabei mit 0 GE bewertet, da es nicht verfüttert oder verkauft wird.

Tab. 30: Mittlere jährliche Getreideeinheiten (2005-2013) pro Fruchtfolge, Hektar und Jahr in Viehhausen

Fruchtfolge	Abfolge der FF	Klee-gras- management	GE/ha
FF1	KG-KG-KA-WW-RW	KG geschnitten und abgefahren	101,3 B
FF2	KG-KA-WW		108,5 A
FF3	KG-KA-WW		107,9 A
FF4	KG-KA-WW	KG gemulcht	55,4 C
FF5	KG-WW-GS		29,4 E
FF6	KL-WW-GS		38,4 D

KG=Klee-gras, KA=Kartoffel, WW=Winterweizen, GS=Sommergerste, KL=Körnerleguminose
Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest.

Das Energieliefervermögen der viehhaltenden Fruchtfolgen mit durchschnittlich 106 GE/ha war mehr als doppelt so hoch wie das der viehlosen Fruchtfolgen mit durchschnittlich 41 GE/ha. Abb. 39 zeigt einmal die durchschnittlichen Getreideeinheiten pro Hektar und Jahr unter Berücksichtigung der Leguminosen (entsprechend den Werten aus Tab. 30), sowie mit den roten Balken die Getreideeinheiten ohne Einberechnung des Klee-grases in FF1, FF2 und FF3 sowie der Körnerleguminose in FF6. Werden alle Leguminosen nicht berücksichtigt, rückt FF4 an die erste Stelle. FF1 steht mit 45 GE/ha an vierter Stelle. FF5 und FF6 enthalten keine Kartoffeln und waren deshalb gegenüber der dritten viehlosen Fruchtfolge, der FF4, bezüglich ihres Energiegehaltes stark im Nachteil.

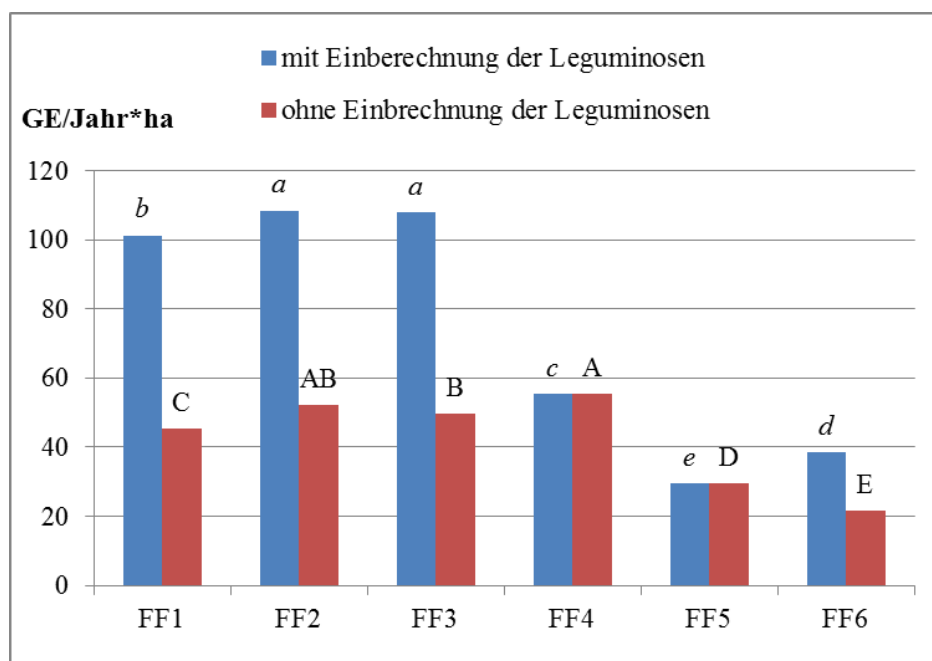


Abb. 39: Durchschnittliche jährlich erzielte Getreideeinheiten pro Hektar und Fruchtfolge in Viehhausen mit und ohne Berücksichtigung der Leguminosen. Unterschiedliche Buchstaben= signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest.

Dieselbe Tabelle und Grafik wurde mit den Daten für Puch erstellt: Tab. 31 zeigt die durchschnittlichen Erträge (2005-2013) in Getreideeinheiten pro ha und Jahr. Das gemulchte Klee gras aus den Fruchtfolgen FF4 und FF5 wurde mit 0 GE bewertet. Im Gegensatz zu Viehhausen unterschieden sich hier FF1 und FF2 nicht. Obwohl der Ertrag der vermarktaren Körnerleguminose in FF6 mit Faktor 1,03 einberechnet wurde, lag das Energieliefervermögen dieser Fruchtfolge nicht höher als das der FF5, bei der das gemulchte Klee gras nicht bewertet wurde. In Viehhausen war die FF6 der FF5 energetisch überlegen, da hier die Erträge der Körnerleguminosen deutlich höher waren.

Tab. 31: Mittlere jährliche Getreideeinheiten pro Fruchtfolge, Hektar und Jahr in Puch

Fruchtfolge	Abfolge der FF	Klee gras- management	GE/ha
FF1	KG-KG-KA-WW-RW	KG geschnitten und abgefahren	76,7 A
FF2	KG-KA-WW		78,1 A
FF4	KG-KA-WW	KG gemulcht	39,5 B
FF5	KG-WW-GS		32,3 C
FF6	KL-WW-GS		28,9 C

Abb. 40 zeigt einmal die durchschnittlichen Getreideeinheiten pro Hektar und Jahr unter Berücksichtigung der Leguminosen (entsprechend den Werten aus Tab. 31), sowie mit den blauen Balken die Getreideeinheiten ohne Einberechnung des Klee grasses in FF1 und FF2 und der Körnerleguminose in FF6. Werden von sämtlichen Fruchtfolgen die Leguminosen nicht einbezogen, unterscheiden sich FF1, FF2 und FF4 nicht signifikant voneinander. FF5, in der keine Kartoffel enthalten ist, die mit ihren hohen Erträgen stark zum Getreide-einheitenenertrag beitragen, liefert signifikant weniger Energie. Schlusslicht mit 20 GE/ha war FF6, in der wegen der geringen Körnerleguminosenerträge auch die Nachfrüchte nur geringe Kornträge erzielen konnten.

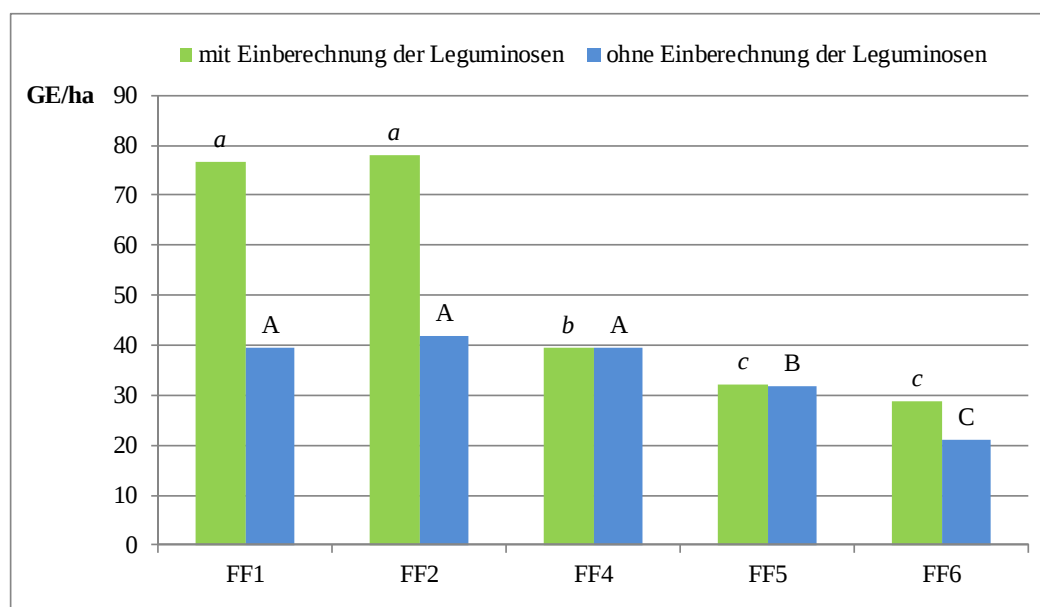


Abb. 40: Durchschnittliche jährlich erzielte Getreideeinheiten pro Hektar und Fruchtfolge in Puch mit und ohne Berücksichtigung der Leguminosen. Unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) nach dem Student-Newman-Keuls Mittelwerttest.

5.12 Ökonomische Betrachtung

Die Tab. 32 bis Tab. 42 zeigen die zusammengefassten Deckungsbeitragsrechnungen aller Fruchtfolgen in Viehhausen und Puch.

Zu den Fruchtfolgedeckungsbeitragsrechnungen in Viehhausen: Mit 4.036 € erzielte FF4 den höchsten Fruchtfolgedeckungsbeitrag je Jahr, den geringsten erreichte FF5 mit 609,70 €. Erwartungsgemäß hatten Fruchtfolgen, die Kartoffeln enthielten (FF1-FF4), höhere Fruchtfolgedeckungsbeiträge (FF-DB) als die beiden Fruchtfolgen FF5 und FF6 ohne Kartoffeln. In FF5 und FF6 verursachte der Zwischenfruchtanbau nicht unerhebliche Kosten, welche sich im Deckungsbeitrag deutlich bemerkbar machten. Die vielfältigen positiven Effekte einer Zwischenfrucht können monetär nicht bewertet werden.

FF1 enthielt zwar auch Kartoffeln auf vergleichbarem Ertragsniveau wie in FF4, der zweijährige Anbau von Klee gras wirkte sich wie auch der Anbau von Weißklee als Zwischenfrucht negativ auf den durchschnittlichen Erlös aus. FF2 und FF3 lagen bei allen drei Kulturen auf einem ähnlichen Ertragsniveau, dementsprechend unterschieden sich die Deckungsbeiträge nur gering. FF6 erzielte zwar bei den Nichtleguminosen geringere DB als FF5. Da Sojabohnen aber ökonomisch sehr attraktiv sind (vgl. Urbatzka et al. 2013), kompensiert dieses Fruchtfolgefeld dies und führt zu einem knapp 250,- € höheren FF-DB je Jahr in FF6.

Auch in Puch erzielten erwartungsgemäß die Fruchtfolgen mit Kartoffeln die deutlich höheren FF-DB. Im Gegensatz zu Viehhausen erreichte jedoch FF2 den höchsten FF-DB mit 2.318 €, wobei die Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen geringer als in Viehhausen ausfielen. Grund hierfür sind in Puch relativ geringere Erträge der Nichtleguminosen im Vergleich zur FF4. In FF1 ist wie in Viehhausen trotz mindestens vergleichbarer Erträge bei Weizen und Kartoffeln der FF-DB v. a. aufgrund des zweijährigen Klee grasses geringer. Die geringeren Fruchtfolge-DB in Puch im Vergleich zu Viehhausen in den Fruchtfolgen mit Kartoffeln sind mit geringeren Kartoffelerträgen zu begründen. Im Gegensatz zu Viehhausen war der FF-DB in FF5 ca. 300,- € höher als in FF6. Dies ist auf die deutlich höheren Sojaerträge in Viehhausen im Vergleich zu Puch und den Anbau von Ackerbohnen in einem Drittel der Auswertungsjahre in Puch zurückzuführen.

An beiden Orten stellt sich die Frage, ob die FF-DB von FF5 und FF6 für eine nachhaltige Betriebsentwicklung ausreichend sind. Wie in der Praxis ebenfalls zu beobachten ist, erhöhen sich FF-DBs mit zunehmendem Hackfruchtanteil oder sinkenden Klee grasanteil (Brache). Je höher die standortspezifische Vorzüglichkeit des Kartoffelanbaus, umso mehr wirkt sich die Erhöhung des Fruchtfolgeanteils zugunsten eines höheren FF-DB aus (Viehhausen höhere FF-DB als in Puch, s.o.).

Die Fruchtfolge-Akh je Jahr waren auf beiden Standorten in den Fruchtfolgen mit Kartoffeln höher als ohne Kartoffeln. In FF1 waren diese aufgrund der fünfjährigen Rotation etwas geringer als in den FF2, FF3 und FF4. Beim Vergleich der Fruchtfolgen ohne Kartoffel war die Arbeitsbelastung auf beiden Standorten in FF5 mit gemulchtem Klee gras etwas geringer als in FF6 mit Körnerleguminose. Dies ist überwiegend auf den Anbau von zwei Zwischenfrüchten in FF6 im Vergleich zu einer in FF5 zurückzuführen.

Der DB vom Klee gras wurde beeinflusst durch das Ansaatverfahren, durch die Ertragshöhe und durch die Nutzung. Die Blanksaat in FF1 und FF5 in Viehhausen verursachte hö-

here variable Kosten als die Untersaat in den FF2, FF3 und FF4. Weiterhin waren die Kosten des gemulchten Kleeegrases höher als bei Schnittnutzung, da ein Verkauf des Aufwuchses ab Halm angesetzt wurde. Da der Verkaufspreis in Höhe von 1,57 € je dt FM nicht die Kosten der Abfuhr der Nährstoffe P und K abdeckte, fielen die DB der FF1, FF2 und FF3 nur gering positiv aus. Die Marktleistung bei gemulchtem Klee gras war hierbei 0,- €; der DB entspricht also den variablen Kosten. Wird die Betrachtung für FF1 bis FF3 nicht auf den Pflanzenbau begrenzt, könnte der gesamtbetriebliche DB bei Einbezug einer Haltung von Wiederkäuern im Vergleich zu dem viehlosen System in FF4 bis FF6 anders ausfallen.

Tab. 32: Deckungsbeitragsrechnung FF1 in Viehhausen (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag			Markt-	variable Kos-	DB	Akh
	dt/ha			leistung	ten		
Klee gras	TM	Güllewert					
1. Jahr	138,6	292,50 €		621,70 €	829,80 €	84,40 €	7,9
Klee gras	TM	Güllewert					
2. Jahr	138,6	292,50 €		621,70 €	829,80 €	84,40 €	7,9
Kartoffel	Vermarktung		Futter				
	406,8	70%	30%	15.617,10 €	4.698,60 €	10.918,50 €	33,5
Winter- weizen	Qualität II		Futterweizen				
	56,6	56%	44%	2.236,60 €	717,70 €	15.18,90 €	8,7
Winter- roggen	Brot		Futter				
	59,0	80%	20%	1.950,50 €	868,50 €	1.082,00 €	8,3
Weißklee Untersaat					- 196,00 €	- 196,00 €	4,5
					Fruchtfolge Summe	13.492,20 €	70,8
					Fruchtfolge je Jahr	2.698,44 €	14,2

Die Kosten für die Saat des Klee grasses sind ebenso wie die Erträge und Akh gleichmäßig auf beide Hauptnutzungsjahre verteilt worden.

Tab. 33: Deckungsbeitragsrechnung FF2 in Viehhausen (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag		Marktleistung		variable Kos-	DB	Akh
	dt/ha				ten		
Kleegras	TM	Güllewert					
	166,2	417,00 €	745,40 €		1.044,00 €	118,40 €	9,8
Kartoffel		Vermarktung	Futter				
	374,9	70%	30%	14.392,40 €	4.586,70 €	9.805,70 €	32,1
Winterweizen		Qualität II	Futterweizen				
	50,4	33%	67%	1.942,00 €	695,30 €	1.246,70 €	8,7
					Fruchtfolge Summe	11.170,80 €	50,8
					Fruchtfolge je Jahr	3.723,60 €	16,9

Tab. 34: Deckungsbeitragsrechnung FF3 in Viehhausen (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag		Marktleistung		variable Kos-	DB	Akh
	dt/ha				ten		
Kleegras	TM	Mistwert					
	171,9	497,00 €	771,00 €		1.073,00 €	170,00 €	9,8
Kartoffel		Vermarktung	Futter				
	364,9	70%	30%	14.008,90 €	4.402,20 €	9.606,70 €	32,2
Winterweizen		Qualität II	Futterweizen				
	45,6	22%	78%	1.737,40 €	578,20 €	1.159,20 €	8,7
					Fruchtfolge Summe	10.935,90 €	50,9
					Fruchtfolge je Jahr	3.645,30 €	17,0

Tab. 35: Deckungsbeitragsrechnung FF4 in Viehhausen (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag dt/ha	Marktleistung		variable Kos- ten	DB	Akh	
Kleegras	-	-		364,80 €	- 364,80 €	11,1	
Kartoffel	407,8	Vermarktung 70%	Futter 30%	15.653,50 €	4.585,70 €	11.067,90 €	32,2
Winter- weizen	50,6	Qualität II 56%	Futterweizen 44%	2.002,80 €	597,90 €	1.404,90 €	8,7
Fruchtfolge Summe					12.108,00 €	52,0	
Fruchtfolge je Jahr					4.036,00 €	17,3	

Tab. 36: Deckungsbeitragsrechnung FF5 in Viehhausen (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag dt/ha			Markt- leistung	variable Kos- ten	DB	Akh
Kleegras	-			-	444,70 €	- 444,70 €	13,1
Winter- weizen	48,3	Qualität II 89%	Futterweizen 11%	1.976,70 €	591,40 €	1.385,30 €	8,7
Sommer- gerste	38,4	Braugerste 79%	Futtergerste 21%	1.774,40 €	679,20 €	1.095,20 €	8,6
Zwischen- frucht					- 206,70 €	- 206,70 €	5,4
					Fruchtfolge Summe	1.829,10 €	34,6
					Fruchtfolge je Jahr	609,70 €	11,5

Tab. 37: Deckungsbeitragsrechnung FF6 in Viehhausen (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag dt/ha	Marktleistung			variable Kosten	DB	Akh
Sojabohne	36,6			2.832,72 €	1.461,80 €	1.370,92 €	10,2
Winter- weizen	36,1	Qualität II 11%	Futterweizen 89%	1.359,20 €	547,40 €	811,80 €	8,7
Sommer- gerste	28,7	Braugerste 88%	Futtergerste 12%	1.358,50 €	614,50 €	744,00 €	8,6
Zwischen- frucht					- 163,50 €	- 163,50 €	5,4
Weißklee Untersaat					- 196,00 €	- 196,00 €	4,5
					Fruchtfolge Summe	2.567,22 €	37,4
					Fruchtfolge je Jahr	855,74 €	12,5

Tab. 38: Deckungsbeitragsrechnung FF1 in Puch (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag dt/ha	Marktleistung variable Kosten				DB	Akk
Kleegras 1. Jahr	TM 92,0	Güllewert 271,60 €		412,80 €	557,70 €	126,70 €	6,8
Kleegras 2. Jahr	TM 92,0	Güllewert 271,60 €		412,80 €	557,70 €	126,70 €	6,8
Kartoffel		Vermarktung 299,0	Futter 70%				
			30%	11.478,60 €	4.323,70 €	7.154,90 €	33,6
Winter- weizen		Qualität II 53,2	Futterweizen 56%				
			44%	2.103,70 €	707,10 €	1.396,60 €	8,7
Winter- roggen		Brot 54,4	Futter 80%				
			20%	1.302,60 €	735,40 €	567,20 €	8,2
					Fruchtfolge Summe	9.372,10 €	64,1
					Fruchtfolge je Jahr	1.874,24 €	12,8

Die Kosten für die Saat des Kleeegrases sind ebenso wie die Erträge und Akh gleichmäßig auf beide Hauptnutzungsjahre verteilt worden.

Tab. 39: Deckungsbeitragsrechnung FF2 in Puch (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag	Marktleistung variable Kosten				DB	Akh
	dt/ha						
Kleegras	TM	Güllewert					
	110,0	375,30 €		493,50 €	749,20 €	117,60 €	9,0
Kartoffel		Vermarktung	Futter				
	248,0	70%	30%	9.520,70 €	4.146,30 €	5.374,40 €	32,1
Winter- weizen		Qualität II	Futterweizen				
	53,1	42%	58%	2.068,40 €	606,40 €	1.462,00 €	8,7
					Fruchtfolge Summe	6.954,00 €	49,8
					Fruchtfolge je Jahr	2.318,00 €	16,6

Tab. 40: Deckungsbeitragsrechnung FF4 in Puch (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag dt/ha	Marktleistung variable Kosten				DB	Akh
Kleegras	-			-	- 306,50 €	- 306,50 €	8,9
Kartoffel		Vermarktung	Futter				
	241,0	70%	30%	9.252,00 €	3.972,10 €	5.279,90 €	32,1
Winter- weizen		Qualität II	Futterweizen				
	48,7	27%	73%	1.863,80 €	589,70 €	1.274,10 €	8,7
					Fruchtfolge Summe	6.247,50 €	49,7
					Fruchtfolge je Jahr	2.082,50 €	16,6

Tab. 41: Deckungsbeitragsrechnung FF5 in Puch (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag dt/ha		Markt- leistung	variable Kos- ten	DB	Akh
Klee gras	-		-	- 306,50 €	- 306,50 €	8,9
Winter- weizen	52,0	Qualität I 14%	Qualität II 60%	Futterweizen 26%	2.125,70 € 603,80 €	1.521,90 € 8,7
Sommer- gerste	42,2	Braugerste 87%	Futtergerste 13%		1.990,60 € 704,90 €	1.285,70 € 8,7
Zwi- schen- frucht				- 163,50 €	- 163,50 €	5,4
				Fruchtfolge Summe	2.337,60 €	31,7
				Fruchtfolge je Jahr	779,20 €	10,6

Tab. 42: Deckungsbeitragsrechnung FF6 in Puch (Bezugsgröße 1 ha)

	Ertrag dt/ha		Markt- leistung	variable Kos- ten	DB	Akh
Sojabohne (2005-2010)	16,6		1.283,30 €	735,60 €	547,70 €	10,6
Ackerbohne (2011-2013)	27,4		1.289,20 €	736,90 €	552,30 €	9,1
Winter- weizen	35,8	Qualität II 15%	Futterweizen 85%	1.351,70 € 547,00 €	804,70 €	8,6
Sommer- gerste	27,6	Braugerste 86%	Futtergerste 14%	1.296,00 € 607,50 €	688,50 €	8,6
Zwischen- frucht				- 163,50 €	- 163,50 €	5,4
Weißklee Untersaat				- 196,00 €	- 196,00 €	4,5
				Fruchtfolge Summe	1.682,93 €	37,2
				Fruchtfolge je Jahr	560,98 €	12,4

6 Schlussfolgerungen

In den Kapiteln 5.1 bis 5.12 wurden die einzelnen Kulturen bezüglich ihres Ertrags und unterschiedlicher Qualitätsparameter pro Versuchsstandort dargestellt. Dazu wurden Veränderungen im Boden und Bewertungen über die gesamte Fruchtfolge gezeigt. Je nachdem, welche Kultur und welche der Parameter betrachtet werden, würde man bestimmten Fruchtfolgen den Vorzug geben. Im Folgenden werden zuerst verschiedene Fruchtfolgen miteinander verglichen:

- Der Anbauerfolg der Leguminosen ist für die gesamte Fruchtfolge entscheidend. Körnerleguminose (FF6) anstatt gemulchtem Klee gras (FF5) führte an beiden Versuchsstandorten zu geringen Erträgen und schlecht ausgeprägten Qualitätseigenschaften des nachfolgenden Getreides. Auch die Entwicklung der Humus- und Stickstoffgehalte (C_{org} , N_t) im Boden waren im Vergleich zu gemulchtem Klee gras schlechter. Bei den Bewertungen über die Fruchtfolge unterschieden sich aber beide Standorte: während in Viehhausen der Fruchtfolgeertrag bei Einbezug der Leguminosen und der Fruchtfolge-Deckungsbeitrag höher mit Soja als Leguminose ausfiel, war dies in Puch aufgrund geringerer Sojaerträge und teilweisen Anbau von Ackerbohnen an Stelle von Soja andersherum.
- Die bessere Vorfruchtwirkung eines zweijährigen Klee grasses (FF1) im Vergleich zu einem einjährigen Klee gras (FF2; beides viehhaltende Systeme mit Abfuhr und Rückführung der organischen Düngung) war an den höheren Knollen- und Weizenerträgen der Nachfrüchte auf beiden Standorten erkennbar. Die Entwicklung der Humus- und Stickstoffgehalte im Boden verlief trotz der unterschiedlichen Klee grasanteile von 40 bzw. 33 % bei beiden Fruchtfolgen vergleichbar. Auch der Fruchtfolgeertrag unterschied sich nicht signifikant. Von der Ökonomie her war aber bei alleiniger Betrachtung des Pflanzenbaus die Fruchtfolge mit einem geringeren Anteil Klee gras lukrativer.
- Beim Vergleich der Fruchtfolgewardung von Klee gras mit Mulchnutzung (FF4) und Abfuhr mit Rückführung über organische Düngung (Gülle, FF2) unterschieden sich die beiden Standorte. In Viehhausen mit insgesamt sehr hohen Klee graserträgen war die Vorfruchtwirkung des gemulchten Klee grasses höher als bei Klee grasabfuhr. Dies zeigte sich überwiegend in der 1. Nachfrucht Kartoffeln. Die unter- und oberirdische Biomasse aus dem gemulchten Klee grasses stellte der Kartoffel anscheinend eine größere Menge an leicht mineralisierbaren Stickstoff zur Verfügung als das abgefahrene Klee gras mit Güllenutzung. Die größeren Kartoffelerträge waren auch die Hauptursache für den höheren Fruchtfolgedeckungsbeitrag bei Mulchnutzung.

Dagegen erreichte in Puch Klee gras mit Abfuhr einen höheren Fruchtfolgedeckungsbeitrag. Dies ist hauptsächlich auf den höheren DB des Klee grasses bei Abfuhr zurückzuführen. Dabei fiel der Klee grasertrag in Puch insgesamt deutlich geringer aus als in Viehhausen. Bzgl. der Erträge der Nachfrüchte gab es in Puch nur geringfügige Unterschiede. Auf beiden Standorten lagen bzgl. der Entwicklung der Humus- und Stickstoffgehalte im Boden und des Fruchtfolgeertrages ohne Einbezug der Leguminosen keine Unterschiede vor.

Beim Einbezug der Fruchtfolge mit Klee grasabfuhr und Stallmist in Viehhausen (FF3) in den Vergleich der Fruchtfolgen mit gemulchtem sowie abgefahrenem und

mit Gülle gedüngtem Klee gras ist eine deutlich größere Menge an Humus, aber auch an Stickstoff im Boden in der Fruchtfolge mit Stallmist festzuhalten. Ökonomisch liegt die Fruchtfolge mit Stallmist knapp hinter der Fruchtfolge mit Gülle an dritter Stelle, da die Erträge bei Kartoffeln analog zu der Fruchtfolge mit Gölledüngung und bei der 2. Nachfrucht Winterweizen im Vergleich zu beiden anderen Fruchtfolgen abfallen. Hierbei sind aber die zu geringen Stallmistgaben in den ersten zehn Versuchsjahren zu beachten.

Im Folgenden werden die einzelnen Kulturen hinsichtlich ausgesuchter Aspekte miteinander verglichen:

- Die Etablierung von Klee gras als Untersaat in die Vorfrucht Getreide brachte am Standort Viehhausen höhere Trockenmasseerträge als die Blanksaat. Auch die Schnittnutzung im Vergleich zu Mulchen führte zu höheren Erträgen und Kleeanteilen. Aus beiden Sachverhalten resultiert eine höhere N_2 -Fixierung des Klee grasses. Eine Untersaat ist allerdings nur bei einer ausreichenden Wasserversorgung, welche auf den Standorten gegeben war, zu empfehlen. Dazu kann eine Beikrautregulierung insbesondere gegen perennierende Unkräuter einer Untersaat entgegenstehen.

Ein weiterer Nachteil einer Untersaat von Klee gras oder Zwischenfrüchten besteht beim Anbau von Kartoffeln bzgl. einer möglichen Schädigung durch Drahtwurm. Durch Beschattung wird das Austrocknen der Bodenoberfläche und eine Stoppelbearbeitung nach der Getreideernte verhindert und damit dem Drahtwurm günstigere Bedingungen verschafft. Unsere Daten konnten diesen Zusammenhang nicht zeigen, trotzdem sollte dies in einer Fruchtfolge mit Kartoffeln bedacht werden.

- Die Kartoffeln erzielten zwar besonders nach zweijährigem Klee gras und nach gemulchtem Klee gras hohe Knollenerträge, die Bonituren der äußeren Mängel in allen Fruchtfolgen zeigten jedoch, dass die Vermarktbarkeit in einigen Jahren nicht zufriedenstellend wäre und folglich der Praktiker die Fruchtfolgegestaltung stärker nach Gesichtspunkten der Kartoffelqualität ausrichten sollte. Der stärkere Schorfbefall in den Varianten mit Stallmist und gemulchtem Klee gras kann der größeren Menge an organischer Substanz zugeordnet werden. Für die Praxis sollte daher der Zeitpunkt der Stallmistgabe (im Versuch direkt vor dem Anbau der Kartoffeln) als auch der Anbau direkt nach gemulchtem Klee gras überdacht werden. Ein Sortenwechsel könnte den Befall mit Schorf ggf. auch vermindern.
- Backweizen konnte nicht in jeder der sechs Fruchtfolgen erzeugt werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit muss im Versuch in jeder der Fruchtfolgen dieselbe Sorte angebaut werden. Andere Weizensorten oder eine andere Getreideart in einer mit Stickstoff weniger gut versorgten Fruchtfolgeposition, wie es insbesondere in der Stellung nach Körnerleguminose der Fall war, sind anzuraten. Fällt die Wahl auf Weizen wäre der Anbau einer qualitätsbetonten Backweizensorte mit einem geringeren Ertragspotential oder der Anbau eines Futterweizens mit höherem Ertragspotential zu empfehlen.

Die Stellung von Backweizen direkt nach gemulchtem Klee gras führte zu guter Backqualität und gleichzeitig zu zufriedenstellenden Erträgen. Anhand der Betrachtung des Rohproteintrages war Weizen nach mehrjährigem Klee gras und Kartoffel (FF1) am erfolgreichsten. Entscheidend für die Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen waren der Zeitpunkt der Verfügbarkeit sowie die Menge an Stickstoff für früh oder spät festgelegte Ertrags- und Qualitätsmerkmale.

Die Ergebnisse der Kulturarten führen zu dem Schluss, dass nicht alle Anforderungen, die unterschiedliche Marktfrüchte stellen, in einer Fruchtfolge erfüllt werden konnten. Es war in den geprüften Fruchtfolgen nicht möglich, jeder Fruchtart bezüglich Ertragsniveau und Qualitätseigenschaften vollständig gerecht zu werden. Die Entwicklung der Weizenerträge und die Humusgehalte über die gesamte Versuchslaufzeit zeigen ebenso wie das Abschneiden der Fruchtfolge mit gemulchtem Klee gras, dass die viehlosen Systeme den viehhaltenden nicht grundsätzlich unterlegen sind, mit Ausnahme der Fruchtfolge, welche anstatt Klee gras eine Körnerleguminose enthält.

Literaturverzeichnis

- Amberger, A., 1996: Pflanzenernährung; Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Alvermann, G., 2014: Qualitätserzeugung von te. <https://www.oekolandbau.de/erzeuger/pflanzenbau/spezieller-pflanzenbau/getreide/gerste/qualitaetserzeugung-von-braugerste/>
- Baresel, J.P., Zimmermann, G., Reents, H.J. (2008): Effects of genotype and environment on N uptake and N partition in organically grown winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Germany. *Euphytica* 163, 347-354.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), 2015: Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe Zuchtrinder Schafe gen. http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_fuetterung_milchkuehe_zuchtrinder_schafe_ziegen_lfl-information.pdf (Abruf 7.12.2015)
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2015: Direktzahlungen. <http://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/foerderung/000958/index.php> (Abruf 8.12.2015)
- Beckmann, U., Kolbe, H., Model, A., Russow, R. (2001), Ackerbausysteme im ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung von N-Bilanz und Effizienzkennzahlen. *UFZ-Bericht* (14), S. 1-138
- Böhm, W., 1997: Biographisches Handbuch zur Geschichte des Pflanzenbaus. K. G. Saur Verlag, München
- Borghi, B., Giordani, G., Corbellini, M., Vaccino, P., Guermandi, M., Toderi, G. (1995): Influence of crop rotation, manure and fertilizers on bread making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Eur. J. Agron.* 4, 37-45.
- Bundessortenamt (Hrsg.), 2000: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover
- Bundessortenamt (Hrsg.), 2014: Beschreibende Sortenliste Kartoffeln 2014. https://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_kartoffeln_2014.pdf (20.1.2016)
- Bundessortenamt, 2014: Beschreibende Sortenliste 2014. <https://www.bundessortenamt.de/internet30/index.php?id=164> (Abruf 4.11.2015)
- Diepenbrock, W., Ellmer, F., Léon, J., 2005: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Doose, O. (1982): Verfahrenstechnik Bäckerei, Gildebuchverlag, Western Germany, 6. Auflage
- Dreyer, W., Landzettel, C., 2011: Forschungsprojekt zur Optimierung der ökologischen Kartoffelproduktion – Auswirkungen der Wurzeltöterkrankheit (*Rhizoctonia solani*) auf die Kartoffelqualität. In: Böhm, H. (Hrsg.): Optimierung der ökologischen Kartoffelproduktion. <http://orgprints.org/19415/> (Abruf 1.3. 2016)

- Dreymann, S., Loges, R., Taube, F., 2005: Schnittgutabfuhr oder Gründüngung? Auswirkung der Klee gras-Nutzung auf Nitrat im Sickerwasser und te. <http://orgprints.org/3700/> (Abruf 9.5.2016)
- Dreymann S., (2005): N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau. Dissertation. Universität Kiel.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2015: Nachwachsende Rohstoffe im Überblick. <http://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/ueberblick/> (Abruf 19.10.2015)
- Felgentreff, U., Otto K.-H., Weissig, F. (2005): Qualitätskriterien zur Beurteilung von Bio-Getreide und Mehl. http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/oeko_lehrmittel/Ernaehrungswirtschaft/Baecker_Konditor/bk_modul_b/bk_b_01/bkmb01_08.pdf (Abruf 22.6.2015)
- Freyer, B., 2003: Fruchtfolgen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Hardy, R. W. F, Holsten H. D., 1975: Methods for measurement of dinitrogen fixation. SectIV.: Agronomy and Ecology John Wiley and Sons, New York, 451-486.
- Heß, J., 1989. Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied „Klee gras-Klee gras-Weizen-Roggen“. Dissertation, Universität Bonn
- Henning, F.-W., 1994: Deutsche Agrargeschichte des Mittelalters. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Herz, M., Nickl, U., Huber, L., Henkelmann, G. (2014): Versuchsergebnisse aus Bayern 2014 – Faktorielle Sortenversuche und produktionstechnische Versuche Gerste; Brauqualität und kornphysikalische gen. <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/ISIP.woa/vb/bericht?nr=65041> (Abruf 28.10.2015)
- Heuwinkel H. (2001): N₂-Bindung in gemulchtem Klee gras: Messmethodik und Fixierleistung. Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.
- Heuwinkel H., Helmert M., Schmidhalter U., Pommer G., Fuchs R. (2007): Bewertung der N-Flüsse in verschiedenen Systemen des Ökologischen Landbaus – Ist viehloser Ökologischer Landbau umweltgerecht und nachhaltig. Endbericht zum Forschungsvorhaben A/01/15
- Hoffmann, G., Schmutterer H., (1999): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- ICC (Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und Getreidetechnologie) (2014): https://www.icc.or.at/standard_methods, Abruf 1.9.2014.
- Kämpf, R., 1978: Fruchtfolgegestaltung im spezialisierten Betrieb. DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- Keiser, A., 2007: Influence of farming system, specific cultivation methods and site parameters on potato quality. Dissertation, ETH-Zürich.
- Kolbe, H., 2008: Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen bau. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13610> (Abruf 16.10.2015)
- Kolbe, H. 2010: Site-adjusted organic matter-balance method for use in arable farming systems. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 678–691

- König, W., 2002: Deutsche. <http://www.braugerstengemeinschaft.de/index.php?StoryID=17> (Abruf 1.12.2015)
- Landzettel, C., Dreyer, W., 2011: Drahtwurmschäden. In: Böhm, H. (Hrsg.): Optimierung der ökologischen Kartoffelproduktion. <http://orgprints.org/19415/> (Abruf 1.3.2016)
- Leisen E., (2003): Ertrag und Futterqualität sowie Fruchtfolge Wirkung verschiedener Klee-Gras-Mischungen auf Öko-Betrieben. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: 477-478.
- Loges, R., Kornher, A., Taube, F., 1998: Ertrag, Futterqualität und N₂-Fixierleistung von Rotklee und Rotklee/Gras. <http://orgprints.org/2173/> (Abruf 21.6.2015)
- Loges, R., Kaske, A., Taube, F., 1999: Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. <http://orgprints.org/2153/> (Abruf 21.6.2015)
- Loges, R., Kaske, A., Ingwersen, K., Taube, F. 2000: Yield, forage quality, residue nitrogen and nitrogen fixation of different forage legumes; IFOAM Scientific Conference Proceedings 13, 83
- Loges, R., Ingwersen, K., Taube, F. (2001): Methodische Aspekte zur Bestimmung der symbiontischen N₂-Fixierungsleistung von Leguminosen]. 45. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Gumpenstein, 23. bis 25. August 2001. Kurzfassungen der Referate und Poster, Seite 29-32, URL: <http://orgprints.org/00002147/> (Abruf 26.2.2016)
- Möller, K., 2002: Wie können die Erträge im ökologischen Kartoffelbau gesichert werden? URL: <http://orgprints.org/1769/> (Abruf 26.2.2016)
- Narziß, L., Back, W., 2012: Die Bierbrauerei: Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- Neugschwandtner, R., Bernhuber, A., Kammlander S., Wagentristsl, H., Kaul, H.P. (2016): Erträge und Stickstoffdynamik von Winterkörnerleguminosen im Vergleich zu Sommerkörnerleguminosen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 26, 78-79.
- Nieberg, H., 2001: Umstellung auf ökologischen Landbau: Wertiert? <http://orgprints.org/860/1/860-nieberg-2001-umstellung-profitabel.pdf> (Abruf 16.2.2016)
- Rath, J., 2013: Bedeutung des Maisanbaues in land. <http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland> (Abruf 28.10.2015)
- Reents, HJ., Müller, C., Siebrecht, N., Kainz, M., Brandhuber, R., 2009: Einfluss des Leguminosen-Managements auf die Anfälligkeit des Bodens gegen on. http://orgprints.org/16109/1/Tagungsband-%C3%96kolandbautag-LfL_2009.pdf (Abruf 4.4.2016)
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., 2002: Lehrbuch der Bodenkunde; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Schepl, U., Paffrath, A., 2007: Erprobung von Strategien zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Landbau. <http://orgprints.org/15722/> (Abruf 1.3.2016)

- Simón, M.R., Cordo, C.A., Perelló, A.E., Struik, P.C., 2003: Influence of nitrogen supply on the susceptibility of wheat to *Septoria tritici*. J. Phytopathology 151, 283-289.
- Schubart, J. C., 1797: Landwirthschaftslehre zum gemeinnützigen Gebrauch für Landwirthe. Nach einem Manuskript aus seinem Nachlaß. Herausgegeben von C. F. R. G. Schubart von Kleefeld (Sohn von J. C. Schubert). Leipzig.
- Schulz, F., 2012: Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen
- Schulz, F., Brock, C., Leithold, G. (2008): Effects of Farm Type and Different Intensities of Soil Tillage on Cash Crop Yields and Soil Organic ter. <http://orgprints.org/11990/> (Abruf 1.12.2014)
- Schulze Mönking S., Klapp C. (2010): Überarbeitung des Getreide- und Vieheinheitenschlüssels. <http://download.ble.de/06HS030.pdf> (Abruf 23.8.2014)
- Seidl, A., 2014: Deutsche Agrargeschichte. DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- Statistisches Bundesamt, 2012: Landwirtschaftlich genutzte Fläche rückläufig, Erntemengen zu. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2012/10/PD12_360_412.html (Abruf 19.10.2015)
- Stein-Bachinger, K., Bachinger J., Schmitt, L. (2004) Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL (Hrsg.), KTBL-Schrift 423.
- Urbatzka, P. (2010): Anbauwürdigkeit normalblättriger Wintererbsen als Winterzwischen- und Druschfrucht in Reinsaat und Gemengeanbau unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Dissertation Universität Kassel, Verlag Dr. Kovač.
- Urbatzka, P., Jobst, F., Schätzl, R., 2013: Anbau von Sojabohnen attraktiv. Naturland Nachrichten 1, 32.
- Vockinger, F., 2013: Analyse der Flächenentwicklung, Anbaustrukturen und Fruchtfolgen ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen Bayerns auf der Basis agrarstruktureller Daten. Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, TU München.
- Wendland, M., Diepolder, M., Capriel, P., 2012: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Freising.
- Wichmann, S. 2003: Ertragsleistung, Futterqualitätsentwicklung, N₂-Fixierung und Vorfruchtwirkung von verschiedenen Körnerleguminosenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Getreide. Dissertation an der Christian-Albrecht-Universität zu Kiel, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung 35, ISSN 1435-2613.