

Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II
Professur für Organischen Landbau

**Vergleich ökologischer Betriebssysteme
mit und ohne Viehhaltung
bei unterschiedlicher Intensität
der Grundbodenbearbeitung**

**Effekte auf Flächenproduktivität, Nachhaltigkeit und
Umweltverträglichkeit**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)
am Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement der
Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Dipl.-Ing. agr. Franz Schulz
Gießen, im Januar 2012

Ich erkläre:

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Der Weg ist das Ziel

Konfuzius

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	XI
Verzeichnis der botanischen Pflanzennamen.....	XIII
1 Einleitung und Zielsetzung.....	1
1.1 Unterschiedliche Betriebssysteme/Fruchtfolgen im Ökologischen Landbau	2
1.2 Reduzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau	4
1.3 Wechselwirkungen Betriebssystem x Bodenbearbeitung	7
1.4 Zielsetzung und Fragestellung.....	8
2 Material und Methoden.....	9
2.1 Versuchsstandort.....	9
2.1.1 Geologie.....	9
2.1.2 Bodeneigenschaften.....	10
2.1.3 Witterung 2004 bis 2009	12
2.2 Versuchsanlage	13
2.2.1 Großparzellenfaktor Betriebssysteme.....	14
2.2.1.1 Gemischtbetrieb mit Viehhaltung – GM-V	16
2.2.1.2 Viehloser Betrieb mit Grünbrache – VL-GB	17
2.2.1.3 Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte – VL-MF	17
2.2.2 Kleinparzellenfaktor Grundbodenbearbeitung	18
2.2.2.1 Krumentiefe Bearbeitung mit dem Pflug – P30	19
2.2.2.2 Zweischichtenpflug – ZP30/15	19
2.2.2.3 Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm – P15.....	19
2.2.2.4 Schichtengrubber plus Rotoregge – SR30/15.....	20
2.3 Probenahme und Analytik	21
2.3.1 Untersuchungen an Pflanzen	21
2.3.1.1 Gewinnung von Pflanzenproben	21
2.3.1.2 Laboranalysen der Pflanzenproben	23
2.3.1.3 Messung des Chlorophyllgehalts.....	23
2.3.1.4 Erhebungen der Segetalflora	24
2.3.2 Untersuchungen des Bodens.....	24
2.3.2.1 Entnahme von Bodenproben	25
2.3.2.2 Laboranalysen der Bodenproben.....	26
2.3.2.3 Messung des Eindringwiderstands	27

2.4	Verwendete Formeln und Koeffizienten	28
2.5	Statistik	31
3	Ergebnisse	33
3.1	Erträge.....	33
3.1.1	Erträge der Einzelkulturen in der 2. Rotation.....	33
3.1.1.1	Hauptfrüchte im Erntejahr 2004.....	33
3.1.1.2	Hauptfrüchte im Erntejahr 2005.....	35
3.1.1.3	Hauptfrucht im Erntejahr 2006.....	37
3.1.1.4	Hauptfrucht im Erntejahr 2007.....	40
3.1.1.5	Hauptfrüchte im Erntejahr 2008.....	42
3.1.1.6	Hauptfrucht im Erntejahr 2009.....	44
3.1.1.7	Zwischenfrüchte 2003/2004 bis 2008/2009	46
3.1.1.8	Zusammenfassung Erträge der Einzelkulturen.....	46
3.1.2	Fruchtfolgeleistungen in der 2. Rotation	47
3.1.2.1	Gesamtsprossmasse	47
3.1.2.2	Marktflechterträge.....	50
3.2	Flächenbezogene Nährstoffbilanzen.....	54
3.2.1	Stickstoffbilanzen	54
3.2.2	Phosphorbilanzen.....	55
3.2.3	Kaliumbilanzen.....	57
3.3	Veränderliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften.....	58
3.3.1	Bewirtschaftungsbedingte Veränderungen des Humusvorrats.....	58
3.3.1.1	Entwicklung der C _{org} - und N _t -Massen seit Versuchsbeginn... ..	59
3.3.1.2	Status der C _{org} - und N _t -Massen am Ende der 2. Rotation.....	65
3.3.1.3	Sensitive Merkmale der organischen Bodensubstanz	67
3.3.2	Bodenphysikalische Eigenschaften	70
3.3.2.1	Trockenrohdichte	70
3.3.2.2	Eindringwiderstand	72
3.3.3	Gehalte an CaCl ₂ -extrahierbarem mineralischen Stickstoff.....	75
3.3.3.1	Vergleich der Betriebssysteme über die 2. Rotation	75
3.3.3.2	Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme über die 2. Rotation	79
3.3.3.3	Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme bei identischen Feldfrüchten in allen 3 Betriebssystemen.....	85
3.4	Effekte auf die Segetalflora	89
3.4.1	Deckungsgrad der Beikräuter im Frühjahr	89
3.4.2	Artenspektrum der Beikräuter im Frühjahr	92
3.4.3	Auftreten von <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. im Frühsommer.....	96
3.4.4	Phytomasse der Beikräuter zur Ernte der Hauptfrüchte	98

4	Diskussion	101
4.1	Erträge.....	101
4.1.1	Effekte der Betriebssysteme	101
4.1.1.1	Einzelerträge.....	101
4.1.1.2	Fruchtfolgeleistungen.....	108
4.1.2	Effekte der Bodenbearbeitungssysteme.....	112
4.1.2.1	Einzelerträge.....	112
4.1.2.2	Fruchtfolgeleistungen.....	118
4.2	Nährstoffeffizienz	121
4.2.1	Stickstoffbilanzen	121
4.2.2	Phosphorbilanzen.....	123
4.2.3	Kaliumbilanzen.....	126
4.3	Veränderliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften.....	128
4.3.1	Einfluss der 3 Betriebssysteme.....	128
4.3.1.1	Humushaushalt	128
4.3.1.2	Bodenphysikalische Parameter.....	132
4.3.1.3	Bodenchemische Parameter	133
4.3.2	Einfluss der 4 Bodenbearbeitungssysteme	135
4.3.2.1	Humushaushalt	135
4.3.2.2	Bodenphysikalische Parameter.....	137
4.3.2.3	Bodenchemische Parameter	139
4.4	Umweltwirkungen	141
4.4.1	Einfluss der 3 Betriebssysteme.....	141
4.4.1.1	N-Dynamik.....	141
4.4.1.2	C-Sequestrierung.....	143
4.4.1.3	Segetalflora.....	144
4.4.2	Einfluss der 4 Bodenbearbeitungssysteme	146
4.4.2.1	N-Dynamik.....	146
4.4.2.2	C-Sequestrierung.....	147
4.4.2.3	Segetalflora.....	147
4.5	Wechselwirkungen	149
5	Schlussfolgerungen.....	151
6	Zusammenfassung.....	154
7	Summary.....	158
	Danksagungen.....	162
	Literaturverzeichnis.....	164
	Anhang	186

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Profilwand einer erodierten Parabraunerde in dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch vom 28.05.2008.....	10
Abb. 3-1: Oberirdische Phytomasse der Einzelfrüchte sowie Gesamt-sprossmasse [dt TM ha ⁻¹] in der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	48
Abb. 3-2: Variation der Massen an organisch gebundenem Kohlenstoff [kg C _{org} ha ⁻¹] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen.....	59
Abb. 3-3: Variation der Massen an Gesamt-Stickstoff [kg N _t ha ⁻¹] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen	60
Abb. 3-4: Entwicklung der C _{org} /N _t -Verhältnisse im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen	61
Abb. 3-5: Variation der Massen an organisch gebundenem Kohlenstoff [kg C _{org} ha ⁻¹] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen	62
Abb. 3-6: Variation der Massen an Gesamt-Stickstoff [kg N _t ha ⁻¹] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen.....	63
Abb. 3-7: Entwicklung der C _{org} /N _t -Verhältnisse im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen.....	64
Abb. 3-8: Trockenrohdichten [g cm ⁻³] im März 2009 in verschiedenen Tiefenstufen in Abhängigkeit von den Betriebssystemen	71
Abb. 3-9: Trockenrohdichten [g cm ⁻³] im März 2009 in verschiedenen Tiefenstufen in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung	72
Abb. 3-10: Eindringwiderstand [MPa] in der Bodenschicht 0 – 80 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen.....	73
Abb. 3-11: Eindringwiderstand [MPa] in der Bodenschicht 0 – 80 cm in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung	74
Abb. 3-12: Gehalte an CaCl ₂ -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha ⁻¹] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 in Abhängigkeit von den Betriebssystemen	76
Abb. 3-13: Gehalte an CaCl ₂ -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha ⁻¹] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 im Betriebssystem GM-V in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen	80

Abb. 3-14: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha ⁻¹] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 im Betriebssystem VL-GB in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen	82
Abb. 3-15: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha ⁻¹] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 im Betriebssystem VL-MF in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen	84
Abb. 3-16: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha ⁻¹] im Mittel aller Betriebssysteme in 3 Bodenschichten im November 2005 und März 2006 unter <i>T. aestivum</i> in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.....	86
Abb. 3-17: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha ⁻¹] im Mittel aller Betriebssysteme in 3 Bodenschichten im Dezember 2006 und März 2007 vor <i>S. tuberosum</i> in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.....	87
Abb. 3-18: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha ⁻¹] im Mittel aller Betriebssysteme in 3 Bodenschichten im November 2008 und März 2009 unter <i>S. cereale</i> in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.....	88
Abb. 3-19: Anzahl der verschiedenen Beikräuter [m ⁻²] in den Jahren 2006 und 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	93
Abb. 3-20: Anzahl der verschiedenen Beikräuter [m ⁻²] im Jahr 2004 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	94
Abb. 3-21: Anzahl der verschiedenen Beikräuter [m ⁻²] in den Jahren 2005 und 2008 in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.....	95
Abb. A-1: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2004 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim.....	187
Abb. A-2: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2005 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim.....	187
Abb. A-3: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2006 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim.....	188
Abb. A-4: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2007 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim.....	188

Abb. A-5: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2008 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim.....	189
Abb. A-6: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2009 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim.....	189
Abb. A-7: Parzellenplan.....	190

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Korngrößenfraktionen des Feinbodens [Äquivalentdurchmesser in μm] nach DIN ISO 11277 in Gew.-%.....	11
Tab. 2-2:	pH-Werte, pH-Klassen, Grundnährstoffe [$\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$] und Gehaltsklassen in der Bodenschicht 0 – 30 cm im Jahr 1998.....	12
Tab. 2-3:	Fruchtfolgegestaltung in der 2. Rotation 2004 – 2009	15
Tab. 2-4:	Beschreibung der 4 Systeme der Grundbodenbearbeitung.....	18
Tab. 2-5:	Ernteverfahren der verschiedenen Feldfrüchte	22
Tab. 2-6:	Methoden der qualitativen Analysen von <i>T. aestivum</i> in 2006.....	23
Tab. 2-7:	Beschreibung der durchgeführten Bodenuntersuchungen	25
Tab. 2-8:	Prüfmethoden der Untersuchungen auf pH-Wert, Haupt- und Mikronährstoffe	27
Tab. 2-9:	Faktoren zur Abschätzung von TM_{EWR} , N_{EWR} -Gehalt und N_{dfa}	29
Tab. 3-1:	Gesamt-Sprossmasseerträge des Luzerne-Kleegras-Gemenges [dt TM ha^{-1}] im Betriebssystem GM-V im Versuchsjahr 2003/2004 in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen	34
Tab. 3-2:	Erträge von <i>A. sativa</i> (Hafer) [dt TM ha^{-1}] im Versuchsjahr 2004 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	35
Tab. 3-3:	Gesamt-Sprossmasseerträge der Luzerne-Kleegras-Gemenge [dt TM ha^{-1}] in den Versuchsjahren 2004 (nur GM-V) und 2005 (GM-V und VL-GB) in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	36
Tab. 3-4:	Erträge von <i>V. faba</i> (Ackerbohne) [dt TM ha^{-1}] im Versuchsjahr 2005 im Betriebssystem VL-MF in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen.....	37
Tab. 3-5:	Erträge von <i>T. aestivum</i> (Winterweizen) [dt TM ha^{-1}] im Versuchsjahr 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	38
Tab. 3-6:	Qualitätsparameter von <i>T. aestivum</i> (Winterweizen) im Versuchsjahr 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	39
Tab. 3-7:	Ertragsparameter von <i>T. aestivum</i> (Winterweizen) im Versuchsjahr 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	40
Tab. 3-8:	Knollenerträge von <i>S. tuberosum</i> (Kartoffeln) [dt FM ha^{-1}] im Versuchsjahr 2007 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	41

Tab. 3-9:	Erträge von <i>T. aestivum</i> (Winterweizen) [dt TM ha ⁻¹] im Versuchsjahr 2008 im Betriebssystem GM-V in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen	42
Tab. 3-10:	Erträge von <i>P. sativum</i> (Erbse) [dt TM ha ⁻¹] im Versuchsjahr 2008 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	43
Tab. 3-11:	Erträge von <i>S. cereale</i> (Winterroggen) [dt TM ha ⁻¹] im Versuchsjahr 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	44
Tab. 3-12:	Ertragsparameter von <i>S. cereale</i> (Winterroggen) im Versuchsjahr 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	45
Tab. 3-13:	Gesamt-Leguminosen- und Gesamt-Nicht-Leguminosen-Sprossmasse [dt TM ha ⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	49
Tab. 3-14:	Summe der Marktfruchterträge [dt TM ha ⁻¹] und mittlere Marktfruchterträge [dt TM ha ⁻¹ a ⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	50
Tab. 3-15:	Nichtlegumer Marktfruchtertrag [dt TM ha ⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	52
Tab. 3-16:	Summe der geernteten Hauptprodukte [dt GE ha ⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	52
Tab. 3-17:	Monetäre Fruchtfolgeleistung [€ ha ⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	53
Tab. 3-18:	N-Bilanzen [kg N ha ⁻¹] und Systemverwertung [%] der 2. Rotation in Abhängigkeit von den Betriebssystemen.....	55
Tab. 3-19:	P-Bilanzen [kg P ha ⁻¹] und Bezug zu Analysen der Grundnährstoffe [kg P ha ⁻¹] in Abhängigkeit von den Betriebssystemen.....	56
Tab. 3-20:	K-Bilanzen [kg K ha ⁻¹] und Bezug zu Analysen der Grundnährstoffe [kg K ha ⁻¹] in Abhängigkeit von den Betriebssystemen	57
Tab. 3-21:	C _{org} - und N _t -Massen [kg ha ⁻¹] und C/N-Verhältnisse [dimensionslos] im März 2009 in den unterschiedlichen Bodenschichten in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	66
Tab. 3-22:	Mikrobielle Biomasse [µg C g ⁻¹ Boden] in der Tiefenstufe 0 – 12 cm im Juni 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	67
Tab. 3-23:	Dehydrogenase-Aktivität [µg INF g ⁻¹ Boden] in verschiedenen Tiefenstufen im Juni 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	68

Tab. 3-24: Dehydrogenase-Aktivität [$\mu\text{g INF g}^{-1}$ Boden] in den Tiefenstufen 0 – 12 cm und 17 – 25 cm im Oktober 2007 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	69
Tab. 3-25: Einstufung der Trockenrohdichte (AD-HOC-AG BODEN, 2005)	70
Tab. 3-26: Physikalisch geleistete Arbeit [Joule] beim Eindringen der Sondierstange des Penetrologgers in die Bodenschicht 0 – 40 cm im März 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	74
Tab. 3-27: Chlorophyllwert [dimensionslos] der Fahnenblätter von <i>S. cereale</i> (Winterroggen) im Mai 2009 in Abhängigkeit von den Betriebssystemen.....	77
Tab. 3-28: Mittelwerte der Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha^{-1}] von jeweils 6 Herbst- und 6 Frühjahrsbeprobungen in der Bodenschicht 0 – 90 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen.....	78
Tab. 3-29: Mittelwerte der Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha^{-1}] von jeweils 6 Herbst- und 6 Frühjahrsbeprobungen in der Bodenschicht 0 – 90 cm in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung.....	85
Tab. 3-30: Beispiele für „Schad-“ oder „Bekämpfungsschwellen“ nach Deckungsgrad der Beikräuter im konventionellen Wintergetreideanbau	89
Tab. 3-31: Beikraut-Deckungsgrad [%] jeweils im Frühjahr in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	91
Tab. 3-32: Beispiele für „Schad-“ oder „Bekämpfungsschwellen“ nach Anzahl der Beikräuter im konventionellen Wintergetreideanbau	92
Tab. 3-33: Oberirdische Phytomasse von <i>C. arvensis</i> (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) [kg TM ha^{-1}] jeweils im Juni in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	97
Tab. 3-34: Phytomasse von Beikräutern im Luzerne-Klee gras und im Stroh der Druschfrüchte [dt TM ha^{-1}] und Wuchshöhe der Spätverunkrautung in <i>S. tuberosum</i> [cm] in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung.....	99
Tab. A-1: Gehalte an Mikronährstoffen [mg kg^{-1}] und Gehaltsklassen in der Bodenschicht 0 – 30 cm im Jahr 1998.....	186
Tab. A-2: Gehalte an C_{org} , N_t und Humus [%] sowie $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_t$ -Verhältnis in 3 Bodenschichten im Jahr 1998	186
Tab. A-3: Beschreibung der eingesetzten Maschinen	191
Tab. A-4: Beschreibung der eingesetzten Traktoren.....	192
Tab. A-5: Bereifung der eingesetzten Traktoren.....	192

Tab. A-6: Fruchtfolgegestaltung in der 1. Rotation 1998 – 2003	193
Tab. A-7: Aussaatdaten der angebauten Früchte.....	194
Tab. A-8: Beschreibung der eingesetzten Versuchsmaschinen.....	195
Tab. A-9: Ackerbauliche Maßnahmen im Betriebssystem GM-V	196
Tab. A-10: Ackerbauliche Maßnahmen im Betriebssystem VL-GB	197
Tab. A-11: Ackerbauliche Maßnahmen im Betriebssystem VL-MF	198
Tab. A-12: Nährstoffgehalte [kg t^{-1} FM] des gedüngten Rottemists in den Jahren 2006 und 2008	199
Tab. A-13: Differenzierte Maßnahmen der Bodenbearbeitung in der 2. Rotation von 2004 – 2009.....	200
Tab. A-14: Sprossmasseerträge und Ertragsanteile [dt TM ha^{-1}] der Einzelschnitte von Luzerne-Klee gras im Betriebssystem GM-V im Versuchsjahr 2003/2004 in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen	202
Tab. A-15: Sprossmasseerträge und Ertragsanteile [dt TM ha^{-1}] der Einzelschnitte von Luzerne-Klee gras im Versuchsjahr 2005 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	203
Tab. A-16: Sprossmassebildung [dt TM ha^{-1}] der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	204
Tab. A-17: Detaillierte Input-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der 2. Rotation für das Betriebssystem GM-V	205
Tab. A-18: Detaillierte Output-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der 2. Rotation für das Betriebssystem GM-V	206
Tab. A-19: Detaillierte Input-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der 2. Rotation für das Betriebssystem VL-GB	207
Tab. A-20: Detaillierte Output-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der 2. Rotation für das Betriebssystem VL-GB	208
Tab. A-21: Detaillierte Input-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der 2. Rotation für das Betriebssystem VL-MF	209
Tab. A-22: Detaillierte Output-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der 2. Rotation für das Betriebssystem VL-MF	210
Tab. A-23: Trockenrohdichten [g cm^{-3}] im Mai 2006 in verschiedenen Tiefenstufen in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung	211

Abkürzungsverzeichnis

a	annus (Jahr)
AB	Ackerbohnen
AF	Ackerfläche
BBCH	Bayer BASF Ciba-Geigy Höchst
C	Kohlenstoff
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CAL	Calcium-Acetat-Lactat
C _{org}	Organischer Kohlenstoff im Boden
C _t	Gesamt-Kohlenstoff im Boden
cv.	cultivar (Sorte)
DG	Deckungsgrad
DHA	Dehydrogenase-Aktivität
ΔC _{org}	Betrag der Zu- bzw. Abnahme des organischen Kohlenstoffs im Beobachtungszeitraum
ΔN _t	Betrag der Zu- bzw. Abnahme des Gesamt-Stickstoffs im Beobachtungszeitraum
dt	Dezitonne
ER	Erbsen
EWR	Ernte-Wurzelrückstände
FM	Frischmasse
GE	Getreideeinheit
GM-V	GeMischtbetrieb mit Viehhaltung
GPS	Ganzpflanzensilage
GV	Großvieheinheit
HA	Hafer
HES	statische Humuseinheiten-Methode nach LEITHOLD et al. (1997)
HF	Hauptfutterfläche
hl	Hektoliter
HNJ	Hauptnutzungsjahr
HUMOD	Modellbasierte Humusbilanzmethode nach BROCK et al. (2008)
INF	Iodonitrotetrazoliumformazan
K	Kalium
KA	Kartoffeln
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
lfm.	laufender Meter
LKG	Luzerne-Klee gras
LSD	Least Significant Difference (kleinste signifikante Differenz)
M	Mean (Mittelwert)

MBM	Mikrobielle Biomasse
Mg	Megagramm = 1000 kg = 1 t
MPa	Megapascal
N	Stickstoff
NE	Northeast (Nordost)
NEL	Netto-Energie-Laktation
NH ₄	Ammonium
NN	Normal Null
NO ₃	Nitrat
N _{dfa}	Nitrogen derived from the atmosphere (Anteil der symbiontischen N-Bindung aus der Luft am Gesamt-N-Gehalt der Pflanze)
N _{min}	Summe aus Nitrat- und Ammoniumstickstoff
N _t	Gesamt-Stickstoffgehalt im Boden
P	Phosphor
P15	Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm – auch mit Pflug
P30	Konventioneller Pflug – Bearbeitungstiefe 30 cm
PE	Polyethylen
SE	Standard Error (Standardfehler)
sec	Sekunde
SR30/15	Schichtengrubber + Rotoregge – lockern bis 30 cm, mischen bis 15 cm
SW	Southwest (Südwest)
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
TRD	Trockenrohdichte des Bodens [g cm ⁻³]
US	Untersaat
VL-GB	ViehLoser Betrieb mit GrünBrache
VL-MF	ViehLoser Betrieb nur MarktFrucht
Wdh.	Wiederholung
WR	Winterroggen
WW	Winterweizen
ZF	Zwischenfrucht
ZP30/15	Zweischichtenpflug – lockern bis 30 cm, wenden bis 15 cm
Ø	Durchschnitt = Mittelwert

Verzeichnis der botanischen Pflanzennamen

<i>Agrostemma githago</i> L.	Kornrade
<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. B.	Gemeiner Windhalm
<i>Avena sativa</i> L.	Hafer
<i>Beta vulgaris</i> var. <i>altissima</i> L.	Zuckerrübe
<i>Buplerurum rotundifolium</i> L.	Rundblättriges Hasenohr
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	Gemeines Hirtentäschel
<i>Chenopodium album</i> L.	Weißer Gänsefuß
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Ackerkratzdistel
<i>Equisetum arvense</i> L.	Ackerschachtelhalm
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	Wiesenschwingel
<i>Galium aparine</i> L.	Klettenlabkraut
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	Sojabohne
<i>Hordeum vulgare</i> L.	Gerste
<i>Lamium purpureum</i> L.	Rote Taubnessel
<i>Lolium multiflorum</i> Lamk.	Welsches Weidelgras
<i>Lolium perenne</i> L.	Deutsches Weidelgras
<i>Matricaria maritima</i> L.	Geruchlose Kamille
<i>Medicago sativa</i> L.	Luzerne
<i>Papaver rhoeas</i> L.	Klatschmohn
<i>Phleum pratense</i> L.	Wiesenlieschgras
<i>Pisum sativum</i> L.	Erbse
<i>Poaceae</i> Barnhart	Süßgräser
<i>Polygonum persicaria</i> L.	Flohknöterich
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Hederich
<i>Raphanus sativus</i> L.	Ölrettich
<i>Secale cereale</i> L.	Roggen
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Kartoffel
<i>Stellaria media</i> L.	Vogelmiere
<i>Trifolium pratense</i> L.	Rotklee
<i>Trifolium repens</i> L.	Weißklee
<i>Triticum aestivum</i> L.	Weizen
<i>Veronica persica</i> Poiret	Persischer Ehrenpreis
<i>Vicia faba</i> L.	Ackerbohne
<i>Vicia sativa</i> L.	Sommerwicke
<i>Viola arvensis</i> Murray	Feldstiefmütterchen
<i>Zea mays</i> L.	Mais

1 Einleitung und Zielsetzung

Mit der World-Soil-Charter (FAO, 1982) wurde auf internationaler Ebene bereits im Jahr 1981, auf der 21. Sitzung der FAO, auf die besondere Bedeutung des Bodens für die weitere Existenzfähigkeit der Menschheit hingewiesen. Auf nationaler Ebene hob die damalige Bundesregierung in der Bodenschutzkonzeption (BUNDESMINISTERIUM DES INNERN, 1985) vom 07.03.1985 die Funktionen des Bodens hervor. Er dient u. a. als Anbaufläche für Kulturen zur Erzeugung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen, als Grundwasserspeicher, als Erholungsraum und als Träger der Natur- und Kulturgeschichte. Eine Landwirtschaft wird als ordnungsgemäß bezeichnet, wenn sie die Bodenfruchtbarkeit insbesondere durch Aufrechterhaltung eines geordneten Nährstoff- und Humushaushalts dauerhaft sichert.

Die Bodenschutzkonzeption mündete 13 Jahre später in dem Bundes-Bodenschutzgesetz (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1998). In § 17 (2) werden explizit die Fruchtfolgegestaltung und die Bodenbearbeitung in ihrer Bedeutsamkeit für die Böden erwähnt. Zu den Grundsätzen der landwirtschaftlichen Bodennutzung sollte eine nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens gehören.

Im Rahmen der Cross Compliance-Regelungen wird einer ausgeglichenen Humusbilanz besondere Bedeutung beigemessen (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2003). Da der Ökologische Landbau als umwelt- und ressourcenschonende Wirtschaftsweise gilt, scheint er besonders geeignet, die gesetzlichen Vorgaben zu erfüllen.

Um eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit zu erreichen, nennt KLOEPFER (2007) hauptsächlich die beiden ackerbaulichen Maßnahmen Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung. Auch FREYER (2003a) sieht beides für den Ökologischen Landbau als besonders wichtig an, da kurative Maßnahmen bei auftretenden Problemen im Pflanzenbestand kaum möglich sind.

In einer Praktikerbefragung, die CHRISTEN (2008) zitiert, nannten die Befragten die Bodenbearbeitung und die Fruchtfolgegestaltung als wichtigste Zukunftsthemen des Ackerbaus. Ebenfalls in einer Befragung von SCHMIDT (2004) unter Beratern, die ca. 42 % aller deutschen Ökobetriebe betreuen, wurde mehrfach ein Forschungsbedarf bezüglich der beiden Themenfelder genannt.

Im Ökolandbau ist die Frage der Fruchtfolgegestaltung eng mit dem Betriebssystem, d. h. mit oder ohne Viehhaltung, verknüpft. Im Folgenden werden daher die Spezifika verschiedener Betriebssysteme mit unterschiedlichen Fruchtfolgen dargestellt. Außerdem werden die Probleme der Grundbodenbearbeitung, speziell der reduzierten Grundbodenbearbeitung, im Ökologischen Landbau erläutert.

1.1 Unterschiedliche Betriebssysteme/Fruchtfolgen im Ökologischen Landbau

Die Anfänge der Ökologischen Landwirtschaft im engeren Sinne beruhen auf dem anthroposophisch geprägten Gedankengut Rudolf Steiners, das er in den Koberwitzer Vorträgen 1924 darlegte. STEINER (1996) sieht die Landwirtschaft als einen in sich selbst geschlossenen Kreislauf an mit besonderer Bedeutung der Tierhaltung. Auch HAUG (1974) hält die Viehhaltung in biologisch-dynamischen Betrieben für unerlässlich und empfiehlt einen Umfang von 1 GV ha⁻¹, mindestens aber so viel wie zur Nutzung der „fruchtfolgetechnisch erforderlichen Feldfutterschläge unbedingt nötig ist“. Folgerichtig ist eine Zertifizierung von landwirtschaftlichen Betrieben nach Demeter-Richtlinien (FORSCHUNGSRING FÜR BIOLOGISCH-DYNAMISCHE WIRTSCHAFTSWEISE, 2008) ohne die Einbindung von Wiederkäuern oder sonstigen Raufutterfressern nicht möglich. Die Untergrenze liegt bei 0,2 GV ha⁻¹. Weder die EU-Bioverordnung noch die Richtlinien der anderen Bioverbände schreiben die Tierhaltung obligatorisch vor.

Aufgrund zahlreicher Vorteile ist der klassische Biobetrieb ein Gemischtbetrieb mit Viehhaltung. So stellt die symbiontische N₂-Fixierung der legumen Feldfutterschläge die wichtigste N-Quelle für ökologisch bewirtschaftete Betriebe dar (STEINBACHINGER et al., 2004). Außerdem können die Tiere für den Menschen unverdauliches Pflanzenmaterial nutzbar machen. Über die Verfütterung schnittgenutzten legumen Feldfutters lassen sich organische Dünger erzielen, die dann als flexibler N-Pool für die nichtlegumen Früchte zur Verfügung stehen (DREYMAN et al., 2003). Die positive Wirkung des Stallmistes ist nach SCHELLER (2002) durch keine andere Maßnahme zu ersetzen. Zahlreiche Dauerfeldversuche belegen den günstigen Einfluss tierischen Düngers auf die Erträge (KOLBE et al., 2003; REINICKE & CHRISTEN, 2007; LIPAVSKÝ et al., 2008) und verschiedene Bodenparameter (MANOJLOVIĆ et al., 2008). Darüber hinaus hat Feldfutter in der Fruchtfolge einen bedeutenden Einfluss auf das Beikrautaufkommen. Durch die häufige Schnittnutzung wird die Segetalflora in ihrer Entwicklung gestört. Nach Luzerne-Klee gras stellte SPRENGER (2005) einen geringeren prozentualen Auflauf von Ackerwildpflanzen aus der Diasporenbank fest. Sie fand weniger blühende Individuen, was auch zu einer Reduzierung des Diasporeneintrags und –potentials für die Nachkultur führte.

Trotz der genannten Vorteile trauten sich mit dem ersten staatlichen Extensivierungsprogramm (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 1988) ab 1989 vermehrt konventionelle viehlose Betriebe, auf Ökolandbau umzustellen (VOGT-KAUTE, 2004). JÄGER (2004) erwähnt, dass in den letzten Jahren viehlose Betriebe den Hauptanteil der Neueinsteiger in den Ökolandbau in Bayern stellen, und SCHMIDT (2004) fasst eine Beraterumfrage zum viehlosen Öko-Ackerbau dergestalt zusammen, dass im Durchschnitt mehr als 20 % der betreuten Betriebe viehlos wirtschaften.

Als Gründe für ein Betriebssystem ohne oder mit geringem Viehbesatz nannten die Berater zum einen die Tatsache, dass schon vor der Umstellung kein Vieh vorhanden war. Auch wurden die hohe Arbeitsintensität und ein mangelndes Interesse der BetriebsleiterInnen an der Viehhaltung als Hinderungsgründe genannt.

Zum anderen wird die Tierhaltung im Zuge des Klimawandels sowohl von der Öffentlichkeit (WEILER, 2009), als auch in wissenschaftlichen Fachkreisen (POPP et al., 2010) zunehmend kritisch gesehen. So ist die Erzeugung pflanzlicher Nahrungsmittel weniger energieaufwändig als die von tierischen Produkten. Vom eingesetzten Stickstoff im Futter verbleiben nur 24 – 30 % im verzehrbaren Endprodukt (STEINBACHINGER et al., 2004). Ethische Gründe, die gegen eine Tierhaltung im herkömmlichen Sinn sprechen, führten zur biologisch-veganen Landwirtschaft (WYTEK, 2007). Eingedenk der Vorteile von viehhaltenden Gemischtbetrieben, sind spezifische Probleme bei viehloser Ökobewirtschaftung zu erwarten. So geht nach ALVERMANN (2004) generell ein Verzicht auf Vielfalt in einem Ökosystem zu Lasten der ökologischen Stabilität, und SCHMIDT (2004) nennt den Unkrautdruck durch Wurzelunkräuter und die Stickstoffversorgung als bedeutendste Probleme viehloser Systeme.

In der Regel unterscheiden sich unterschiedliche Betriebssysteme (mit oder ohne Viehhaltung) auch in ihrer Fruchtfolgegestaltung, da in viehlosen Betrieben der ökonomische Anreiz zur Integration von kleinsamigen Leguminosen als mehrjährige Hauptfrüchte in die Fruchtfolge fehlt. Nach LOGES & TAUBE (2007) sind in viehhaltenden Betrieben über- bis zweijährige schnittgenutzte Klee grasbestände verbreitet, während in viehlosen Betrieben gemulchte einjährige Klee grasbestände die Basis der Fruchtfolge darstellen.

Die EU-Kommission gab in den letzten 20 Jahren unterschiedliche gesetzliche Impulse zu Flächenstilllegungen, in deren Rahmen auch gemulchte Klee grasbestände förderfähig waren. In dem ersten Extensivierungsprogramm (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 1988) war bereits die Option einer freiwilligen Flächenstilllegung enthalten. Ab dem Wirtschaftsjahr 1993/1994 waren Ausgleichszahlungen für Getreide, Ölsaaten und Eiweißpflanzen an eine obligatorische Flächenstilllegung gebunden (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 1992). Auch für die stillgelegten Flächen wurden Beihilfen gezahlt. Mit der Agenda 2000 wurde die obligatorische Flächenstilllegung seitens der EU auf den Zeitraum 2000 bis 2006 verlängert (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 1999a; und 1999b) und in nationales Recht umgesetzt (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2000). Ab dem Wirtschaftsjahr 2001/2002 erhielten Ökobetriebe zwar Ausgleichszahlungen für Stilllegungsflächen, durften aber dennoch die Aufwüchse von den Flächen verwerten. Für 2008 wurde die obligatorische Stilllegung zunächst vorübergehend aufgehoben (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2007), und ab 2009 völlig abgeschafft (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2008a).

Ob die vielfältigen Funktionen der Fruchtfolge, wie sie FREYER (2003a) formuliert, bei Fruchtfolgen mit einjährigem gemulchten wie bei mehrjährigem schnittgenutzten Klee gras erfüllt werden können, ist fraglich. KOLBE (2007b) nennt als Problem, dass

Ergebnisse aus Fruchtfolgeversuchen sehr selten sind und dass ein erheblicher Forschungsbedarf zur Verbesserung viehloser Betriebssysteme des Ökologischen Landbaus besteht (KOLBE et al., 2003).

1.2 Reduzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau

Neben Hans Müller gilt Hans Peter Rusch als Wegbereiter des organisch-biologischen Landbaus. Rusch hält die Bakterienflora als einen besonders geeigneten Parameter zur Beschreibung der Bodenfruchtbarkeit (RUSCH, 2004). Um den natürlichen Schichtaufbau des Bodens aus Deckschicht und so genannter Zell- und Plasmagare nicht zu stören, sei „jede irgendwie entbehrliche Bodenarbeit zu vermeiden“. Insbesondere sollte eine unnötige, tiefe Bodenbearbeitung unterlassen werden.

Die Verbände des Ökologischen Landbaus haben die Empfehlungen Ruschs in ihre Richtlinien aufgenommen. Bei Bioland (BIOLAND, 2009) und Biopark (BIOPARK, 2009) ist angeführt: „Die Bodenbearbeitung muss so durchgeführt werden, dass eine übermäßige Störung des natürlichen Bodengefüges, Nährstoffverluste und unnötiger Energieaufwand vermieden werden.“ Laut Naturland (NATURLAND, 2009) soll die natürliche Schichtung im Aufbau der Böden berücksichtigt werden. Auch in den Demeter-Richtlinien wird zu energieeffizienten Bodenbearbeitungsverfahren geraten (FORSCHUNGSRING FÜR BIOLOGISCH-DYNAMISCHE FORSCHUNG, 2008). Als einziger Verband führt Biopark den Hauptsatz der Bodenbearbeitung „flach wenden – tief lockern“ an.

Zur Definition beschreibt KÖLLER (2001) die konventionelle Bodenbearbeitung als ein System, in dem alljährlich eine Bodenwendung auf voller Krumentiefe mit dem Pflug erfolgt. Kennzeichen der konservierenden Bodenbearbeitung ist, dass der Boden nicht gewendet wird, sondern es werden überwiegend Geräte mit Lockerungswerkzeugen eingesetzt, die den Boden in natürlicher Schichtung belassen (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, 1994). Sie sind oft mit Zapfwellen angetriebenen Bestellmaschinen kombiniert. Ein extremes Verfahren ist die Direktsaat, bei der das Saatgut in unbearbeiteten Boden abgelegt wird unter Verzicht auf jede Bodenbearbeitung (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, 1995).

GRUBER et al. (2010) formulieren: „Eine Reduzierung der Bearbeitungsintensität ist möglich durch Geräte, die weniger tief und weniger destruktiv in das Bodengefüge eingreifen.“

Für den Ökologischen Landbau sind mehrere Stufen der Intensitätsreduzierung durchführbar. Eine erste Stufe stellt die Bearbeitung mit einem Zweischichtenpflug dar, der den Boden nur noch flach wendet, aber tief lockert. Eine weitere Reduzierung lässt sich durch eine geringere Pflugtiefe erreichen, wodurch der Dieserverbrauch um 0,5 bis 1,5 l ha⁻¹ pro cm Arbeitstiefe abnimmt (MOITZI & BOXBERGER, 2009). Zu einer weiteren Stufe der Intensitätsreduzierung, der pfluglosen

(= konservierenden) Ökobewirtschaftung, liegen einige, z. T. widersprüchliche Versuchsergebnisse vor (z. B. HAMPL, 2005; KAINZ et al., 2005). Zu dem Extremverfahren Direktsaat existieren nach KÖLLER (2001) für den Ökologischen Landbau keine Untersuchungen. STEINERT (2010) berichtet lediglich von gescheiterten Praxisversuchen zur Saat ohne vorherige Bodenbearbeitung, indes RÜHLEMANN & SCHMIDTKE (2010) und MASSUCATI et al. (2011) erste viel versprechende Ergebnisse der Direktsaat von *Vicia faba* (Ackerbohnen) vorstellen. Weiterhin wird laut MIERSCH (2010) *Glycine max* (Sojabohnen) in der Poebene sehr erfolgreich im Direktsaatverfahren nach *Hordeum vulgare* (Gerste) angebaut.

Während in der konventionellen Landwirtschaft bereits seit Ende der sechziger Jahre, nach der Einführung von Totalherbiziden, rege Forschungsaktivitäten zum pfluglosen Ackerbau stattfanden (KÖLLER, 1993), bestehen im Ökologischen Landbau noch immer große Vorbehalte gegen eine reduzierte Intensität der Grundbodenbearbeitung. So kann trotz der Vorgaben der Verbände (s. o.) davon ausgegangen werden, dass ca. 95 % aller Biobetriebe ihre Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug durchführen (KÖPKE, 2003; HOYER et al., 2007). An diesen Verhältnissen hat sich in den letzten 15 Jahren wenig geändert (WILHELM et al., 2011).

Neben der erwähnten Störung der natürlichen Bodenschichtung kann als grundsätzlicher Nachteil jeder Bodenbearbeitung der Abbau an organischer Bodensubstanz angesehen werden. Dieser Humusverlust muss durch die Rückführung an organischer Primärschubstanz kompensiert werden (LEITHOLD et al., 2007). ELLERT & BETTANY (1995) ermittelten für einen Versuchsstandort in Kanada in einem Zeitraum von 80 Jahren einen C_{org} -Verlust von 8 t ha^{-1} durch Bodenbearbeitung.

Als Vorteile der reduzierten Bodenbearbeitung werden zum einen Einsparpotentiale an Arbeitszeit um 50 – 70 % (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, 1994) und an Primärenergie (RAMHARTER et al., 2001) angeführt. Zum anderen belegen zahlreiche Forschungsergebnisse pedoökologische Vorteile in Bezug auf die Aggregatstabilität (GROß, 1992), die Bodenstruktur und den Erosionsschutz (FREDE et al., 1992; HARRACH & RICHTER, 1992; WILHELM & HENSEL, 2009), die Regenwurmabundanz (FRIEBE & HENKE, 1992; APPEL et al., 2008), eine bessere Infiltration und Wasserführung (KÖLLER, 2001; BERNER et al., 2009), eine höhere biologische Aktivität (EMMERLING, 2007) und eine Steigerung der C_{org} - und N_t -Gehalte (CHEN et al., 2009).

Gerade der letztgenannte Aspekt wird aber in der Debatte, ob durch reduzierte Bodenbearbeitung eine C-Sequestrierung und damit ein Beitrag zur Reduktion der anthropogenen Klimaveränderung geleistet werden kann, sehr kontrovers diskutiert. So kritisieren BAKER et al. (2007), dass bei den meisten Forschungsvorhaben zur C-Sequestrierung durch reduzierte Bodenbearbeitung nur dadurch ansteigende

C-Massen in kg ha⁻¹ ermittelt wurden, weil die Bodenschichten unter 30 cm fälschlicherweise unberücksichtigt blieben.

Als Nachteil der reduzierten Bodenbearbeitung gegenüber der Anwendung des tief wendenden Pfluges werden häufig niedrigere Erträge genannt (z. B. PAFFRATH, 2005; BERNER et al., 2005; WILHELM & HENSEL, 2009), was sich angesichts der hochpreisigen Produkte des Ökologischen Landbaus gravierender auswirkt als im konventionellen Landbau. Andere Versuchsansteller berichten aber auch von vergleichbaren oder sogar höheren Erträgen (TEBRÜGGE & EICHORN, 1992; HAMPL, 2005; BERNER et al., 2010).

Niedrigere Erträge werden mehrfach mit einer stärkeren Konkurrenzwirkung durch die Segetalflora begründet (PEKRUN et al., 2003; KAINZ et al., 2005). Ein besonderes Problem stellen dabei Wurzelunkräuter wie *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) dar.

KÖLLER (2001) erwähnt, dass Schnecken und Mäuse bei konservierender Bodenbearbeitung vermehrt auftreten können. Als spezielles phytopathologisches Problem wird bei der pfluglosen Bestellung von *Triticum aestivum* (Weizen) nach *Zae mays* (Mais) häufig ein stärkerer Befall mit *Fusarium graminearum* und damit ein erhöhtes Infektionspotential der Weizenkörner mit Fusariumtoxinen beobachtet (BERNER et al., 2006).

Als Low-Input-System mit in der Regel geringen Nährstoffkonzentrationen im Boden ist der Ökologische Landbau auf eine gute Bodenstruktur angewiesen. Auch in dieser Hinsicht können sich Nachteile der reduzierten Bodenbearbeitung ergeben. So ermittelten VAKALI & KÖPKE (2001) in einer tief gepflügten Versuchsvariante eine intensivere Bodenlockerung im Ap-Horizont gegenüber zwei reduzierten Varianten. Dies förderte die Wurzelentwicklung und somit die Nährstoffaufnahme, was zu höheren Sprossmassen und höheren Erträgen der Kulturpflanzen führte.

Auf die Vermeidung von Schadverdichtungen im Boden ist in Ackerbauregimen ohne den tief wendenden Pflug besondere Aufmerksamkeit zu legen, da die Möglichkeiten, diese wieder zu beseitigen, sehr eingeschränkt sind (KLOEPFER, 2007).

Die erwähnten Nachteile und Probleme der reduzierten Bodenbearbeitung verdeutlichen, dass bei einem Verzicht auf den tief wendenden Pflug, das Risiko Fehler zu machen, wesentlich größer ist als bei Anwendung des Standardverfahrens (KÖLLER, 1993).

Im Hinblick auf zahlreiche ungelöste Fragen weist DEBRUCK (2001) auf einen Mangel an Bodenbearbeitungsversuchen im Ökolandbau hin. Und wenn die Prognose von KÖLLER (2001), dass die konservierende Bodenbearbeitung das Standardverfahren in Europa mit dem höchsten Flächenanteil werden wird und nur noch 10 – 20 % der Flächen regelmäßig gepflügt werden, zutrifft, bedeutet das insbesondere für den Ökologischen Landbau einen großen Forschungsbedarf.

1.3 Wechselwirkungen Betriebssystem x Bodenbearbeitung

Die Ausführungen zur Fruchtfolgegestaltung in viehlosen Betrieben und zur reduzierten Bodenbearbeitung verdeutlichen, dass beide Themenfelder von den gleichen agronomischen Problemen, z. B. Ertragsminderung, Nährstoffverfügbarkeit, Humushaushalt und Managementanforderungen betroffen sind. Die enge Verknüpfung drückt FREYER (2003a) so aus: „Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz unterstützen die Fruchtfolgefunktionen.“

ALVERMANN & WIGGERT (2009) führen bezüglich des Fusariumproblems aus, dass in gesunden Fruchtfolgen auch eine pfluglose Bewirtschaftung möglich ist. Allgemein gilt: Je weniger intensiv die Bodenbearbeitung ist, umso schwieriger sind einseitige Fruchtfolgen (KÖLLER, 2001), da Effekte ungünstiger Fruchtfolgen durch den Einsatz des tief wendenden Pfluges nivelliert werden können (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, 1995). Daher beschreibt auch KLOEPFER (2007), dass die Anforderungen an die Fruchtfolge in der Reihenfolge „wendend“ → „nicht wendend“ → „Direktsaat“ immer höher werden.

Der positive Einfluss von Mistgaben auf die Bodenstruktur, den Humusgehalt und in dessen Folge auf einen geringeren Zugkraftbedarf bei der Bodenbearbeitung werden in Untersuchungen von MCLAUGHLIN et al. (2002) deutlich, und so gehen BERNER et al. (2006) davon aus, dass Gemischtbetriebe mit Viehhaltung günstige Bedingungen zur Einführung reduzierter Bodenbearbeitungssysteme bieten.

Für viehlose Betriebe postulieren FREYER et al. (2007) allgemein eine Abstimmung der Bodenbearbeitung auf die Fruchtfolge, indes in den Richtlinien des Verbandes Biopark (BIOPARK, 2009) für diese Betriebe konkret eine Fruchtfolgegestaltung unter Einbindung von Gründüngung, sowie Leguminosen als Haupt- oder Zwischenfrüchte oder in Mischkulturen vorgegeben ist. Während sich Fruchtfolgen mit mehrjährigem Futterbau gut für die pfluglose Bodenbearbeitung eignen, sieht KLOEPFER (2007) eine Lösung der Probleme mit Wurzelunkräutern in viehlosen Betrieben eher durch intensiven Einsatz des Pfluges.

Da Fragen der Wechselwirkungen zwischen Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung bisher in der Forschung vernachlässigt wurden (CHRISTEN, 2008), besteht hierin ein erheblicher Nachholbedarf.

1.4 Zielsetzung und Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur Lösung der dargestellten agromischen Probleme viehloser Ökobetriebe und der reduzierten Bodenbearbeitung zu leisten. Auch soll erörtert werden wie sich unterschiedliche Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungssysteme gegenseitig beeinflussen.

Im Einzelnen sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1.
 - a) Welche Direkt- und Langzeitwirkungen üben unterschiedliche Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung auf die Kulturpflanzen und die Erträge aus?
 - b) Welche kurz- und langfristigen Wirkungen üben unterschiedliche Formen der Grundbodenbearbeitung bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung auf die Kulturpflanzen und die Erträge aus?
2. Welche Effekte gibt es hinsichtlich der Nährstoffeffizienz verschiedener Betriebssysteme?
3.
 - a) Wie wirken sich unterschiedliche Betriebssysteme auf maßgebliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften aus?
 - b) Wie wirken sich unterschiedliche Systeme der Grundbodenbearbeitung auf maßgebliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften aus?
4.
 - a) Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Betriebssysteme auf die Umwelt?
 - b) Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Systeme der Grundbodenbearbeitung auf die Umwelt?
5. Gibt es Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Betriebssysteme und Bodenbearbeitung?

Zur Klärung der Fragen wurde im Jahr 1998 auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof ein 2-faktorieller Feldversuch mit unterschiedlichen Betriebssystemen/Fruchtfolgen und verschiedenen Bodenbearbeitungen angelegt. Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind speziell die Ergebnisse der 2. Rotation von 2004 – 2009.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsstandort

2.1.1 Geologie

Das als Dauerfeldversuch konzipierte Experiment wurde 1998 auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof der Justus-Liebig-Universität Gießen auf dem Schlag Langes Gewann II angelegt. Der seit 1988 als anerkannter Biolandbetrieb bewirtschaftete Hof liegt ca. 17 km östlich von Limburg an der Lahn in Hessen mit den geografischen Koordinaten 50° 24' N, 8° 15' E. Naturräumlich liegt der Gladbacherhof an den nordwestlichen Ausläufern des Taunus, was durch den umgebenden Wald und das Relief deutlich wird. Die rübenfähigen kalkhaltigen Lößböden deuten aber schon auf einen Übergangsbereich zum Limburger Becken hin (HARRACH, 1999).

Die folgenden Beschreibungen zur Geologie und zu den Böden des Gladbacherhofes basieren zum großen Teil auf unveröffentlichten Erhebungen von SCHMÜCKER (1997).

Geogenetisch ist der Taunus ein Teil der alten Rumpflandschaft des Rheinischen Schiefergebirges. Oberflächennah stehen die Tonschiefer, welche im Wesentlichen am Aufbau des Rheinischen Schiefergebirges beteiligt sind, jedoch nur selten an (s. u.). Die Geländegestaltung des Gladbacherhofes wird durch 5 einzelne Rücken geprägt. Zwischen diesen verlaufen 3 Trockentäler und das noch heute wasserdurchflossene Gladbachtal, was zur Namensgebung des Hofes beitrug. Durch diese Reliefgestaltung ergeben sich innerbetriebliche Höhendifferenzen zwischen 130 und 230 m ü. NN.

Vorgeprägt wurde das Relief bereits im Jungtertiär, indem in Abtragsphasen Material durch erhöhte Transportkraft der Flüsse umgelagert wurde. In den beiden Eiszeiten Mindel und Riß entstand eine Verebnungsfläche in ca. 160 bis 170 m ü. NN, die Mittelterrasse der Lahn, auf der der Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch lokalisiert ist. In diesem Bereich haben im Jungwürmglazial angewehrte Lössе über solifluidal umgelagertem Lößlehm älterer Genese große agronomische Bedeutung. Die wertvollen Lößpakete weisen z. T. eine Mächtigkeit von bis zu 8 m auf. An den Westhängen sind sie aufgrund von Wettereinwirkungen sehr viel stärker abgetragen als an den Osthängen.

In den Zwischeneiszeiten kam es zum tiefen Einschneiden der Lahn und deren Seitentäler, wie z. B. dem Gladbachtal. Aufgrund der daraus resultierenden Hangneigung befinden sich die Grünlandflächen des Betriebes vorzugsweise im Bereich der Talhänge und die Ackerflächen auf den schwächer geneigten Geländerücken. Der

Versuch befindet sich im Kulminationsbereich eines dieser Rücken auf einer Höhe von ca. 174 m ü. NN. Lediglich im Westen im Bereich der Parzellen 1 – 4 (vgl. Abb. A-7 im Anhang) und im Osten (Parzellen 43 – 48) sind Hangneigungen bis zu 4 % anzutreffen, was eine Einstufung als N2 = mittelschwach geneigt bedeutet (AD-HOC-AG BODEN, 2005). Die Expositionsrichtung in diesen beiden Bereichen ist SW bzw. NE, die Wölbungstendenz gestreckt.

2.1.2 Bodeneigenschaften

Auf den Betriebsflächen des Gladbacherhofes überwiegen die Bodentypen Parabraunerde und Pararendzina, die auch beide im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch anzutreffen sind.

In Abb. 2-1 ist anhand einer freigelegten Profilwand vor den Parzellen 43 und 44 eine erodierte Parabraunerde charakterisiert, wie sie im östlichen Teil des Versuchs vorherrscht.



Ap 0 – 30 cm	dunkelgraubrauner, schwach humoser, stark schluffiger Ton; Krümelgefüge, porös, zahlreiche Regenwurmgänge, sehr stark durchwurzelt
Btv 30 – 63 cm	hellgraubrauner, stark toniger Schluff; zahlreiche Regenwurmgänge, mit Humus ausgekleidet; sehr stark durchwurzelt
ICv 63 – 90 cm	dunkelbrauner, stark toniger Schluff; zahlreiche Regenwurmgänge, mit Humus ausgekleidet; stark durchwurzelt; stark carbonathaltig
II IC 90 – 290 cm	hellbrauner, stark toniger Schluff; zahlreiche Regenwurmgänge, mit Humus ausgekleidet; schwach durchwurzelt; stark carbonathaltig; Rohlöß; 110 – 170 cm viele Lößkindel, darunter sekundäre Carbonatausfällungen besonders in Regenwurmröhren

Abb. 2-1: Profilwand einer erodierten Parabraunerde in dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch vom 28.05.2008

SCHMIDTKE (1997) beschreibt für sein Feldexperiment, das in den Jahren 1990 bis 1993 direkt neben dem heutigen Dauerfeldversuch lag, den Typ Pararendzina.

Das Ausgangssubstrat der Bodenbildung ist Lösslehm über Löss. Die Parabraunerde ist äußerst tiefgründig (≥ 20 dm) und weist eine Entwicklungstiefe von 9 dm auf. Bei einem Feinbodenanteil von 100 % ergibt sich eine effektive Durchwurzelungstiefe nach der AD-HOC-AG BODEN (2005) von 11 dm. Der Standort steht nicht unter Grundwassereinfluss. Die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum beträgt 212 mm und ist damit sehr hoch. Die pedogen bedingte Gefahr einer Nitratauswaschung ist daher als gering bis sehr gering einzustufen (PETER & HARRACH, 1991). Bei der letzten Bodenschätzung wurde der Schlag Gewinn II als sL3Lö 67/66 klassifiziert.

In Tab. 2-1 sind Ergebnisse der Texturanalyse für die Bodenschicht 0 – 30 cm jeweils als Mittelwerte für die 4 Wiederholungen wiedergegeben.

Tab. 2-1: Korngrößenfraktionen des Feinbodens [Äquivalentdurchmesser in μm] nach DIN ISO 11277 in Gew.-%

Wdh.	T < 2,0	U 2 – 63	fU 2 – 6,3	mU 6,3 – 20	gU 20 – 63	S 63 – 2000	fS 63 – 200	ffS 63 – 125	mS 200 – 630	gS 630 – 2000	Bodenart
I	31,9	64,8	6,5	19,3	39,1	3,2	0,9	0,9	0,8	0,7	Tu3
II	29,3	67,0	5,8	20,1	41,1	3,7	0,9	0,8	1,0	1,1	Tu4
III	23,8	71,6	5,8	23,6	42,2	4,6	1,2	1,2	1,1	1,1	Ut4
IV	29,0	68,5	4,4	19,9	44,2	2,6	0,6	0,6	0,6	0,7	Tu4

Die Böden sind durch einen sehr hohen Schluffanteil, besonders Grobschluff, einen wenig bedeutsamen Sandanteil und, in den Wiederholungen I, II und IV, einen Tonanteil von 29,0 – 31,9 % geprägt. Lediglich in Wiederholung III liegt der Tonanteil deutlich niedriger. Somit sind die Böden als stark tonige Schluffe bis stark schluffige Tone anzusprechen (AD-HOC-AG BODEN, 2005). Da der Grobschluffanteil eng mit dem Anteil an Mittelporen im Boden korreliert ist (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984), steht er für eine große Menge pflanzenverfügbaren Haftwassers. Durch den hohen Tonanteil ist die Bearbeitung der Böden jedoch erschwert.

In Tab. 2.2 sind die pH-Werte und die Gehalte an Grundnährstoffen im Oberboden zu Versuchsbeginn 1998 wiedergegeben. Bis auf die K_2O -Werte in den Wiederholungen I, III und IV liegen alle in der anzustrebenden Gehaltsklasse C oder darüber. Mit größer oder gleich $10 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ sind sie aber noch in einem für den Ökologischen Landbau üblichen Bereich. Wachstumsstörungen durch Kalimangel wurden noch nicht beobachtet. Bei einer Betrachtung der pH-Werte auf Parzellenebene fällt auf, dass die Werte in den Parzellen 8 bis 13 der pH-Klasse niedrig angehören. Daher wurde im Jahr 2002 eine Kalkung vorgenommen. Die relative Inhomogenität der Versuchsfläche ist einerseits durch die beschriebene Geogenese, andererseits durch die Größe des Versuchs von $12\,384 \text{ m}^2$ bedingt.

Tab. 2-2: pH-Werte, pH-Klassen, Grundnährstoffe [mg 100 g⁻¹] und Gehaltsklassen in der Bodenschicht 0 – 30 cm im Jahr 1998

Wdh.	pH-Wert	pH-Klasse	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ Gehaltsklasse	K ₂ O	K ₂ O Gehaltsklasse	Mg	Mg Gehaltsklasse
I	6,5	C	18	C	12	B	18	D
II	6,8	C	17	C	18	C	15	D
III	7,5	E	21	D	10	B	9	D
IV	7,2	C	14	C	13	B	13	D

Prüfverfahren: DIN ISO 11464; A = sehr niedrig, B = niedrig, C = mittel, D = hoch, E = sehr hoch

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf Mikronährstoffe sind im Anhang (Tab. A-1) zusammengestellt. Es wurden zu Versuchsbeginn 6 von 48 Parzellen beprobt und auf die Elemente Eisen, Kupfer, Zink, Mangan, Bor und Molybdän untersucht. Bis auf 2 Parzellen, die im Borgehalt in Versorgungsstufe A (niedrig) liegen und 2 Parzellen, die bezüglich Molybdän niedrig versorgt sind, wurden alle Resultate in der anzustrebenden Stufe C (hoch) oder sogar E (besonders hoch) eingruppiert. Eine Versuchsbeeinflussung ist daher weder durch einen Mangel an Makro- noch an Mikronährstoffen zu erwarten.

In Tab. A-2 im Anhang sind die Ergebnisse der C_{org} - und N_t -Bestimmungen im Boden als Mittelwerte aller Parzellen jeweils für 3 Tiefenstufen aufgeführt. Für den Oberboden (0 – 30 cm) errechnet sich daraus ein C_{org}/N_t -Verhältnis von 8,9 : 1 und ein Humusgehalt von 2,2 %. Nach der AD-HOC-AG BODEN (2005) führt dies zu der Einstufung „mittel humos“ für den Oberboden.

Die Bewirtschaftung des Schlags Langes Gewann II vor Versuchsbeginn kann mit Hilfe folgender Strukturkennziffern der Außenwirtschaft des Gladbacherhofes im Durchschnitt der Jahre 1993 – 1996 eingeschätzt werden (SOMMER, 2010):

Nutzflächenverhältnis:	41 % Grünland, 59 % Ackerland
Ackerflächenverhältnis:	Getreide: 47 %
	Hackfrüchte: 15 %
	Leguminosen + Stilllegung: 38 %
	Futterleguminosen: 18 %
	Körnerleguminosen: 10 %
	Stilllegung: 10 %
Viehbesatz:	0,7 GV ha LF ⁻¹

2.1.3 Witterung 2004 bis 2009

Etwa 30 m entfernt von dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch befindet sich die DL2-Klimastation des Gladbacherhofes. Zehn verschiedene Sensoren erfassen

die Wetterdaten und liefern sie an einen Data-Logger der Firma Delta-T. Der Niederschlagsmesser arbeitet nach dem Prinzip Kippwaage. Der Lufttemperatursensor ist ein Pt100-Meßinstrument mit integriertem Messverstärker. Die 30-jährigen Mittelwerte für Niederschlag (649 mm) und Lufttemperatur (9,5 °C) stammen von der Wetterstation Limburg-Offheim des Deutschen Wetterdienstes.

Bei der Darstellung der monatlichen Niederschläge und Durchschnittstemperaturen für die Jahre 2004 – 2009 im Anhang (Abb. A-1 – A-6) sind zum Vergleich in derselben Grafik jeweils die 30-jährigen monatlichen Mittelwerte aufgeführt. Hier im Text soll nur auf diejenigen Wetterereignisse hingewiesen werden, die besondere agronomische Bedeutung haben.

So wiesen die ersten 3 Versuchsjahre nur leicht überdurchschnittliche, die letzten 3 Jahre deutlich überdurchschnittliche Jahresniederschläge auf. Frühsommerliche Trockenperioden (Juni und Juli) waren 2005 und 2006 zu verzeichnen. Auffallend feuchte Zeitabschnitte waren von Mai bis September 2007, von Juni bis Oktober 2008 und von Februar bis Juli 2009.

Die Jahresdurchschnittstemperaturen lagen in den ersten beiden Jahren unter, dann 3 Jahre (2006 – 2008) deutlich über den langjährigen Mittelwerten. Relativ kühle Perioden waren von Mai bis Juli 2004 und von Juli bis Dezember 2007. Besonders hohe Lufttemperaturen herrschten im Juli 2006, von Januar bis Juni 2007 und im April 2009.

2.2 Versuchsanlage

Der 2-faktorielle orthogonale Feldversuch wurde als Spaltanlage in 4-facher Wiederholung angelegt. Der Großparzellenfaktor Betriebssysteme umfasst 3 Faktorstufen, der Kleinparzellenfaktor Grundbodenbearbeitung 4 Stufen. Die Prüfglieder sind randomisiert. Mit 9 m wurde die Parzellenbreite an die 3-fache Arbeitsbreite der wichtigsten Bearbeitungsmaschinen angepasst (vgl. Tab. A-3 bis A-5 im Anhang). Durch die Wahl der Parzellenlänge (14 m) und der Wegbreite (11 m) ist sichergestellt, dass die praxisüblichen Bearbeitungsmaschinen am Parzellenanfang sowohl die gewünschte Arbeitstiefe als auch die erforderliche Arbeitsgeschwindigkeit erreicht haben.

Der detaillierte Parzellenplan ist im Anhang (Abb. A-7) dargestellt. Um die Bodenheterogenität innerhalb der Blöcke zu minimieren, wird allgemein empfohlen, die Form der Blöcke weitgehend einem Quadrat anzunähern (WAGNER et al., 2007). Im vorliegenden Fall wurde jedoch von dieser Regel abgewichen, da durch die lang gestreckte Form in Ost-West-Richtung eine bessere Bodenhomogenität innerhalb der Blöcke erreicht werden konnte als bei einer Ausrichtung der Blöcke in Nord-Süd-Richtung.

Als Anlageform wurde eine Spaltanlage gewählt, weil sie in der praktischen Durchführung zahlreiche Vorteile bietet. Versuchstechnisch wäre eine Blockanlage auch möglich, aber sehr viel arbeitsintensiver gewesen. Im Folgenden werden die beiden Prüffaktoren näher beschrieben.

2.2.1 Großparzellenfaktor Betriebssysteme

Der 1. Prüffaktor, Betriebssysteme, wurde in 3 Stufen angelegt, die modellhaft für unterschiedliche Betriebstypen des Ökologischen Landbaus stehen:

- **GM-V** = **Ge**Mischtbetrieb mit **V**iehhaltung
- **VL-GB** = **V**ieL>oser Betrieb mit **G**rün**B**rache
- **VL-MF** = **V**ieL>oser Betrieb nur **M**arkt**F**rüchte

Die Fruchtfolgegestaltung der unterschiedlichen Typen ist in Tab. 2-3 dargestellt.

Der erste Typ (GM-V) fungiert als Kontrollvariante und stellt den klassischen Gemischtbetrieb mit Viehhaltung dar. Grundsätzlich orientiert sich die Fruchtfolge an den Feldfrüchten des bewährten Ökobetriebs Gladbacherhof mit einem Viehbesatz von $1,0 \text{ GV ha}^{-1}$, wurde jedoch auf 6 Felder reduziert, um die Dauer einer Rotation zu verkürzen.

Der Betriebstyp VL-GB mit 1-jähriger Grünbrache stellt eine vielfach praktizierte Alternative zur Kontrollvariante dar. Betriebswirtschaftlich soll mit einer staatlichen Förderung der Stilllegung gerechnet werden.

Bei dem letzten Betriebstyp (VL-MF) ist die 1-jährige Grünbrache durch eine Körnerleguminose ersetzt. Im Modell wird davon ausgegangen, dass kein Anspruch mehr auf Stilllegungsförderung besteht.

Es wurde explizit darauf geachtet, dass der Anteil der legumen Hauptfrüchte in allen 3 Fruchtfolgen 33 % beträgt. Bei der Darstellung der Ackerflächen-Verhältnisse (s. Tab. 2-3) wird deutlich, dass im Betriebssystem VL-MF der Verzicht auf kleinkörnige Leguminosen in der Fruchtfolge durch vermehrten Anbau von grobkörnigen Leguminosen und Zwischenfrüchten und durch zusätzliche Strohdüngung ausgeglichen werden soll.

Gegenüber der 1. Rotation von 1998 – 2003 (s. Tab. A-6 im Anhang) wurden die Fruchtfolgen an 2 Positionen geändert. Zum einen fungierte *T. aestivum* (Weizen) 1998 nur als Einstieg in die unterschiedlichen Fruchtfolgen und wurde 2004 durch *A. sativa* (Hafer) substituiert. Zum anderen wurde die Hafer-Erbсен-Ganzpflanzensilage aus dem Jahr 2002 in 2008 durch *T. aestivum* ersetzt, da sich Ganzpflanzensilage auf dem Standort nicht bewährt hat.

Tab. 2-3: Fruchtfolgegestaltung in der 2. Rotation 2004 – 2009

Fruchtfolgefeld	Jahr	GM-V	VL-GB	VL-MF
1	2004	<i>Medicago sativa</i> <i>Trifolium pratense</i> 3 Poaceen	<i>Avena sativa</i> ¹⁾ Untersaat	<i>Avena sativa</i> ZF-Stoppelsaat
2	2005	<i>Medicago sativa</i> <i>Trifolium pratense</i> 3 Poaceen	Grünbrache Luzerne-Klee gras	<i>Vicia faba</i> Untersaat
3	2006	<u><i>Triticum aestivum</i> I</u> ZF-Stoppelsaat	<u><i>Triticum aestivum</i></u> ZF-Stoppelsaat	<u><i>Triticum aestivum</i></u> ZF-Stoppelsaat
4	2007	<u><i>Solanum tuberosum</i></u>	<u><i>Solanum tuberosum</i></u>	<u><i>Solanum tuberosum</i></u>
5	2008	<i>Triticum aestivum</i> II ZF-Stoppelsaat	<i>Pisum sativum</i>	<i>Pisum sativum</i>
6	2009	<u><i>Secale cereale</i></u> Untersaat	<u><i>Secale cereale</i></u> ZF-Stoppelsaat	<u><i>Secale cereale</i></u> ZF-Stoppelsaat
AF-Verhältnis (%)				
- Getreide		50,0	50,0	50,0
- Hackfrucht		16,7	16,7	16,7
- Futterleg.		33,3		
- Stilllegung			16,7	
- Körnerleg.			16,7	33,3
Untersaaten		16,7	16,7	16,7
ZF-Stoppelsaaten		33,3	33,3	50,0
insgesamt		50,0	50,0	66,7
Organische Düngung		- im Jahresmittel 100 dt FM ha⁻¹ Rottemist - keine Strohdüngung	- Aufwuchs der Grünbrache gemulcht - Strohdüngung auf 50,0 % der AF¹⁾	Strohdüngung auf 83,3 % der AF

¹⁾ Abfuhr des Haferstrohs wegen Untersaat

AF = Ackerfläche; ZF = Zwischenfrucht; FM = Frischmasse

In Tab. A-7 im Anhang sind alle Feldfrüchte bezüglich Saatzeitpunkt, Nutzungsart, Sorte und Saatstärke beschrieben. Als Orientierungshilfe bei den aufgezählten Parametern dienten die Erfahrungen auf dem Gladbacherhof. Weiterhin wurde so oft wie

möglich mit praxisüblichen Maschinen gearbeitet. Ausnahmen stellten die Versuchsmaschinen Parzellenmähdrescher zur Getreide- und Körnerleguminosenernte und Einachstraktor mit Doppelmesser zur Luzerne-Klee gras-Ernte dar (s. Tab. A-8 im Anhang). Da der Mähdrescher nicht mit einem Häcksler ausgestattet ist, wurden in den beiden viehlosen Betriebssystemen das Getreide- und Körnerleguminosenstroh nach dem Drusch auf den Parzellen mit einem Mulcher zerkleinert (s. Tab. A-3/18). Um eine optimale Verteilgenauigkeit des Rottemists im System GM-V zu erreichen, wurde von Hand anstatt mit einem Miststreuer verteilt. Stroh und Luzerne-Klee gras wurden mit Handrechen von den Parzellen entfernt.

Da die einzelnen Fruchtfolgefelder aus arbeitswirtschaftlichen Gründen nicht im räumlichen Nebeneinander angelegt werden konnten, sind die Jahre 2006, 2007 und 2009 mit den gleichen Früchten in allen 3 Betriebssystemen von besonderem Interesse für die Ergebnisinterpretation. Im Folgenden werden die agronomischen Maßnahmen in den einzelnen Betriebstypen im Detail beschrieben.

2.2.1.1 Gemischtbetrieb mit Viehhaltung – GM-V

Für das System GM-V wurde mit einem Viehbesatz von $1,0 \text{ GV ha}^{-1}$ gerechnet. In dem Modell wird unterstellt, dass Rinder in einem Tiefstreustall gehalten werden, in dem keine Jauche anfällt. Daraus resultieren die folgenden Mistmengen in Frischmasse (DÖHLER, 2009), wobei auch Erhebungen am Gladbacherhof Berücksichtigung fanden:

Frischmistanfall	$14 \text{ t GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$
Rotteverluste	$4 \text{ t GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$
Verbleibender Rottemist	$10 \text{ t GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$
Rottemistanfall in 6 Jahren (sechsfeldrige Fruchtfolge)	60 t GV^{-1} bzw. 60 t ha^{-1}
Aufteilung in der Fruchtfolge:	
zu <i>S. tuberosum</i> (Kartoffeln)	45 t ha^{-1}
zu <i>S. cereale</i> (Roggen)	15 t ha^{-1}

Die Details der ackerbaulichen Maßnahmen sind in Tab. A-9 im Anhang aufgeführt. Die ersten 4 Felder der Fruchtfolge weisen den gleichen Ablauf wie die des Praxisbetriebs Gladbacherhof auf. Das 2-jährige Luzerne-Klee gras-Gemenge aus *M. sativa*, *T. pratense* und 3 *Poaceen* (s. Tab. A-7 im Anhang) dient als aufbauendes Element und der Fixierung von Luftstickstoff. Der Aufwuchs wurde viermal pro Erntejahr geschnitten und als Futter abgefahren. Danach folgten die im Ökologischen Landbau wichtigen Marktfrüchte *T. aestivum I*, *S. tuberosum*, *T. aestivum II* und *S. cereale*. Im abschließenden Fruchtfolgefeld wurde wiederum als Untersaat ein Luzerne-Klee gras-Gemenge gesät.

Im 3. und 5. Jahr wurde jeweils Rottemist im Umfang von 45 t FM ha⁻¹ bzw. 15 t FM ha⁻¹ gedüngt. Die Nährstoffgehalte des Rottemists sind in Tab. A-12 im Anhang aufgeführt. Die nach den beiden Mistdüngungen gesäten Zwischenfrüchte bestanden aus Gemengen der Leguminose *Vicia sativa* und dem Tiefwurzler *Raphanus sativus* (s. Tab. A-7 im Anhang). Aufwüchse der Zwischenfrüchte verblieben auf den Parzellen und wurden eingearbeitet. Das Getreidestroh in den Jahren 2006, 2008 und 2009 wurde von den Flächen entfernt.

2.2.1.2 Viehloser Betrieb mit Grünbrache – VL-GB

Die ackerbaulichen Maßnahmen des Systems VL-GB sind in Tab. A-10 im Anhang beschrieben. Die Fruchtfolge beginnt mit der wenig krankheitsanfälligen Marktfrucht *A. sativa*, die sich zudem sehr gut als Deckfrucht für die auszubringende Untersaat eignet. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde für die Grünbrache die gleiche Mischung aus *M. sativa*, *T. pratense* und 3 *Poaceen* gewählt wie im Betriebssystem GM-V. Der Grünbracheaufwuchs wurde 2005 viermal gemulcht, d. h. er verblieb auf den Parzellen. In den Jahren 2006, 2007 und 2009 standen die gleichen Marktfrüchte wie in dem ersten Betriebstyp (s. o.). Im 5. Jahr wurde die Körnerleguminose *Pisum sativum* (Erbsen) angebaut. Neben dem Vorteil der Fixierung von Luftstickstoff lassen sich die Erntekörner von *P. sativum* sehr gut an viehhaltende Betriebe vermarkten. Die Zwischenfrüchte nach *T. aestivum* (2006) und *S. cereale* (2009) bestanden aus den gleichen Gemengen wie in Betriebstyp GM-V (s. Tab. A-7 im Anhang). Sämtliche Koppelprodukte und Zwischenfrüchte verblieben auf den Parzellen und wurden eingearbeitet.

2.2.1.3 Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte – VL-MF

Die Fruchtfolge des zweiten viehlosen Betriebssystems (VL-MF) besteht ausschließlich aus Marktfrüchten. Gegenüber dem System VL-GB ist lediglich die Grünbrache im 2. Jahr durch die Marktfrucht *V. faba* substituiert. Das Erntegut von *V. faba* wird ebenso wie das von *P. sativum* an viehhaltende Betriebe vermarktet. Zur Aufnahme des residualen Stickstoffs wurde in *V. faba* eine Untersaat aus *Lolium multiflorum* eingesät (s. Tab. A-7 im Anhang). Nach *A. sativa* im 1. Jahr wurde eine Zwischenfrucht angebaut, die aufgrund des späten Saattermins nur aus *Raphanus sativus* bestand.

Wie in Betriebssystem VL-GB so verblieben auch bei VL-MF alle Koppelprodukte und Zwischenfruchtaufwüchse auf den Parzellen. Details der ackerbaulichen Maßnahmen sind in Tab. A-11 im Anhang aufgeführt.

2.2.2 Kleinparzellenfaktor Grundbodenbearbeitung

Der 2. Prüffaktor, Grundbodenbearbeitung, wurde in 4 Stufen angelegt und ist in Tab. 2-4 dargestellt:

Tab. 2-4: Beschreibung der 4 Systeme der Grundbodenbearbeitung

	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
	Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug	Zweischichten- Pflug	maximale Bearbeitungstiefe 15 cm	Zweischichtbearbei- tung mit Schichten- grubber und Rotoregge
Stoppel- bearbeitung	Grubber 15 cm tief	Zweischichten- Pflug lockern bis 30 cm wenden bis 15 cm	Pflug oder Grubber 15 cm	Schichtengrubber und Rotoregge lockern bis 30 cm mischen bis 15 cm.
Herbst- bearbeitung vor Winter – und Sommer- kulturen	Pflug 30 cm tief	Pflug 15 cm tief	Pflug 15 cm tief	pfluglos 15 cm tief

Um eine Vergleichbarkeit der 4 Bodenbearbeitungsvarianten besonders bei Bodenproben zu erreichen, wurden mit den unterschiedlichen Geräten so oft wie möglich die beiden Bearbeitungstiefen 15 und 30 cm eingehalten.

Als Referenzvariante diente das in der Praxis am häufigsten durchgeführte Verfahren, der Einsatz des krumentief wendenden Pfluges. Es folgen 3 Systeme mit abnehmender Eingriffsintensität. Die Intensität eines Bodenbearbeitungssystems kann sich auf

- die Bearbeitungstiefe
- die Anzahl der Überfahrten und
- die Eingriffsart (wendend oder schichterhaltend)

beziehen. In diesem Sinn soll das nicht-wendende Verfahren SR30/15, das die höchsten Anforderungen an das Management im Ökologischen Landbau stellt, als das Verfahren mit der geringsten Eingriffsintensität verstanden werden.

Bezüglich Saatzeitpunkt, Saatbettbereitung und Beikrautregulierung wurden alle Varianten einheitlich behandelt. Zur Aussaat wurde eine mechanische Drillmaschine mit Doppelscheibenscharen und Tiefenführungsrollen verwendet.

Die Durchführung der differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung ist im Anhang in Tab. A-13 detailliert aufgeführt. Nachfolgend werden die einzelnen Systeme der Bodenbearbeitung näher beschrieben.

2.2.2.1 Krumentiefe Bearbeitung mit dem Pflug – P30

Da auf dem Gladbacherhof eine Ackerkrume von ca. 30 cm vorherrscht, wurde der Boden in der Variante P30 zur Herbstbestellung oder zur Winterfurche auf diese Tiefe gewendet. Die Stoppelbearbeitung im Sommer wurde praxisüblich pfluglos mit einem Grubber durchgeführt.

Das charakteristische Gerät in der Variante P30 war ein klassischer vierschariger Streichblechpflug in angebauter Ausführung der Firma Gassner (Tab. A-3/1 im Anhang). Es handelte sich um einen hydraulischen Volldrehpflug mit variabler Schnittbreite von 30 – 50 cm je Schar bzw. 1,20 – 2,00 m Arbeitsbreite. Der Pflug war mit der Streichblechform Gassner Universal (GU) für schwere bis schwerste Böden ausgerüstet. An Zusatzwerkzeugen waren Düngereinleger, gezahnte Rundseche und ein luftbereiftes Tiefenführungsrad montiert. Die stufenlose Schnittbreitenverstellung ermöglichte es, die relativ schmalen Parzellen exakt zu bearbeiten.

2.2.2.2 Zweischichtenpflug – ZP30/15

In der Variante Zweischichtenpflug wurde der gleiche Pflug wie in P30 eingesetzt, allerdings mit zusätzlichen Lockerungsscharen unterhalb der Pflugkörper. Die Grundbodenbearbeitung wurde zur Stoppelbearbeitung im Sommer durchgeführt, da zu dieser Zeit relativ trockene Bodenverhältnisse zu erwarten waren und Regenwürmer möglichst wenig geschädigt wurden. Zur Herbstbestellung oder zur Winterfurche wurde lediglich eine Bodenwendung auf 15 cm Tiefe ohne Lockerungsschare durchgeführt.

Grundsätzlich war eine stufenweise Tiefenverstellung der Lockerungsschare möglich. Aus Gründen der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten wurde der untere Krumenbereich mit dem Zweischichtenpflug regelmäßig auf 30 cm Tiefe gelockert und der obere Krumenbereich bis 15 cm gewendet, ohne beide Schichten zu mischen. Somit kommt der Zweischichtenpflug der erwähnten Forderung „flach wenden – tief lockern“ nach. Er soll bei flacher Wendung die Vorteile des „reinen Tisches“ mit einer Lockerung der Unterkrume verbinden und so die natürliche Bodenschichtung erhalten.

Die mit Abscherschrauben versehenen Lockerungsschare waren seitlich so unter den Hauptscharen angebracht, dass die Radfurche direkt nach der Überfahrt gelockert wurde.

2.2.2.3 Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm – P15

In der 1. Rotation von 1998 – 2003 wurde die 3. Bodenbearbeitungsvariante noch wie ZP30/15 bearbeitet mit dem Unterschied, dass im Herbst vor Sommerungen auf eine

Pflugfurche verzichtet und diese erst im Frühjahr durchgeführt wurde. Da der Boden in dieser Variante jedoch regelmäßig verzögert abtrocknete, war eine Frühjahrsbestellung erst verspätet möglich. ALVERMANN (2004) geht davon aus, dass eine Frühjahrsfurche nur bis zu einem Tonanteil des Bodens von 20 % sinnvoll ist. Aufgrund der hohen Tongehalte auf dem Versuchsstandort und den damit einhergehenden Problemen wurde die 3. Bodenbearbeitungsvariante in der 2. Rotation grundsätzlich geändert. Im Sommer 2003 kam letztmalig der Zweischichtenpflug zum Einsatz.

Danach wurde die maximale Bearbeitungstiefe auf 15 cm begrenzt, wobei unterschiedliche Geräte, jedoch meistens der bei P30 beschriebene Pflug zum Einsatz kamen. Zur Stoppelbearbeitung wurde der flach wendende Pflug oder ein Grubber eingesetzt, zur Herbstbestellung oder zur Winterfurche stets der auf 15 cm Tiefe wendende Pflug.

Durch die variable Schnittbreitenverstellung des erwähnten Pfluges war es möglich, auch bei der geringen Tiefe von 15 cm ein Verhältnis von Furchenbreite zu -tiefe von 2 : 1 einzuhalten.

2.2.2.4 Schichtengrubber plus Rotoregge – SR30/15

Das Hauptarbeitsgerät in der Variante SR30/15 war eine Kombination aus Schichtengrubber und Rotoregge (s. Tab. A-3/2+3 im Anhang). Analog zum Zweischichtenpflug wurde die 2-Schichtbearbeitung in SR30/15 zur Stoppelbearbeitung eingesetzt, während zur Herbstbestellung oder zur Winterbearbeitung aufgrund der feuchten Bodenbedingungen im unteren Krumenbereich auf den Schichtengrubber verzichtet wurde.

Der eingesetzte Schichtengrubber war ein 1-balkiges Gerät der Firma Kuhn mit 4 jeweils 66 cm breiten Flügelscharen. Da als Flügelschargrubber in der Regel eine mehrbalkige Konstruktion bezeichnet wird, soll hier der Ausdruck Schichtengrubber verwendet werden.

Die in der Tiefe verstellbaren Schare durchschneiden den Boden fast vollflächig unter einem Anstellwinkel von 22°. Dadurch kommt es zu einem Anheben und einer Vorlockerung des Bodens, wodurch das benötigte Rotordrehmoment der nachfolgenden zapfwellengetriebenen Rotoregge mit horizontaler Drehachse verringert wird (WEISE, 1992).

Die Rotoregge, auch Zinkenrotor genannt, ist eine Maschine der Firma Lemken, die wahlweise auch mit einer Fräswelle eingesetzt werden konnte. Zur Veränderung der Drehzahl ist das Gerät mit einem Wechselgetriebe ausgerüstet und kann darüber hinaus alternativ mit einer Zapfwellendrehzahl von 540 oder 1000 U min⁻¹ betrieben werden. Dadurch sind Rotorwellendrehzahlen von 110 – 384 U min⁻¹ einstellbar.

Die Tiefenführung der Rotoregge und damit auch des Schichtengrubbers wird über eine Trapezringwalze mit einem Durchmesser von 500 mm erreicht. Mit Hilfe eines hydraulischen Aushubgestänges ist der Anbau einer Aufbaudrillmaschine möglich.

2.3 Probenahme und Analytik

In der Regel wurden zur Gewinnung von Boden- und Pflanzenproben alle Parzellen, d. h. alle Faktorkombinationen, in 4-facher Wiederholung beprobt. Lediglich bei den sehr arbeitsaufwändigen Analysen zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse und der Dehydrogenase-Aktivität wurden einzelne Faktorkombinationen ausgewählt, um den Probenumfang zu reduzieren.

Gewichtsermittlungen im Feld fanden mit einer mobilen elektronischen Waage (Ablesbarkeit 5 g) statt. Im Feldlabor wurde bei zu erfassenden Massen größer als 6 kg eine Waage mit einer Ablesbarkeit von 1 g verwendet, bei Einwaage und Rückwaage zur Trockensubstanzbestimmung eine Waage mit einer Ablesbarkeit von 0,01 g.

Außer bei Körnerproben und Kartoffelknollen wurde ein Aliquot sämtlicher Pflanzenproben mit einem Laborhäcksler (s. Tab. A-8/3 im Anhang) zerkleinert und homogenisiert. Danach fand eine Trockensubstanz-Bestimmung durch Trocknung bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz statt.

2.3.1 Untersuchungen an Pflanzen

2.3.1.1 Gewinnung von Pflanzenproben

Die Beerntung der verschiedenen Pflanzenarten ist in Tab. 2-5 erläutert.

Die Sprossmasseerträge der Luzerne-Klee gras-Gemenge wurden an 4 Terminen pro Vegetationsperiode durch Schnitt in den Kernparzellen erhoben. Die Erntetermine richteten sich nach dem Entwicklungsstadium der Leguminosen als Hauptbestandesbildner. Angestrebt wurde das Stadium „verlängerte Triebe mit Knospen“ bis „Knospen kurz vor dem Blühbeginn“. Die Termine sind in den Tab. A-9 und A-10 im Anhang aufgeführt.

Nach Erfassung der jeweiligen Frischmasse (Schnitthöhe 5 cm) wurde ein Aliquot von ca. 5 kg für weitere Untersuchungen im Feldlabor entnommen. Nach Beerntung der Parzellen wurde das Schnittgut im Betriebssystem GM-V von den Parzellen entfernt, im viehlosen System VL-GB mit einem Mulcher (Tab. A-3/18 im Anhang) auf der Fläche zerkleinert.

Tab. 2-5: Ernteverfahren der verschiedenen Feldfrüchte

Feldfrucht	Maschine/ Gerät	Ernte- fläche	Besonderheiten	TS-Bestimmung
LKG Schnittnutzung + Grünbrache	Einachstraktor mit Doppel- messerbalken	12 – 18 m ²	je Parzelle 1 kg FM sortieren in Leg., Poaceen, Kräuter	Leg. 60 °C Poaceen 60 °C Kräuter 60 °C
Getreide + Körnerleguminosen Endernte	Parzellen- mähdrescher	12 – 15 m ²	Stroh auffangen, Beikräuter im Stroh erfassen	Körner 105 °C Stroh 60 °C Beikräuter 60 °C
Getreide Zeiternte	Rasenkanten- scheren	2 x 0,5 m ²		60 °C
<i>S. tuberosum</i>	Siebketten- Roder	15 m ²	Größenfraktionen bestimmen	Knollen 60 °C
ZF + US	Rasenkanten- scheren	2 x 0,5 m ²	sortieren in Leg. und Nicht-Leg.	Leg. 60 °C Nicht-Leg. 60 °C

LKG = Luzerne-Kleegrass

ZF = Zwischenfrucht

US = Untersaat

Zur Ermittlung der Ertragsanteile der Bestandskomponenten wurde im Feldlabor eine Teilprobe von 1000 g von Hand in Leguminosen (*M. sativa* und *T. pratense*), *Poaceen* und Kräuter getrennt. Danach wurden die jeweiligen Frischmassen erfasst und von jedem Anteil maximal 200 g bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Von der Erntefläche, der geernteten Frischmasse, den Ertragsanteilen der 3 Bestandskomponenten und den Trockensubstanzgehalten wurde auf die absoluten Sprossmasseerträge der einzelnen Bestandskomponenten in dt ha⁻¹ umgerechnet.

Die Kornerträge der Druschfrüchte wurde in den Parzellenkernen erfasst, wobei das Stroh (Schnitthöhe 15 cm) hinter dem Parzellenmähdrescher aufgefangen wurde. Zur Abscheidung von Verunreinigungen durchliefen die Körnerproben anschließend eine Kleinsaatgutreinigung (Tab. A-8/4 im Anhang) mit auf die jeweilige Erntefrucht abgestimmten Sieben. Von den gereinigten Proben wurden die Frischmasse und die Tausendkornmasse (2 mal 1000 Körner, s. Tab. A-8/5) bestimmt und eine Teilprobe bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Nach dem Drusch wurde das Stroh im Betriebssystem GM-V von den Parzellen entfernt, in den beiden viehlosen Systemen blieb das Stroh auf der Fläche und wurde mit einem Mulcher (Tab. A-3/18 im Anhang) zerkleinert. Lediglich das Haferstroh in VL-GB wurde von den Parzellen entfernt, um die Untersaaten nicht mit einer Strohmatten zu bedecken.

Bei den Druschfrüchten wurde zur Bestimmung der Anzahl ährentragender Halme (Getreide) bzw. der Pflanzen pro m² (Körnerleguminosen) vor der Ernte an jeweils 4 lfm. Reihe die entsprechende Anzahl ermittelt und auf 1 m² umgerechnet. Die 3. Ertragskomponente bei Getreide, die Anzahl Körner pro Ähre, wurde aus Ertrag, Tausendkornmasse und Anzahl ährentragender Halme berechnet.

Von *T. aestivum* (2006) und *S. cereale* (2009) wurde außerdem Anfang Juni eine Zeiternte durchgeführt (s. Tab. 2-5). Nach Erfassung der Frischmasse und Trocknung

eines Aliquots konnte auf die Höhe des Trockenmasseaufwuchses geschlossen werden.

Im Anschluss an die Ertragserhebung bei *S. tuberosum* (s. Tab. 2-5) wurden die geernteten Knollen in die Größenfraktionen < 30 mm, 30 – 40 mm, 40 – 50 mm, 50 – 60 mm und > 60 mm sortiert (s. Tab. A-3/19) und die jeweiligen Frischmassen erfasst. Aus jeder Fraktion wurde eine repräsentative Auswahl an Knollen gewaschen, abgetrocknet, längs geviertelt und zur Trocknung bei 60 °C in Scheiben geschnitten. Aufgrund des frühen Absterbens des Kartoffelkrauts musste auf eine geplante Zeiternte verzichtet werden.

Bei den Zwischenfrüchten wurde direkt nach dem Auftreten erster Nachtfröste eine Bestimmung der Sprossmasse durchgeführt (s. Tab. 2-5). Die geernteten Proben wurden von Hand in Leguminosen und Nicht-Leguminosen separiert. Von jeder Komponente wurde die Frischmasse ermittelt und eine Trockensubstanz-Bestimmung durchgeführt.

2.3.1.2 Laboranalysen der Pflanzenproben

Von den in Kap. 2.3.1.1 beschriebenen und bei 60 °C getrockneten Pflanzenproben wurden die Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalte bestimmt. Dazu wurden die Proben nach einer Zerkleinerung in einer Schneidmühle (s. Tab. A-8/6 im Anhang) in einer Ultrazentrifugalmühle (s. Tab. A-8/7 im Anhang) auf 0,2 mm vermahlen. Anschließend erfolgte die Analyse nach dem DUMAS-Verfahren (trockene Veraschung) mit einem CN-Analysengerät der Firma Elementar (s. Tab. A-8/12 im Anhang).

Die qualitativen Analysen der Körner von *T. aestivum* im Jahr 2006 fanden am Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg nach den in Tab. 2-6 beschriebenen Methoden statt (s. auch SEIBEL & BOTTERBRODT, 2005).

Tab. 2-6: Methoden der qualitativen Analysen von *T. aestivum* in 2006

Parameter	Methode
Rohproteingehalt	ICC Standard Nr. 105/2
Feuchtklebergehalt	ICC Standard Nr.106/2
Fallzahl	ICC Standard Nr.107/1
Sedimentationswert, SDS	ICC Standard Nr.151
Sedimentationswert, Zeleny	ICC Standard Nr.116/1
Hektolitergewicht	Getreideprober in 1l-Ausführung

2.3.1.3 Messung des Chlorophyllgehalts

Im Mai 2009 wurde der Chlorophyllgehalt der Blätter von *S. cereale* mit einem N-Tester der Firma Yara (s. Tab. A-8/13 im Anhang) gemessen. Die Chlorophyll-

konzentration der Blätter fungiert dabei als Indikator für den Stickstoffversorgungszustand der Pflanzen.

Der N-Tester arbeitet nach dem folgenden Prinzip: Die Lichtabsorption von Chlorophyll ist in den beiden Wellenlängenbereichen „rot“ (650 nm) und „nahinfrarot“ (960 nm) sehr unterschiedlich. Im roten Bereich ist die Absorption sehr hoch und unbeeinflusst von Carotin, im nahinfraroten Bereich extrem niedrig. In dem N-Tester emittieren Leuchtdioden Licht der beiden Wellenlängen und durchdringen ein Pflanzenblatt. Ein Rezeptor empfängt das vom Pflanzenblatt übertragene Licht und erzeugt analoge elektrische Signale. Nach Umwandlung in digitale Signale wird ein numerischer dimensionsloser Wert erzeugt, der in enger Beziehung zum Chlorophyllgehalt des Pflanzenblatts steht.

Zur Messung des Chlorophyllgehalts wurden im Entwicklungsstadium BBCH 61 von *S. cereale* pro Parzelle die Fahnenblätter von 30 Einzelpflanzen untersucht. Die Einzelwerte wurden zu einem Mittelwert für jede Parzelle zusammengefasst.

2.3.1.4 Erhebungen der Segetalflora

In den Druschfrüchten wurde jeweils im Frühjahr vor der ersten Maßnahme zur Beikrautregulierung in den wachsenden Beständen eine Bonitur der Segetalflora durchgeführt. Mit Hilfe von Göttinger Zähl- und Schätzrahmen (Fläche 0,1 m²) bonitierten 2 Personen unabhängig voneinander an je 2 Bereichen pro Parzelle zunächst den gesamten Beikrautdeckungsgrad. Danach wurden die 10 häufigsten Beikrautarten zahlenmäßig erfasst.

Im Juni wurde ebenfalls in den Druschfrüchten das Aufkommen von *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) bestimmt. Dazu wurden in allen Parzellen sämtliche oberirdischen Pflanzenteile von *C. arvense* gesammelt und die Frischmasse ermittelt. Anschließend wurde ein Aliquot bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, um auf die Trockenmasse schließen zu können.

Das hinter dem Parzellenmähdrescher aufgefangene Erntegut (s. Kap. 2.3.1.1) wurde von Hand in Stroh und Beikraut getrennt und die jeweiligen Frischmassen erfasst. Anschließend wurde eine Trockensubstanz-Bestimmung durchgeführt.

In *S. tuberosum* wurde die Segetalflora als Spätverunkrautung kurz vor der Ernte erfasst. Hierzu wurde die Beikrauthöhe in cm an 10 Stellen jeder Parzelle gemessen.

2.3.2 Untersuchungen des Bodens

In Tab. 2-7 sind die anhand von Bodenproben untersuchten Parameter, die Probenahmeterminen, die Tiefenstufen und die Anzahl beprobter Varianten aufgelistet. Bei

besonders aufwändigen Analysen konnten nicht alle Varianten oder nicht alle Tiefenstufen beprobt werden.

Die Trockenrohddichte wurde an ungestörten Bodenproben bestimmt, alle anderen Parameter an gestörten Proben.

Tab. 2-7: Beschreibung der durchgeführten Bodenuntersuchungen

Parameter	Termin der Probenahme	Tiefenstufen in cm	Varianten	Geräte
$N_{\min}$	Vegetationsbeginn und Vegetationsende	0–30, 30–60, 60–90	alle	3-teilige Bohrstocksets
C_t und N_t	März 2004 + 2005	0–12, 17–25, 0–30	alle	dito
	März 2006–2009	0–12, 17–25, 0–30, 30–60, 60–90		
$CaCO_3$ -C	März 2006	0–12, 17–25	alle	dito
	März 2007	0–30		
	März 2008	0–12, 17–25		
	März 2009	0–12, 17–25, 0–30, 30–60, 60–90		
Grundnährstoffe	März 2009	0–12, 17–25, 0–30	alle	dito
Mikronährstoffe	März 2009	0–30	Sammelproben	dito
Dehydrogenase-Aktivität	Juni 2006	0–12, 17–25, 30–40	6 Varianten	dito
	Oktober 2007	0–12, 17–25	alle	
Mikrobielle Biomasse	November 2005	0–30	alle	dito
	Juni 2006	0–12	6 Varianten	dito
TRD	Mai 2006	0–12, 17–25	4 Varianten	Stechzylinder
	März 2009	0–10, 10–20, 20–30, 30–60, 60–90	alle	

2.3.2.1 Entnahme von Bodenproben

Jeweils im Frühjahr und im Herbst wurden mit 3-teiligen Bohrstocksets an 2 gegenüberliegenden Bereichen pro Parzelle je 4 Einstiche im Oberboden (0–30 cm), je 2 Einstiche 30–60 cm und je 2 Einstiche 60–90 cm vorgenommen. Die Proben des Oberbodens wurden gegebenenfalls weiter in die Tiefenstufen 0–12 cm und 17–25 cm separiert. Danach wurden Mischproben der einzelnen Tiefen hergestellt.

Bodenproben für die Analysen von $N_{\min}$, Dehydrogenase-Aktivität und mikrobielle Biomasse wurden sofort in Kühltaschen bis zur Weiterverarbeitung zwischengelagert. Die Proben zur Bestimmung des Gesamtkohlenstoff-, Gesamtstickstoff-, Carbonatkohlenstoff-, Grundnährstoff- und Mikronährstoff-Gehalt wurden ungekühlt in Polyethylenbeuteln in das Feldlabor transportiert.

Die Stechzylinder (Volumen 100 cm³) zur Bestimmung der Trockenrohddichte wurden vertikal in den Boden getrieben. Im Mai 2006 wurden pro Parzelle und Tiefen-

stufe 4 Zylinder entnommen. Für die Beprobung bis 90 cm Tiefe im März 2009 diente ein Stechzylinderset der Firma Eijkelkamp (s. Tab. A-8/8 im Anhang). Dieses Set erlaubt die Entnahme von ungestörten Bodenproben, ohne eine Bodengrube auszuheben.

2.3.2.2 Laboranalysen der Bodenproben

Zur Bestimmung des Gehalts an löslichem Stickstoff im Boden wurden die in Kap. 2.3.2.1 beschriebenen Bodenproben zunächst mit Spachteln zerkleinert und homogenisiert. Grobe organische Bestandteile wurden aussortiert und an einer Teilprobe des Bodens eine Trockensubstanzbestimmung bei 105 °C durchgeführt. Zur Extraktion wurden 100 g Boden in 750 ml PE-Schüttelflaschen mit 200 ml einer 0,0125 molaren CaCl_2 -Lösung versetzt und in einem Überkopfschüttler (s. Tab. A-8/9) für 60 min geschüttelt. Die Bodensuspension wurde über N-freie Faltenfilter in 50 ml PE-Extraktflaschen filtriert. Im Filtrat wurden mittels luftsegmentierter Durchflussanalyse (s. Tab. A-8/14) die mineralischen Stickstofffraktionen ($\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$) nach DIN ISO 19746 colorimetrisch detektiert.

Vor den Analysen des Gesamtkohlenstoff- und Gesamtstickstoff-Gehalts der in Kap. 2.3.2.1 beschriebenen und bei 40 °C getrockneten Proben wurde ein Aliquot des Bodens in einer Fliehkraftkugelmühle (s. Tab. A-8/10 im Anhang) fein vermahlen und homogenisiert. Die C_t - und N_t -Bestimmung erfolgte durch oxidative Verbrennung bei 950 °C in einem CN-Analysengerät (s. Tab. A-8/12 im Anhang). Der Anteil an C und N in den Verbrennungsgasen wurde mittels thermischer Konduktometrie nach DIN ISO 10694:08.96 bzw. nach DIN ISO 13878 gemessen.

Der anorganisch gebundene Carbonat-Kohlenstoff im Boden wurde mit einer Apparatur nach Scheibler bestimmt. Dabei wurde mit verdünnter Salzsäure CO_2 freigesetzt und volumetrisch nach DIN ISO 10693 detektiert.

Der organisch gebundene Kohlenstoff wurde aus der Differenz von Gesamtkohlenstoff und Carbonat-Kohlenstoff berechnet.

Die Bestimmungen von pH-Wert, Haupt- und Mikronährstoffen wurden vom Hessischen Landeslabor, Kassel, durchgeführt. Die einzelnen Prüfmethoden sind in Tab. 2-8 aufgeführt.

Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse erfolgte am Institut für Angewandte Mikrobiologie der JLU Gießen nach der Chloroform-Fumigations-Extraktionsmethode (CFE) nach JÖRGENSEN (1996).

Die Dehydrogenase-Aktivität wurde 2006 ebenfalls am Institut für Angewandte Mikrobiologie nach ALEF (1995) ermittelt. Im Jahr 2007 fanden diese Untersuchungen an der Professur für Organischen Landbau nach DIN ISO 23753-1 statt.

Tab. 2-8: Prüfmethoden der Untersuchungen auf pH-Wert, Haupt- und Mikronährstoffe

Parameter	Prüfmethode
pH-Wert	VDLUFA Methodenhandbuch Bd. 1, A 5.1.1.4
Phosphor	VDLUFA Methodenhandbuch Bd. 1, A 6.2.1.1
Kalium	VDLUFA Methodenhandbuch Bd. 1, A 6.2.1.1
Magnesium	VDLUFA Methodenhandbuch Bd. 1, A 6.2.4.1
Eisen	DIN EN ISO 11885
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2
Zink	DIN EN ISO 17294-2
Mangan	DIN EN ISO 11885
Bor	DIN EN ISO 17294-2
Molybdän	DIN EN ISO 17294-2

Die Bodenproben aus den Stechzylindern (vgl. Kap. 2.3.2.1) zur Bestimmung der Trockenrohddichte wurden zunächst bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und zurückgewogen. Die festgestellten Werte wurden später zur Berechnung der C- und N-Massen pro ha verwendet, weil auch die C- und N-Gehalte anhand der bei 40 °C getrockneten Proben bestimmt wurden.

Nach der Trocknung bei 40 °C wurde der Boden weiter bei 105 °C getrocknet, um die Trockenrohddichte nach der folgenden Formel zu bestimmen (FIEDLER et al., 1964):

$$\text{TRD} = \frac{\text{TM}}{\text{V}} \quad (2.1)$$

mit: TRD = Trockenrohddichte [g cm⁻³]
 TM = Trockenmasse [g]
 V = Stechzylindervolumen [cm³]

2.3.2.3 Messung des Eindringwiderstands

Zur Erfassung von versuchsbedingten Verdichtungsunterschieden im Boden wurden im März 2009 Messreihen zur Ermittlung des Bodenwiderstands gegen Penetrationskräfte durchgeführt. Dazu wurde ein elektronischer Penetrologger der Firma Eijkelkamp (s. Tab. A-8/11 im Anhang) eingesetzt, dessen Sondierstange jeweils 80 cm tief in den Boden eingedrückt wurde. Ein interner Ultraschallsensor ermittelte dabei die Eindringtiefe bei einer Eindringgeschwindigkeit von 2 cm s⁻¹. Über eine Konusspitze (Messfläche 1 cm², Winkel 60 °) und die Sondierstange wurden die Bodenwiderstände auf einen Kraftaufnehmer übertragen. Die Datenerfassung in der Bodentiefe erfolgte in 1 cm-Abschnitten. Pro Parzelle erfolgten 10 Messwiederholungen. Die Messdaten wurden in Megapascal (MPa) angegeben.

2.4 Verwendete Formeln und Koeffizienten

Im Folgenden werden die Kalkulationen im Rahmen der Nährstoffbilanzierungen und die Berechnungen der Massen an organischem Kohlenstoff und an Gesamt-Stickstoff im Boden erläutert.

Zur Berechnung der flächenbezogenen N-Salden und der Systemverwertungsraten für die 3 Betriebssysteme wurden in Anlehnung an HÜLSBERGEN (2003) die folgenden Formeln verwendet:

$$S_N = N_I + N_{ASYM} + N_{SYM} + N_{SG} + N_{SD} + N_{OD} - \Delta N_t - N_E \quad (2.2)$$

$$SVW_N = \frac{N_E}{N_I + N_{ASYM} + N_{SYM} + N_{SG} + N_{SD} + N_{OD} - \Delta N_t} \cdot 100 \quad (2.3)$$

mit:	S_N	=	N-Saldo	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	N_I	=	N-Immissionen	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	N_{ASYM}	=	asymbiotisch fixierter N	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	N_{SYM}	=	durch Leguminosen symbiotisch fixierter N	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	N_{SG}	=	N-Zufuhr mit Saatgut	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	N_{SD}	=	N-Zufuhr mit Stroh- und Gründüngung	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	N_{OD}	=	N-Zufuhr mit org. Düngern der Tierhaltung	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	ΔN_t	=	Änderungen des Boden-N-Vorrats	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	N_E	=	N-Entzug mit Ernteprodukten	[kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
	SVW_N	=	N-Systemverwertung	[%]

Für die einzelnen Parameter wurden die Mittelwerte aus den Ergebnissen der Einzelparzellen verwendet. Die N-Immissionen wurden mit 15 kg ha⁻¹ a⁻¹, der asymbiotisch fixierte Stickstoff mit 5 kg ha⁻¹ a⁻¹ abgeschätzt.

Der symbiotisch fixierte Stickstoff wurde auf Einzelparzellenebene nach STEINBACHINGER et al. (2004) mit Hilfe der Formel (2.4) für Futterleguminosen-Gemenge, Grünbrache und Zwischenfrüchte sowie mit der Formel (2.5) für Körnerleguminosen berechnet.

Dabei wurden N_{SPROSS} und N_{KORN} aus Ertragsfeststellungen und den Analysenergebnissen der N-Gehalte berechnet. Die Werte zu Leguminosenertragsanteilen stammen ebenfalls aus eigenen Erhebungen.

$$N_{\text{SYM}} = (N_{\text{SPROSS}} + N_{\text{EWR}}) \cdot \text{Leguminosenertragsanteil} \cdot N_{\text{dfa}} \quad (2.4)$$

$$N_{\text{SYM}} = (N_{\text{KORN}} + N_{\text{EWR}}) \cdot N_{\text{dfa}} \quad (2.5)$$

mit:	N_{SYM}	=	durch Leguminosen symbiotisch fixierter N	[kg ha ⁻¹]
	N_{SPROSS}	=	N-Menge im Spross	[kg ha ⁻¹]
	N_{EWR}	=	N-Menge in Ernte-Wurzel-Rückständen	[kg ha ⁻¹]
	N_{Korn}	=	N-Menge in den geernteten Körnern	[kg ha ⁻¹]
	N_{dfa}	=	Anteil der symbiotischen N-Bindung am Gesamt-N-Gehalt der Pflanzen	[%]

N_{EWR} und N_{dfa} wurden gemäß der in Tab. 2.9 aufgeführten Faktoren für TM_{EWR} , N_{EWR} -Gehalte und N_{dfa} abgeschätzt, wobei Richtwerte von STEIN-BACHINGER et al. (2004) und SCHMIDTKE (1997) Berücksichtigung fanden.

Tab. 2-9: Faktoren zur Abschätzung von TM_{EWR} , N_{EWR} -Gehalt und N_{dfa}

Feldfrucht	TM_{EWR}	N_{EWR} -Gehalt in %	N_{dfa}
LKG-Gemenge, Schnittnutzung Schröpschnitt im Ansaatjahr	$0,60 \cdot TM_{\text{SPROSS}}$	1,75	0,70
LKG-Gemenge, Schnittnutzung 1. und 2. Hauptnutzungsjahr	$0,75 \cdot TM_{\text{SPROSS}}$	1,75	0,85
LKG-Gemenge, Grünbrache 1. Aufwuchs	$0,75 \cdot TM_{\text{SPROSS}}$	1,75	0,85
LKG-Gemenge, Grünbrache 2. bis 4. Aufwuchs	$0,75 \cdot TM_{\text{SPROSS}}$	1,75	0,60
<i>V. faba</i> und <i>P. sativum</i>	$1,50 \cdot TM_{\text{SPROSS}}$	1,40	0,75
Zwischenfrucht im Ansaatjahr	$0,60 \cdot TM_{\text{SPROSS}}$	1,75	0,70

LKG = Luzerne-Klee gras

Zur Berechnung von ΔN_t in den Gleichungen (2.2) und (2.3) wurden die Mittelwerte von N_t der Einzelparzellen in den Jahren 1998 – 2009 für die Bodenschicht 0 – 30 cm kalkuliert. Daraufhin wurden in den Zeitreihen die Trendlinien durch lineare Regression ermittelt. Schließlich ergab sich der ΔN_t -Wert für jedes Betriebssystem bzw. jedes Bodenbearbeitungssystem als Regressionskoeffizient aus den Regressionsgeraden.

Soweit verfügbar, stammten die Nährstoffgehalte an Stickstoff, Phosphor und Kalium für die Nährstoffbilanzen aus eigenen Analysen. Andernfalls fanden spezielle Werte für den Ökologischen Landbau von KÖHLER & KOLBE (2007) und ZIMMER & DITTMANN (2004) Verwendung. Aus bilanztechnischen Gründen sind die Nährstoff-

massen der Koppelprodukte, die auf den Parzellen verblieben, in gleicher Höhe sowohl im Input als auch im Output aufgeführt (s. Tab. A-17 bis A-22 im Anhang).

Für die Darstellung der Massen an organischem Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoff im Boden pro Flächeneinheit dienten die folgenden Formeln:

$$M_C = 10.000 \cdot SD \cdot TRD \cdot Konz_C \quad (2.6)$$

$$M_N = 10.000 \cdot SD \cdot TRD \cdot Konz_N \quad (2.7)$$

mit:	M_C	=	Kohlenstoff-Masse pro Flächeneinheit	$[kg\ ha^{-1}]$
	M_N	=	Gesamt-Stickstoff-Masse pro Flächeneinheit	$[kg\ ha^{-1}]$
	SD	=	Schichtdicke	$[m]$
	TRD	=	Trockenrohdichte	$[Mg\ m^{-3}]$
	$Konz_C$	=	Gehalt an Kohlenstoff	$[g\ kg^{-1}]$
	$Konz_N$	=	Gehalt an Stickstoff	$[g\ kg^{-1}]$

Zur Berechnung des Status der C_{org} - und N_t -Massen am Ende der 2. Fruchtfolgerotation im Jahr 2009 wurden die Werte auf Einzelparzellenebene um die entsprechenden Ausgangswerte von 1998 nach der folgenden Formel korrigiert:

$$M_{kor} = (M_{2009} - M_{1998}) + \emptyset M_{1998} \quad (2.8)$$

mit:	M_{kor}	=	korrigierte C_{org} - bzw. N_t -Masse 2009	$[kg\ ha^{-1}]$
	M_{1998}	=	gemessene C_{org} - bzw. N_t -Masse 1998	$[kg\ ha^{-1}]$
	M_{2009}	=	gemessene C_{org} - bzw. N_t -Masse 2009	$[kg\ ha^{-1}]$
	$\emptyset M_{1998}$	=	durchschnittliche gemessene C_{org} - bzw. N_t -Masse 1998	$[kg\ ha^{-1}]$

In die Berechnungen flossen somit die absoluten Zu- respektive Abnahmen der C_{org} - und N_t -Massen im Zeitraum 1998 – 2009 ein.

2.5 Statistik

Für die varianzanalytischen Berechnungen der zweifaktoriellen Spaltanlage wurde das folgende lineare Modell zugrunde gelegt, wie es auch bei DUFNER et al. (2004) und PIEPHO et al. (2003) beschrieben ist. Die Darstellung wurde leicht modifiziert:

$$Y_{ijk} = \mu + bl_k + \alpha_i + \beta_j + G_{ik} + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.9)$$

mit:	Y_{ijk}	=	Merkmalswert
	μ	=	Gesamtmittel
	bl_k	=	Effekt des k-ten Blocks
	α_i	=	Effekt des Großparzellen-Faktors A
	β_j	=	Effekt des Kleinparzellen-Faktors B
	G_{ik}	=	Varianz der i-ten Großparzelle im k-ten Block
	γ_{ij}	=	Wechselwirkung zwischen der i-ten Stufe von A und der j-ten Stufe von B
	ε_{ijk}	=	Kleinparzellenvarianz

Die statistischen Analysen wurden mit dem Programmpaket SAS, Version 9.1.3, auf der Basis eines gemischten Modells mit der Prozedur General Linear Model (GLM) durchgeführt. Unter der Anweisung RANDOM wurden die zufälligen Faktoren Blockeffekte und Großparzellenfehler extra benannt. Für die paarweisen Vergleiche der Betriebssysteme (Großparzellen) mit der Anweisung MEANS wurde der Nenner für die Berechnung des F-Testwertes durch den Zusatz „E=BLOCK*BETRIEBSSYSTEM“ (=Großparzellenfehler) umdefiniert (SAS INSTITUTE INC., 2008).

Die Tests auf Normalverteilung der Residuen wurden mit dem Shapiro-Wilk-Test durch die SAS-Prozedur UNIVARIATE option NORMAL realisiert, die Prüfungen auf Homoskedastizität mit Hilfe des Levene-Tests. Falls die Voraussetzungen Normalverteilung oder Homogenität der Varianzen nicht erfüllt waren, wurde versucht, diese durch Datentransformation herzustellen. Traten bei varianzanalytischen Berechnungen mit transformierten Daten niedrigere p-Werte auf als bei den Originaldaten, fanden jene p-Werte keine Berücksichtigung, sondern die der Originaldaten. Wenn die Bedingungen Normalverteilung und/oder Varianzhomogenität auch durch Transformation der Daten nicht erreicht werden konnten, wurden varianzanalytische Berechnungen trotzdem durchgeführt. Diese seltenen Fälle sind so zu deuten, dass die entsprechenden p-Werte mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Daher wird im Text speziell auf eine defensive Interpretation dieser Ergebnisse hingewiesen.

Multiple Mittelwertvergleiche wurden mit dem t-Test (LSD) für den Faktor Betriebssysteme mit 3 Faktorstufen und mit dem Tukey-Test (HSD) für die Bodenbearbeitungssysteme mit 4 Faktorstufen durchgeführt. Irrtumswahrscheinlichkeiten wurden berechnet für:

$\alpha = 0,05$	signifikant	*
$\alpha = 0,01$	hoch signifikant	**
$\alpha = 0,001$	höchst signifikant	***

Falls signifikante Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem und Bodenbearbeitung auftraten, wurde auf eine 2-faktorielle Berechnung verzichtet. Es wurden dann die Bodenbearbeitungssysteme auf der Ebene der einzelnen Betriebssysteme verglichen.

Zur statistischen Verrechnung der Fruchtfolgeerträge der verschiedenen Betriebssysteme wurden die Erträge der Einzeljahre auf Einzelparzellenebene addiert und die Summen statistisch analysiert. Dies ist grundsätzlich nur bei gleicher Anzahl an Summanden der zu vergleichenden Varianten statthaft. Beim Vergleich der Markterträge mit unterschiedlicher Anzahl Summanden wurde eine statistische Verrechnung dennoch durchgeführt. Dadurch soll, unter ausdrücklicher Erwähnung der Problematik, aufgezeigt werden, welche Auswirkungen eine unterschiedliche Anzahl an Fruchtfolgefeldern mit marktfähigen Produkten auf die Fruchtfolgeleistung hat. Bei der Darstellung der Ergebnisse der multiplen Mittelwertvergleiche wurden die folgenden international üblichen Abkürzungen statistischer Symbole verwendet:

M	=	Mean (Mittelwert)
SE	=	Standard Error (Standardfehler)
LSD	=	Least Significant Difference (kleinste signifikante Differenz)

3 Ergebnisse

3.1 Erträge

Wenn alternative Verfahren gegenüber etablierten getestet werden, ist die Ertragshöhe meistens von vorrangigem Interesse. Es stellt sich die Frage, ob mit den alternativen Prozessen gleiche oder zumindest annähernd gleiche Erträge erzielt werden können, falls mit den neuen Verfahren z. B. Vorteile für die Umwelt verbunden sind. Daher werden für den Dauerfeldversuch Gladbacherhof zunächst die Erträge der einzelnen Jahre und anschließend die Fruchtfolgeleistungen in ihrer Gesamtheit über die 2. Rotation vorgestellt.

3.1.1 Erträge der Einzelkulturen in der 2. Rotation

Im Folgenden werden die Erträge der Einzelkulturen chronologisch, getrennt nach Versuchsjahren, vorgestellt. Dabei endet ein Versuchsjahr jeweils mit der Ernte der Hauptfrucht im Sommer bzw. mit der 4. Beerntung der Luzerne-Klee gras-Gemenge. Zur Beurteilung der Ertragshöhe werden Parallelen zu den Erträgen der Feldkulturen des Gladbacherhofes und zu den Ernten der 1. Fruchtfolgerotation aufgezeigt.

Neben den Erträgen der Hauptfrüchte werden auch die der Koppelprodukte vorgestellt, weil diese ebenfalls in die Berechnungen der Fruchtfolgeerträge und der Nährstoffbilanzen einfließen.

Bei den Luzerne-Klee gras-Gemengen sind neben den Sprossmasseerträgen die Leguminosen-Anteile von besonderem Interesse, weil diese beiden Parameter den größten Einfluss auf die N₂-Fixierungsleistung haben (BUTLER & LADD, 1985; STEINBACHINGER et al., 2004).

3.1.1.1 Hauptfrüchte im Erntejahr 2004

Im ersten Jahr der 2. Rotation stand im Betriebssystem mit Viehhaltung (GM-V) ein schnittgenutztes Gemenge aus *M. sativa*, *T. pratense* und 3 *Poaceen*, das im März 2003 als Untersaat in die Deckfrucht *S. cereale* etabliert worden war. Die differenzierten Maßnahmen der Grundbodenbearbeitung waren zuletzt im September 2002 vor der Aussaat von *S. cereale* durchgeführt worden.

Die in Tab. 3-1 dargestellten Gesamt-Sprossmasseerträge umfassen einen Schröpfungsschnitt am 25.09.2003 und die 4 Schnitte des 1. Hauptnutzungsjahres 2004.

Tab. 3-1: Gesamt-Sprossmasseerträge des Luzerne-Kleegras-Gemenges [dt TM ha⁻¹] im Betriebssystem GM-V im Versuchsjahr 2003/2004 in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

	P30	ZP30/15	P15	SR30/15	Ø
M	146	152	147	150	149
	a	a	a	a	
SE	3,8	5,8	3,6	7,6	
LSD			13,9		
p-Wert		0,55	n. s.		

Mittelwerte ohne signifikante Unterschiede sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweisichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Deutlich unterdurchschnittliche Lufttemperaturen von Mai bis Juli und hohe Niederschläge im Mai und August führten zu einem sehr hohen Ertragsniveau von 149 dt TM ha⁻¹ im Mittel.

Im entsprechenden Jahr der 1. Rotation wurde mit 54,7 dt TM ha⁻¹ ein deutlich geringerer Durchschnittsertrag ermittelt. Allerdings handelte es sich 1998 zu Beginn des Versuchs um das Ansaatjahr des Luzerne-Kleegras-Gemenges mit lediglich 2 Schnitten.

Für sämtliche Futterbauschläge mit Luzerne-Kleegras des Gladbacherhofes weist SOMMER (2010) einen Durchschnittsertrag von 77,0 dt TM ha⁻¹ für 2004 aus, also auch erheblich weniger.

Im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch (Tab. 3-1) hatten die differenzierten Maßnahmen der Grundbodenbearbeitung keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamt-Sprossmasseerträge 2003/2004.

In der nach Einzelschnitten und Ertragsanteilen differenzierten Darstellung (Tab. A-14 im Anhang) wird deutlich, dass die Erträge vom 1. bis zum 4. Erntetermin 2004 stetig abfielen. Über alle 5 Erntetermine gesehen lag der Leguminosen-Ertragsanteil bei durchschnittlich 132 dt TM ha⁻¹ (88,6 %), der Poaceen-Anteil bei 14,2 dt TM ha⁻¹ (9,6 %) und der Anteil an Kräutern bei 2,7 dt TM ha⁻¹ (1,8 %). Eine kontinuierliche Reduzierung des Leguminosen-Anteils durch die häufige Schnittnutzung wurde nicht beobachtet. Er stieg im Gegenteil bis zum 3. Schnitt sogar an, um zum 4. Schnitt auf 78,8 % abzufallen.

Bei Betrachtung der einzelnen Schnitttermine waren keine signifikanten Unterschiede bei den Bodenbearbeitungsvarianten bezüglich Gesamt-Sprossmasseertrag, Leguminosen-Anteil und Anteil an Poaceen feststellbar. Lediglich beim 2. Schnitt wies die Variante „tief wendender Pflug“ (P30) einen signifikant niedrigeren Kräuter-Anteil auf als die Variante mit reduzierter Bearbeitungstiefe (P15), bei einem insgesamt sehr geringen Anteil an Kräutern.

In dem viehlosen Betriebssystem mit Grünbrache (VL-GB) und in dem reinen Marktfruchtsystem (VL-MF) wuchs im Versuchsjahr 2004 das Sommergetreide *A. sativa* cv. Flämingsprofi. Aufgrund eines Frühjahrs mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen konnte das Getreide Anfang April gedrillt werden. Bis auf die Ausbringung der Untersaat in VL-GB wurden beide Betriebssysteme identisch bewirtschaftet. Am 22.10.2003 wurden die letzten differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung vor dem Sommergetreide durchgeführt (s. Tab. A-13 im Anhang).

In Tab. 3-2 sind die Erträge an Korn, Stroh und die Gesamterträge von *A. sativa* aufgeführt. Im Mittel über alle Varianten wurde ein Kornertrag von 36,1 dt TM ha⁻¹ erhoben. Das ist deutlich weniger als der Ertrag des Sommerweizens (42,4 dt TM ha⁻¹) an der entsprechenden Position der 1. Fruchtfolgerotation 1998 und etwa auf dem Niveau, das SOMMER (2010) als Durchschnitt für alle Haferschläge (38,8 dt TM ha⁻¹) des Gladbacherhofes für 2004 nennt.

Tab. 3-2: Erträge von *A. sativa* (Hafer) [dt TM ha⁻¹] im Versuchsjahr 2004 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme		Bodenbearbeitungssysteme			
		VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Korn- ertrag	M	37,3	35,0	36,5	37,5	41,8	28,8
		a	a	a	a	a	b
	SE	1,6	1,91	1,9	2,4	1,0	2,0
	LSD	7,39		6,24			
	p-Wert	0,40	n. s.	0,0001		****	
Stroh- ertrag	M	32,1	31,9	31,6	32,5	36,8	27,0
		a	a	bc	ab	a	cd
Gesamt- ertrag	M	69,3	66,8	68,0	70,0	78,6	55,7
		a	a	a	a	a	b

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischiichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Bezüglich der Betriebssysteme unterschieden sich die Erträge nicht signifikant. Bei den Systemen der Bodenbearbeitung wies dagegen die pfluglose Variante SR30/15 sowohl beim Korn als auch beim Gesamtertrag geringere Werte als alle anderen Varianten auf.

3.1.1.2 Hauptfrüchte im Erntejahr 2005

Im zweiten Jahr der 2. Rotation stand im Betriebssystem GM-V das schnittgenutzte Gemenge aus *M. sativa*, *T. pratense* und 3 *Poaceen* im 2. Hauptnutzungsjahr, im viehlosen System VL-GB ein Gemenge mit der gleichen Aussaatmischung, das als Untersaat in *A. sativa* im April 2004 etabliert worden war und als Grünbrache be-

wirtschaftet wurde. Aufgrund der späten Ernte der Deckfrucht *A. sativa* konnte ein Schröpfungsschnitt im Herbst 2004 nicht mehr durchgeführt werden. Die letzten differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung hatten für GM-V im September 2002 und für VL-GB am 22.10.2003 stattgefunden (s. Tab. A-13 im Anhang).

In Tab. 3-3 sind zum Vergleich die Erträge des Systems GM-V aus dem ersten Hauptnutzungsjahr 2004, die auch in Tab. 3-1 aufgeführt sind, erneut dargestellt. Die Gesamt-Sprossmasseerträge 2005 umfassen 4 Schnitt- bzw. Mulchtermine, wobei sich das Gemenge in GM-V bereits im zweiten, in VL-GB dagegen im ersten Hauptnutzungsjahr befand.

Eine Periode von Mitte Mai bis zum 24. Juli 2005 mit geringen Niederschlägen in Kombination mit hohen Lufttemperaturen im Juni begrenzten den Gesamt-Sprossmasseertrag der Luzerne-Klee gras-Gemenge auf im Mittel 103 dt TM ha⁻¹. Das war deutlich weniger als der Ertrag des Gemenges an der entsprechenden Position der 1. Fruchtfolgerotation 1999 (153 dt TM ha⁻¹). SOMMER (2010) gibt als Durchschnittsertrag für den Gladbacherhof im Jahr 2005 einen sehr niedrigen Ertrag von 64,0 dt TM ha⁻¹ an.

Tab. 3-3: Gesamt-Sprossmasseerträge der Luzerne-Klee gras-Gemenge [dt TM ha⁻¹] in den Versuchsjahren 2004 (nur GM-V) und 2005 (GM-V und VL-GB) in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

	Betriebssysteme		Bodenbearbeitungssysteme			
	GM-V	VL-GB	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
2004: M (vgl. Tab. 3-1)	149(1. HNJ)		146	152	147	150
2005: M	92,4(2. HNJ)	113(1. HNJ)	99,9	104	103	104
	a	a	a	a	a	a
SE	2,9	3,6	7,6	3,3	6,7	6,2
LSD	35,0		12,2			
p-Wert	0,74	n. s.	0,15		n. s.	

Mittelwerte ohne signifikante Unterschiede sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

HNJ = Hauptnutzungsjahr, M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Aufgrund einer großen Streuung der Einzelwerte in dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch wurde eine relativ große Differenz der Mittelwerte der beiden Betriebssysteme als statistisch nicht signifikant ausgewiesen. Auch bei den Bodenbearbeitungssystemen wurden keine signifikanten Unterschiede im Gesamt-Sprossmasseertrag ermittelt.

In der nach Einzelschnitten und Ertragsanteilen differenzierten Darstellung (Tab. A-15 im Anhang) wird deutlich, dass der Gesamt-Sprossmasseertrag des 3. Schnitts nach der langen Trockenperiode mit 8,1 dt TM ha⁻¹ besonders niedrig ausfiel. In der Summe aller 4 Schnitte lag der Leguminosen-Ertragsanteil im Be-

triebssystem GM-V bei durchschnittlich 72,1 dt TM ha⁻¹ (78,0 %) und im System VL-GB bei 93,3 dt TM ha⁻¹ (82,4 %), wobei er in allen Einzelschnitten in dem viehlosen System VL-GB prozentual über dem Leguminosen-Ertragsanteil im System GM-V lag.

Im Marktfruchtsystem VL-MF wuchs im Versuchsjahr 2005 die Körnerleguminose *V. faba* cv. Divine. Am 12.12.2004 wurden die letzten differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung vor der Sommerfeldfrucht durchgeführt und am 09.06.2005 eine Untersaat aus *L. multiflorum* ausgesät (s. Tab. A-7 und A-13 im Anhang).

In Tab. 3-4 sind die Erträge an Korn, Stroh und die Gesamterträge von *V. faba* aufgeführt. Im Mittel über alle Varianten wurde ein Korntrag von 35,1 dt TM ha⁻¹ gegenüber 32,1 dt TM ha⁻¹ in der 1. Rotation im Jahr 1999 ermittelt. SOMMER (2010) nennt für alle Ackerbohenschläge des Gladbacherhofes in 2005 einen Durchschnittsertrag von 27,3 dt TM ha⁻¹. Nach einer guten Jugendentwicklung litten auch die Bestände von *V. faba* unter der erwähnten Trockenperiode in der Blühphase und reagierten mit dem Abwurf zahlreicher Blüten.

Durch das Auftreten jeweils eines Ausreißerwertes beim Korn- und Strohertrag bei P30 und SR30/15 wurden die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen statistisch als nicht signifikant ausgewiesen.

Tab. 3-4: Erträge von *V. faba* (Ackerbohne) [dt TM ha⁻¹] im Versuchsjahr 2005 im Betriebssystem VL-MF in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

		Bodenbearbeitungssysteme				Ø
		P30	ZP30/15	P15	SR30/15	
Korn- ertrag	M	38,1	35,3	35,6	31,2	35,1
		a	a	a	a	
	SE	2,5	1,9	1,5	2,7	
	LSD			8,37		
	p-Wert		0,15	n. s.		
Stroh- ertrag	M	22,7	23,2	21,6	19,1	21,7
		a	a	a	a	
Gesamt- ertrag	M	60,8	58,5	57,2	50,4	56,7
		a	a	a	a	

Mittelwerte ohne signifikante Unterschiede sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

3.1.1.3 Hauptfrucht im Erntejahr 2006

Im dritten Versuchsjahr stand zum ersten Mal in der 2. Rotation in allen 3 Betriebssystemen die gleiche Feldfrucht, *T. aestivum* cv. Achat (Elite-Weizen). Daher wird dieses aufschlussreiche Jahr detaillierter beschrieben. Die differenzierten Maßnah-

men der Grundbodenbearbeitung waren zuletzt am 14.10.2005 zur Saat des Wintergetreides durchgeführt worden (s. Tab. A-13 im Anhang). Aufgrund von unterdurchschnittlichen Niederschlägen im Juni und Juli und extrem hohen Lufttemperaturen im Juli 2006 war die Phase der Abreife des Weizens deutlich verkürzt und die Ernte sehr früh.

In Tab. 3-5 sind die Erträge an Korn, Stroh und die Gesamterträge von *T. aestivum* aufgeführt. Im Mittel über alle Varianten wurde ein Kornertrag von 35,5 dt TM ha⁻¹ und damit etwa das Niveau aus der 1. Rotation (36,7 dt TM ha⁻¹) im Jahr 2000 ermittelt. SOMMER (2010) gibt als Durchschnitt über alle Winterweizenschläge des Gladbacherhofes für 2006 einen Kornertrag von 28,0 dt TM ha⁻¹ an.

Tab. 3-5: Erträge von *T. aestivum* (Winterweizen) [dt TM ha⁻¹] im Versuchsjahr 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Korn- ertrag	M	32,7	44,5	29,3	37,5	36,2	38,3	30,0
		b	a	b	a	a	a	b
	SE	1,1	2,1	1,1	2,5	2,6	2,5	2,1
	LSD		9,17			3,56		
	p-Wert		0,02	*		< 0,0001		***
Stroh- ertrag	M	37,5	50,8	36,0	42,6	42,4	45,0	35,8
		b	a	b	a	a	a	b
Gesamt- ertrag	M	70,2	95,3	65,3	80,1	78,6	83,3	65,8
		b	a	b	a	a	a	b

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

In dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch wies das Betriebssystem VL-GB bei den Erträgen an Korn, Stroh und beim Gesamtertrag signifikant höhere Werte auf als beide anderen Systeme. In der 1. Fruchtfolgerotation lagen die Kornerträge von GM-V und VL-GB auf gleicher Höhe und signifikant über denen des Betriebssystems VL-MF.

Bei den Bodenbearbeitungssystemen wurden für alle dargestellten Ertragskomponenten die signifikant niedrigsten Werte bei dem pfluglosen System SR30/15 festgestellt, während sich in der 1. Rotation im Jahr 2000 ein Minderertrag an Weizenkorn der Variante SR30/15 nur gegenüber dem tief wendenden Pflug P30 ergab.

Bereits bei einer Zeiternte zur Ermittlung der Sprossmasse am 08.06.2006 und bei Wuchshöhenmessungen am 28.06.2006 fanden sich signifikant höhere Werte bei beiden Parametern für den Betriebstyp VL-GB gegenüber GM-V und VL-MF und bei den Bodenbearbeitungsvarianten die niedrigsten Werte für SR30/15.

Zwischen den unterschiedlichen Varianten wurden jedoch bei den Weizenkörnern nicht nur quantitative, sondern auch qualitative Unterschiede festgestellt. In Tab. 3-6 sind die Ergebnisse der Untersuchungen von Qualitätsparametern wiedergegeben.

Tab. 3-6: Qualitätsparameter von *T. aestivum* (Winterweizen) im Versuchsjahr 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Rohprotein-Gehalt (%)	M	10,4	11,2	9,77	10,4	10,5	10,4	10,5
		b	a	c	a	a	a	a
	SE	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
	LSD		0,38				0,45	
	p-Wert	0,0003		***	0,87		n. s.	
Feuchtkleber-Gehalt (%)	M	19,4	21,5	18,0	19,4	19,5	19,5	20,3
		b	a	b	a	a	a	a
	SE	0,4	0,4	0,3	0,5	0,7	0,4	0,7
	LSD		1,52				1,36	
	p-Wert	0,0037		**	0,24		n. s.	
Fallzahl (sec.)	M	383	389	373	381	379	382	384
		ab	a	b	a	a	a	a
	SE	3,0	2,7	2,1	4,0	2,7	4,8	2,7
	LSD		10,4				11,5	
	p-Wert	0,02		*	0,70		n. s.	
Sedimentationswert, SDS (cm³)	M	67,5	70,7	63,8	67,0	66,5	67,4	68,4
		b	a	c	a	a	a	a
	SE	0,5	0,8	0,6	1,1	1,3	0,9	1,2
	LSD		3,05				2,65	
	p-Wert	0,004		**	0,45		n. s.	
Sedimentationswert, Zeleny (cm³)	M	34,1	37,3	29,7	32,7	33,1	34,5	34,6
		a	a	b	a	a	a	a
	SE	0,6	1,0	0,6	1,0	1,4	1,5	1,2
	LSD		3,76				2,98	
	p-Wert	0,007		**	0,21		n. s.	
Hektoliter-Gewicht (kg hl⁻¹)	M	83,0	83,5	82,5	82,9	83,0	83,0	83,2
		b	a	c	a	a	a	a
	SE	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
	LSD		0,45				0,54	
	p-Wert	0,005		**	0,61		n. s.	

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Bis auf die Parameter „Fallzahl“ und „Sedimentationswert nach Zeleny“ wies das Betriebssystem VL-GB signifikant höhere Werte auf als beide anderen Betriebstypen, bei den beiden genannten Parametern nur höhere Werte gegenüber VL-MF. Im Be-

triebssystem GM-V wurden bei 4 der 6 dargestellten Parameter höhere Werte analysiert als in VL-MF.

Die unterschiedlichen Varianten der Bodenbearbeitung wirkten sich nicht differenzierend auf die Qualitätsparameter aus.

Um die Ursachen der quantitativen und qualitativen Unterschiede der Weizenkörner im Jahr 2006 zu erforschen, wurden die üblichen Ertragsparameter ermittelt und in Tab. 3-7 dargestellt. Da die Ausprägung der aufgeführten Parameter zu unterschiedlichen Wachstumsphasen der Getreidepflanzen festgelegt wird, erlauben die Ergebnisse eine Beurteilung der Wachstumsbedingungen verschiedener Zeiträume für die Prüfglieder.

Es ergaben sich signifikante Vorteile des Betriebssystems VL-GB bei „Körnern pro Ähre“ und „Tausendkornmasse“ gegenüber beiden anderen, bei „Ähren pro m²“ nur gegenüber dem System VL-MF.

Die Varianten der Bodenbearbeitung unterschieden sich lediglich in dem Parameter „Körner pro Ähre“, bei dem sich die signifikant niedrigsten Werte für SR30/15 ergaben.

Tab. 3-7: Ertragsparameter von *T. aestivum* (Winterweizen) im Versuchsjahr 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Anzahl Ähren pro m²	M	353 ab	386 a	337 b	367 a	356 a	362 a	350 a
Anzahl Körner pro Ähre	M	21,6 b	26,3 a	20,7 b	23,6 a	23,4 a	24,4 a	20,1 b
TKM (g)	M	42,9 b	43,6 a	42,1 c	42,8 a	43,0 a	43,1 a	42,5 a

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean

Insgesamt lassen die quantitativen und qualitativen Unterschiede im Hinblick auf die Betriebstypen zunehmend günstigere Wachstumsbedingungen in der Reihenfolge VL-MF → GM-V → VL-GB erkennen.

3.1.1.4 Hauptfrucht im Erntejahr 2007

Im vierten Versuchsjahr stand zum zweiten Mal in der 2. Rotation in allen 3 Betriebssystemen die gleiche Feldfrucht, *S. tuberosum* cv. Princess (Reifegruppe früh).

Die differenzierten Maßnahmen der Grundbodenbearbeitung waren zuletzt am 25.01.2007 vor der Pflanzung der Kartoffeln durchgeführt worden (s. Tab. A-13 im Anhang). Die beiden viehlosen Betriebssysteme wurden identisch bewirtschaftet, während in GM-V am 01.08.2006 zu der Zwischenfrucht 450 dt FM ha⁻¹ Rottemist gedüngt wurde.

In einer für die Gesundheit des Kartoffelkrauts entscheidenden Zeitspanne herrschten sehr feuchte Wetterbedingungen. Vom 09.06. bis 10.07.2007 traten nur 3 Tage ohne messbaren Niederschlag auf. Außerdem waren die Lufttemperaturen überdurchschnittlich hoch. Diese Bedingungen führten zu einem sehr frühen ersten Auftreten (am 17.06.2007) von *Phytophthora infestans* an dem Kartoffelkraut. Aufgrund der Dauerfeuchtigkeit war ein Schutz des Bestandes durch Kupferpräparate nicht möglich. Daher lag der Blattverlust Anfang Juli bereits bei 70 %, und am 17.07.2007 war der Kartoffelbestand vollständig abgestorben.

In Tab. 3-8 sind die erhobenen Knollenerträge aufgeführt. Im Mittel über alle Varianten wurde mit 206 dt FM ha⁻¹ ein deutlich geringerer Ertrag als in der 1. Rotation im Jahr 2001 ermittelt (267 dt FM ha⁻¹). Der Durchschnittsertrag aller Kartoffelschläge des Gladbacherhofes betrug in diesem Jahr 220 dt FM ha⁻¹.

Tab. 3-8: Knollenerträge von *S. tuberosum* (Kartoffeln) [dt FM ha⁻¹] im Versuchsjahr 2007 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
	GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
M	216	203	199	216	202	195	212
	a	a	a	a	a	a	a
SE	6,8	10,3	8,3	11,7	8,0	8,0	11,5
LSD		26,6				32,9	
p-Wert	0,29	n. s.		0,27		n. s.	

Mittelwerte ohne signifikante Unterschiede sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krummentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischiichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

In dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch wurden, wie schon in der 1. Rotation, weder hinsichtlich der Betriebssysteme noch bei den Bodenbearbeitungssystemen signifikante Ertragsunterschiede festgestellt.

Auch die Auswertungen der Erträge in den einzelnen Größenfraktionen < 30 mm, 30–40 mm, 40–50 mm, 50–60 mm und > 60 mm führten zu keinem zusätzlichen Erkenntnisgewinn.

3.1.1.5 Hauptfrüchte im Erntejahr 2008

Im fünften Jahr der 2. Rotation stand im Betriebssystem GM-V das Wintergetreide *T. aestivum* cv. Akrotos, ein A-Weizen. Die differenzierten Maßnahmen der Grundbodenbearbeitung waren zuletzt am 09.10.2007 zur Saat des Wintergetreides durchgeführt worden (s. Tab. A-13 im Anhang).

Günstige Umweltbedingungen über die gesamte Wachstumsperiode führten zu einem außergewöhnlich hohen Kornertrag von 59,2 dt TM ha⁻¹ im Mittel aller Varianten. Aufgrund hoher Lufttemperaturen erstreckte sich die Vegetationsperiode bis in den Dezember 2007 bei einem gleichzeitig sehr hohen Angebot an mineralischem Stickstoff im Boden (vgl. Abb. 3-12 in Kap. 3.3.3.1). Überdurchschnittliche Sommerniederschläge sorgten für eine ausreichende Wasserversorgung bis zur Abreife von *T. aestivum*.

Im Durchschnitt aller Weizenschläge des Gladbacherhofes wurde 2008 ein deutlich niedrigeres Ertragsniveau von 34,8 dt TM ha⁻¹ ermittelt. Mit den Ergebnissen aus der 1. Fruchtfolgerotation (2002) sind die Werte 2008 nur bedingt vergleichbar, weil an entsprechender Position der 1. Rotation ein Gemenge aus *A. sativa* und *P. sativum*, als Ganzpflanzensilage genutzt, angebaut worden war.

In Tab. 3-9 sind die Erträge an Korn, Stroh und die Gesamterträge von *T. aestivum* aufgeführt. Bei keinem der dargestellten Ertragskomponenten wirkten sich die Bodenbearbeitungssysteme quantitativ differenzierend aus.

Die Qualität der Weizenkörner wurde jedoch dahin gehend beeinflusst, dass im System P30 die signifikant höchsten Rohprotein-Gehalte auftraten. Dies deutet auf eine bessere Versorgung der Pflanzen mit mineralischem Stickstoff hin.

Tab. 3-9: Erträge von *T. aestivum* (Winterweizen) [dt TM ha⁻¹] im Versuchsjahr 2008 im Betriebssystem GM-V in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

		Bodenbearbeitungssysteme				
		P30	ZP30/15	P15	SR30/15	Ø
Korn- ertrag	M	60,6	58,2	58,5	59,6	59,2
		a	a	a	a	
	SE	4,11	2,41	3,92	2,35	
	LSD	11,1				
	p-Wert	0,90				
Stroh- ertrag	M	54,6	53,5	55,2	58,1	55,3
		a	a	a	a	
Gesamt- ertrag	M	115	112	114	118	115
		a	a	a	a	

Mittelwerte ohne signifikante Unterschiede sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweisichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Bezüglich der üblichen Ertragsparameter „Ähren pro m²“, „Körner pro Ähre“ und „Tausendkornmasse“ wurden keine signifikanten Unterschiede bei den verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung festgestellt.

In den viehlosen Betriebssystemen VL-GB und VL-MF wuchs im Versuchsjahr 2008 die Körnerleguminose *P. sativum* cv. Respect, eine halbblattlose Erbsensorte. Beide Betriebssysteme wurden in diesem Jahr identisch bewirtschaftet. Am 17.12.2007 wurden die letzten differenzierten Maßnahmen der Grundbodenbearbeitung vor der Sommerfeldfrucht durchgeführt (s. Tab. A-13 im Anhang). Aufgrund überdurchschnittlich hoher Niederschläge von Februar bis April 2008 konnte die Aussaat erst Ende April erfolgen.

In Tab. 3-10 sind die Erträge an Korn, Stroh und die Gesamterträge von *P. sativum* aufgeführt. Im Mittel über alle Varianten wurde ein Kornertrag von 34,6 dt TM ha⁻¹ gegenüber 12,0 dt TM ha⁻¹ in der 1. Rotation im Jahr 2002 ermittelt. Betriebsschläge auf dem Gladbacherhof mit *P. sativum* zur Bewertung der Ertragshöhe in dem Versuch standen im Jahr 2008 nicht zur Verfügung.

Bezüglich der Einzelkomponenten Korn- und Strohertrag konnten weder bei den Betriebs- noch bei den Bodenbearbeitungssystemen signifikante Unterschiede festgestellt werden. In der Summe führte aber die Bodenbearbeitung SR30/15 zu einem geringeren Gesamtertrag als die Variante ZP30/15.

Tab. 3-10: Erträge von *P. sativum* (Erbsen) [dt TM ha⁻¹] im Versuchsjahr 2008 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme		Bodenbearbeitungssysteme			
		VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Korn- ertrag	M	35,6	33,6	34,4	36,6	34,8	32,6
		a	a	a	a	a	a
	SE	1,0	1,1	2,3	1,5	1,0	1,0
	LSD	2,96		5,02			
	p-Wert	0,13	n. s.	0,21		n. s.	
Stroh- ertrag	M	26,9	25,3	28,1	28,1	25,8	22,4
		a	a	a	a	a	a
Gesamt- ertrag	M	62,5	58,9	62,4	64,7	60,6	55,0
		a	a	ab	a	ab	b

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

3.1.1.6 Hauptfrucht im Erntejahr 2009

Im letzten Versuchsjahr stand zum dritten Mal in der 2. Rotation in allen 3 Betriebssystemen die gleiche Feldfrucht, *S. cereale* cv. Amilo. Die differenzierten Maßnahmen der Grundbodenbearbeitung waren zuletzt am 26.09.2008 zur Saat des Wintergetreides durchgeführt worden (s. Tab. A-13 im Anhang). Die beiden viehlosen Betriebssysteme wurden identisch bewirtschaftet, während in GM-V am 02.08.2008 zu der Zwischenfrucht 150 dt FM ha⁻¹ Rottemist gedüngt und am 04.04.2009 ein Luzerne-Kleegras-Gemenge als Untersaat gesät wurde.

Überdurchschnittlich hohe Niederschläge von Februar bis Juli 2009 führten zu einer ausreichenden Wasserversorgung bis zur Abreife von *S. cereale*.

In Tab. 3-11 sind die Erträge an Korn, Stroh und die Gesamterträge aufgeführt. Da bei der statistischen Auswertung aller 3 Ertragskomponenten weder für die Originaldaten noch für transformierte Daten Homoskedastizität vorlag, soll an dieser Stelle auf eine eher defensive Interpretation der Ergebnisse hingewiesen werden (vgl. Kap. 2.5).

Im Mittel über alle Varianten wurde ein Kornertrag von 38,5 dt TM ha⁻¹ und damit ein etwas höheres Niveau als in der 1. Rotation 2003 (35,8 dt TM ha⁻¹) ermittelt. Der Durchschnitt aller Roggenschläge des Gladbacherhofes betrug 2009 ebenfalls 35,8 dt TM ha⁻¹.

Tab. 3-11: Erträge von *S. cereale* (Winterroggen) [dt TM ha⁻¹] im Versuchsjahr 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Korn- ertrag	M	35,1	42,3	38,0	39,7	37,6	40,7	35,9
		b	a	ab	ab	ab	a	b
	SE	1,0	1,2	1,7	1,3	2,0	1,7	1,7
	LSD		5,36				4,55	
	p-Wert		0,04	*		0,04	*	
Stroh- ertrag	M	47,2	60,4	55,1	57,3	53,2	57,1	49,4
		b	a	ab	a	ab	a	b
Gesamt- ertrag	M	83,3	103,7	93,1	97,0	90,8	97,8	85,2
		b	a	ab	a	ab	a	b

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

In dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch wies das Betriebssystem VL-GB bei allen 3 dargestellten Komponenten signifikant höhere Erträge auf als das System GM-V. In der 1. Fruchtfolgerotation lagen die Kornerträge 2003 von GM-V und VL-GB auf gleicher Höhe.

Bezüglich der Bodenbearbeitungssysteme wurde 2009 für den Korntrag ein signifikant niedrigerer Wert des pfluglosen Systems gegenüber P15, für den Stroh- und Gesamtertrag außerdem noch gegenüber P30, festgestellt. In der 1. Rotation ergab sich ein signifikant höherer Roggenertrag des Systems P30 gegenüber allen anderen Bodenbearbeitungssystemen.

Bereits bei einer Zeiternte zur Ermittlung der Sprossmasse am 04.06.2009 wurde hinsichtlich der Betriebssysteme die gleiche Abstufung ermittelt wie bei der Endern- te. Bei den Bodenbearbeitungssystemen wies die pfluglose Variante SR30/15 eine signifikant niedrigere Sprossmasse auf als alle anderen Varianten.

Um die Ursachen der quantitativen Unterschiede bei der Roggenernte zu erforschen, wurden die üblichen Ertragsparameter ermittelt und in Tab. 3-12 dargestellt. Wie schon im Jahr 2006 soll dadurch eine Beurteilung der Wachstumsbedingungen verschiedener Zeiträume vorgenommen werden.

Tab. 3-12: Ertragsparameter von *S. cereale* (Winterroggen) im Versuchsjahr 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
	GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Anzahl Ähren pro m²	420 b	490 a	469 ab	469 a	486 a	470 a	414 b
Anzahl Körner pro Ähre	GM-V			36,6 a	30,1 b	32,0 ab	30,2 b
	VL-GB			33,6 a	33,4 a	38,5 a	37,3 a
	VL-MF			33,7 ab	30,2 b	33,6 ab	35,3 a
TKM (g)	26,0 a	24,3 b	24,5 b	24,7 a	24,9 a	25,0 a	25,3 a

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Da bei dem Parameter „Körner pro Ähre“ signifikante Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem und Bodenbearbeitung auftraten, wurden die Bodenbearbeitungsvarianten auf der Ebene der einzelnen Betriebstypen verglichen.

Bemerkenswert sind weiterhin die sehr niedrigen Werte für die Tausendkornmasse. Ursache hierfür dürfte eine genetische Disposition sein, da schon das Saatgut durch eine sehr geringe Tausendkornmasse von nur 24,1 g in der Trockensubstanz gekennzeichnet war.

Das Betriebssystem VL-GB wies eine signifikant höhere Anzahl „Ähren pro m²“ auf als GM-V, wobei das letztgenannte bei der Tausendkornmasse den höchsten Wert erreichte.

Beim Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme fällt besonders die niedrige „Ährenzahl pro m²“ für SR30/15 auf, während sich für den Parameter „Körner pro Ähre“ uneinheitliche Ergebnisse fanden.

3.1.1.7 Zwischenfrüchte 2003/2004 bis 2008/2009

Im Laufe der 2. Fruchtfolgerotation wurden viermal Zwischenfrüchte und einmal eine Untersaat (2005 in VL-MF) gesät, deren Aufwüchse alle auf den Parzellen verblieben und eingearbeitet wurden. Die als Untersaaten etablierten und als Hauptfrüchte genutzten Luzerne-Klee gras-Gemenge der Betriebssysteme GM-V und VL-GB wurden bereits in den Kap. 3.1.1.1 und 3.1.1.2 beschrieben.

Die Zwischenfrüchte sind insofern bedeutsam, als deren Sprossmassebildung zum Teil in die verschiedenen Kategorien der Fruchtfolgeleistungen (vgl. Kap. 3.1.2) einfließt. Die ebenfalls bestimmten Leguminosen-Anteile sind für die N₂-Fixierungsleistungen und die flächenbezogenen Nährstoffbilanzen (vgl. Kap. 3.2.1) relevant.

In Tab. A-16 im Anhang ist die Gesamtsprossmassebildung der verschiedenen Zwischenfrüchte aufgeführt. Aufgrund einer sehr geringen Massebildung wurde von der am 08.09.2004 im Betriebssystem VL-MF gesäten Zwischenfrucht keine Erhebung durchgeführt.

Aus den Ergebnissen wird einerseits deutlich, dass die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Betriebssystemen und zwischen den verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung insgesamt relativ gering sind. In erster Linie soll hier aber deutlich werden, dass Zwischenfrüchte bei ausreichender Wachstumszeit ein Potential zur Sprossmassebildung besitzen, das nur geringfügig unter dem Korntrag eines mittelmäßigen Getreides liegt.

3.1.1.8 Zusammenfassung Erträge der Einzelkulturen

Bezüglich der Betriebssysteme lassen sich die Ergebnisse der Einzelkultur-Erträge wie folgt zusammenfassen:

Das extrem hohe Ertragsniveau des Luzerne-Klee gras-Gemenges im Jahr 2004 im System GM-V wurde im folgenden Jahr, nun in den Systemen GM-V und VL-GB, nicht wiederholt. Aufgrund des frühen Absterbens von *S. tuberosum* in 2007 lieferte dieses Jahr wenig aufschlussreiche Ergebnisse. Falls direkte Vergleiche möglich waren, wurden in allen Jahren außer 2007 für das Betriebssystem VL-GB die höchsten Mittelwerte der Hauptfrüchte ermittelt, statistisch signifikant allerdings nur im

Jahr 2006 (*T. aestivum*) gegenüber beiden anderen Systemen und im Jahr 2009 (*S. cereale*) gegenüber GM-V.

Die Jahre mit signifikanten Unterschieden bei den Bodenbearbeitungssystemen stellten sich so dar, dass das pfluglose System SR30/15 niedrigere Erträge in 2004 (*A. sativa*) und in 2006 (*T. aestivum*) gegenüber allen anderen Varianten und in 2009 (*S. cereale*) nur gegenüber P15 aufwies.

Auf die Zwischenfrucht-Erträge wirkten sich die Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme wenig differenzierend aus. Bei ausreichender Wachstumszeit wurden aber beachtliche Sprossmassen der Zwischenfrüchte festgestellt.

3.1.2 Fruchtfolgeleistungen in der 2. Rotation

In Kap. 3.1.1 wurden die Effekte der Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme auf die Einzelerträge ausführlich beschrieben. Dabei sind die vielschichtigen Vorfruchtwirkungen einzelner Früchte innerhalb der Fruchtfolgen nur schwer einzuschätzen.

Um die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme zu bewerten, sollen im Folgenden die jeweiligen Fruchtfolgeleistungen über die gesamte 2. Rotation quantifiziert werden. Für die statistischen Auswertungen ergibt sich daraus der Vorteil, dass einzelne Ausreißerwerte an Bedeutung verlieren.

Aus der Vielzahl von Leistungskenngrößen sollen im Folgenden die Gesamt-Sprossmasseerträge und die Marktfruchterträge als Summen der Einzeljahre in der 2. Rotation dargestellt werden.

Es wird an geeigneter Stelle auf die Einbeziehung von Haupt- und Nebenprodukten hingewiesen. WEBER (2010) beschreibt Koppel- oder Nebenprodukte als Produkte, die bei verbundener Produktion simultan in einem Produktionsprozess entstehen, d. h. aus naturgesetzlichen Gründen zwangsläufig anfallende Produkte. Hauptprodukte sind im vorliegenden Fall demnach die Kornerträge bei Getreide und Körnerleguminosen, die Knollen von *S. tuberosum* und die Aufwüchse der Luzerne-Kleeegras-Gemenge. Zu den Koppel- oder Nebenprodukten zählen das Stroh von Getreide und Körnerleguminosen und die Zwischenfrüchte.

Für die Beurteilung der Marktfruchterträge ist es wichtig, die unterschiedlichen Ackerflächenverhältnisse der drei 6-feldrigen Fruchtfolgen zu beachten (s. Tab. 2-3). Bei der monetären Bewertung der Fruchtfolgeleistungen blieben staatliche Prämienzahlungen unberücksichtigt, um die pflanzenbaulichen Leistungen nicht zu verzerren.

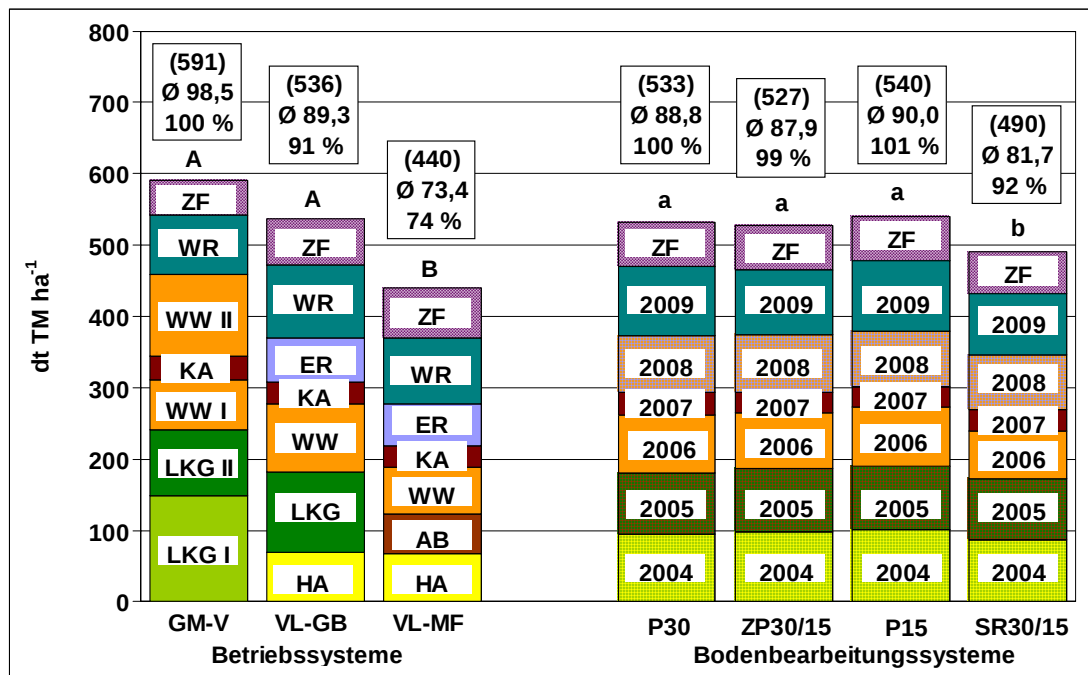
3.1.2.1 Gesamtsprossmasse

Unter der Gesamtsprossmasse in dt TM ha^{-1} wird hier die Summe aller Haupt- und Nebenprodukte der 2. Rotation inklusive der Zwischenfrüchte verstanden. Demnach

ist diese Kenngröße ein Maß für die Fähigkeit der unterschiedlichen Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme, oberirdische Phytomasse zu erzeugen.

In Abb. 3-1 ist der Beitrag der Einzelfrüchte kumuliert über die 6 Erntejahre dargestellt. Über die in Kap. 3.1.1 erläuterten Unterschiede hinaus ist daraus ersichtlich, dass in GM-V mit 591 dt TM ha⁻¹ der höchste Gesamt-Sprossmasseertrag erreicht wurde. Dies entspricht einem mittleren jährlichen Ertrag von 98,5 dt TM ha⁻¹. Im viehlosen System VL-GB wurden 536 dt TM ha⁻¹ oder durchschnittlich 89,3 dt TM ha⁻¹ a⁻¹, im reinen Marktfruchtsystem VL-MF 440 dt TM ha⁻¹ bzw. im Mittel der 6 Jahre 73,4 dt TM ha⁻¹ festgestellt. Gegenüber dem Kontrollsystem GM-V sank der Gesamt-Sprossmasseertrag im Marktfruchtsystem VL-MF also um 26 %.

Ebenso führte der Pflugverzicht im System SR30/15 (490 dt TM ha⁻¹ oder durchschnittlich 81,7 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) zu einem Minderertrag von 8 % gegenüber den drei Bodenbearbeitungssystemen mit Bodenwendung (533 dt TM ha⁻¹ bzw. 88,9 dt TM ha⁻¹ a⁻¹).



Innerhalb der Kategorien Betriebssysteme und Bodenbearbeitungssysteme unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

LKG = Luzerne-Klee-gras-Gemenge HA = Hafer (*A. sativa*) AB = Ackerbohnen (*V. faba*)
 WW = Winterweizen (*T. aestivum*) ER = Erbsen (*P. sativum*) KA = Kartoffeln (*S. tuberosum*)
 WR = Winterroggen (*S. cereale*) ZF = Zwischenfrüchte 2004 – 2009

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

() in Klammern = Summe der Einzelerträge

Abb. 3-1: Oberirdische Phytomasse der Einzelfrüchte sowie Gesamt-sprossmasse [dt TM ha⁻¹] in der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Außerdem wird der bedeutende Einfluss der Luzerne-Klee gras-Gemenge, speziell in GM-V als zweijährige Frucht, deutlich. Diesen Umstand gilt es bei der Beurteilung weiterer Kenngrößen der Fruchtfolgeleistungen zu bedenken.

Um die Effekte der verschiedenen Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme auf unterschiedliche Pflanzengruppen zu verdeutlichen, ist die in Abb. 3-1 dargestellte Gesamtsprossmasse in Tab. 3-13 in die Fraktionen Leguminosen und Nicht-Leguminosen aufgeteilt. Wiederum sind alle Haupt- und Koppelprodukte und die Zwischenfrüchte der 2. Rotation berücksichtigt. Somit stellt die Summe der beiden Fraktionen aus Tab. 3-13 den Zahlenwert über den Balken in Abb. 3-1 dar. In allen 3 Betriebssystemen steuern die legumen Hauptfrüchte einen Anteil von 33,3 % zum Ackerflächenverhältnis bei.

Bezüglich der Betriebssysteme ergab sich eine abnehmende Leguminosen-Sprossmasse in der Reihenfolge GM-V → VL-GB → VL-MF. Bei den Nicht-Leguminosen lässt sich eine signifikant geringere Sprossmasse des Systems VL-MF gegenüber den beiden anderen nachweisen.

Tab. 3-13: Gesamt-Leguminosen- und Gesamt-Nicht-Leguminosen-Sprossmasse [dt TM ha⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Gesamt-Leguminosen-Sprossmasse¹⁾	M	233	193	161	196	202	195	189
		a	b	c	a	a	a	a
	SE	4,5	4,1	4,1	8,6	10,8	9,8	11,0
	LSD		26,4			14,2		
	p-Wert	0,002	**		0,10	n. s.		
Gesamt-Nicht-Leguminosen-Sprossmasse¹⁾	M	358	343	280	336	325	345	302
		a	a	b	a	ab	a	b
	SE	6,6	9,0	9,7	15,2	14,1	10,9	13,1
	LSD		46,1			23,8		
	p-Wert	0,013	*		0,0002	***		

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

1) Haupt- und Koppelprodukte inklusive Rotationsbrache und Zwischenfrüchte

Beim Kleinparzellenfaktor Bodenbearbeitung wurde lediglich in Bezug auf die Nicht-Leguminosen eine höchst signifikant geringere Sprossmasse des Systems SR30/15 gegenüber P30 und P15 ermittelt. Die legumen Sprossmassen unterschieden sich nicht.

3.1.2.2 Marktfruchterträge

Während die in Kap. 3.1.2.1 beschriebene Gesamtsprossmasse der Kategorie agrarbiologischer Parameter zuzuordnen ist, ist der Marktfruchtertrag eine agrarökonomische Kenngröße.

Klassisch zählen die Aufwüchse der Luzerne-Klee-gras-Gemenge nicht zu den Marktfrüchten. Daher ist in Tab. 3-14 zunächst die Summe der Marktfruchterträge gemäß den unterschiedlichen Ackerflächenverhältnissen aufgeführt. Die Aufwüchse der zweijährigen Luzerne-Klee-gras-Gemenge in GM-V und der einjährigen Grünbrache in VL-GB sind hierbei nicht berücksichtigt.

Dadurch weist das Betriebssystem GM-V ($159 \text{ dt TM ha}^{-1}$) einen signifikant niedrigeren Gesamt-Marktfruchtertrag auf als die beiden viehlosen Systeme VL-GB ($189 \text{ dt TM ha}^{-1}$) und VL-MF ($200 \text{ dt TM ha}^{-1}$). Das pfluglose System SR30/15 ($168 \text{ dt TM ha}^{-1}$) führt zu einem geringeren Gesamtertrag als alle anderen Bodenbearbeitungssysteme.

Tab. 3-14: Summe der Marktfruchterträge [dt TM ha^{-1}] und mittlere Marktfruchterträge [$\text{dt TM ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Summe der Marktfruchterträge	M	159	189	200	189	184	190	168
		b	a	a	a	a	a	b
GM-V: 4 Jahre	SE	3,5	4,7	6,2	7,6	8,0	7,6	5,8
VL-GB: 5 Jahre	LSD		24,9					
VL-MF: 6 Jahre	p-Wert		0,017	*		0,0006	***	
Mittlere Marktfruchterträge¹⁾	M	26,6	31,5	33,4	31,6	30,6	31,7	28,1
		b	a	a	a	a	a	b
GM-V: 6 Jahre	SE	0,6	0,8	1,0	1,3	1,3	1,3	1,0
VL-GB: 6 Jahre	LSD		4,15					
VL-MF: 6 Jahre	p-Wert		0,017	*		0,0006	***	
Mittlere Marktfruchterträge²⁾	M	39,9	37,8	33,4	38,4	37,2	38,3	34,1
		a	ab	b	a	a	a	b
GM-V: 4 Jahre	SE	0,9	0,9	1,0	1,6	1,3	0,9	1,2
VL-GB: 5 Jahre	LSD		4,82					
VL-MF: 6 Jahre	p-Wert		0,042	*		0,0005	***	

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

1) im Mittel je Fruchtfolgejahr bzw. Fruchtfolgefeld

2) im Mittel je Marktfruchtjahr bzw. Marktfruchtfield

Bei dem zweiten in Tab. 3-14 dargestellten Parameter, dem mittleren Marktfruchtertrag, wurde als Divisor die Anzahl der Fruchtfolgefelder verwendet, nämlich 6 für alle Systeme. Kalkulatorisch entspricht dies also dem durchschnittlichen jährlichen Marktfruchtertrag in dt TM ha⁻¹ a⁻¹ über die gesamte Fruchtfolgerotation unter der Annahme, dass die Aufwüchse des schnittgenutzten Luzerne-Klee gras-Gemenges in GM-V innerbetrieblich verwertet werden. Auch Aufwüchse der Grünbrache in VL-GB tragen nicht zum Ertrag bei. Dies führt erwartungsgemäß zu den gleichen Abstufungen wie bei der Darstellung der Summen: GM-V (26,6 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) → VL-GB (31,5 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) → VL-MF (33,4 dt TM ha⁻¹ a⁻¹).

Bei dem dritten in Tab. 3-14 aufgeführten Parameter fand bei dem Divisor die unterschiedliche Anzahl der aufsummierten Erntejahre Berücksichtigung. Kalkulatorisch nimmt dieser durchschnittliche jährliche Ertrag in dt TM ha⁻¹ a⁻¹ lediglich auf jene Feldfrüchte Bezug, die im klassischen Sinne als marktfähig gelten. Es ist also der mittlere Marktfruchtertrag je Hektar Marktfruchtfläche.

Bezüglich der Betriebssysteme kehren sich die Verhältnisse der beiden zuvor beschriebenen Parameter dergestalt um, dass die höchsten Erträge im System mit Viehhaltung GM-V (39,9 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) erreicht wurden. Ein Minderertrag im System VL-GB (37,8 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) wurde als nicht signifikant ausgewiesen, wohl aber signifikant war derjenige des Marktfruchtsystems VL-MF (33,4 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) gegenüber GM-V.

Die pfluglose Variante SR30/15 (34,1 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) erzielte wiederum den niedrigsten mittleren Marktfruchtertrag im Vergleich zu den Systemen mit Bodenwendung (38,0 dt TM ha⁻¹ a⁻¹ im Durchschnitt der 3 Systeme).

In Tab. 3-15 ist eine weitere Kenngrößen der Fruchtfolgeleistung aufgeführt, der nichtlegume Marktfruchtertrag in dt TM ha⁻¹. Hierbei wird das Problem der Bewertung des schnittgenutzten Luzerne-Klee gras-Gemenges umgangen, da in allen 3 Betriebssystemen lediglich die Hauptfrüchte von je 3 Halmfrüchten und der Hackfrucht *S. tuberosum* summiert sind.

Die Effekte werden in einem geringeren mittleren nichtlegumen Marktfruchtertrag von VL-MF (32,9 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) gegenüber GM-V (39,9 dt TM ha⁻¹ a⁻¹), d. h. in einer Höhe von 7,0 dt TM ha⁻¹ a⁻¹ oder 17 %, deutlich.

Der durchschnittliche jährliche Minderertrag des pfluglosen Systems SR30/15 (34,1 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) gegenüber P30 (38,4 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) und P15 (38,7 dt TM ha⁻¹ a⁻¹) betrug ca. 4,5 dt TM ha⁻¹ a⁻¹ oder 12 %.

Tab. 3-15: Nichtlegumer Marktfruchtertrag [dt TM ha⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Nichtlegumer Marktfruchtertrag	M	159 (39,9)	153 (38,3)	132 (32,9)	154 (38,4)	148 (36,9)	155 (38,7)	136 (34,1)
		a	ab	b	a	ab	a	b
	GM-V: 4 Jahre							
	VL-GB: 4 Jahre							
	VL-MF: 4 Jahre							
	SE	3,5	4,2	4,7	6,8	6,2	3,7	5,3
	LSD		21,5			12,0		
	p-Wert	0,044		*	0,0007		***	

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

() in Klammern = mittlerer nichtlegumer Marktfruchtertrag je Hektar Marktfruchtfläche und Jahr

Bei dem in Tab. 3-16 dargestellten Parameter, der Summe der geernteten Hauptprodukte in dt GE ha⁻¹, floss das schnittgenutzte Luzerne-Klee gras-Gemenge von GM-V mit in die Berechnung ein, nicht aber das gemulchte Gemenge von VL-GB. Die Bewertung in Getreideeinheiten wurde nach DÖHLER (2009) vorgenommen.

Auch bei diesem Bewertungsansatz tritt wieder der dominierende Einfluss des zweijährigen Futterbaugemenges hervor, so dass für GM-V (326 dt GE ha⁻¹) ein höchst signifikant größerer Wert berechnet wurde als für die beiden viehlosen Systeme VL-GB (200 dt GE ha⁻¹) und VL-MF (208 dt GE ha⁻¹).

Tab. 3-16: Summe der geernteten Hauptprodukte [dt GE ha⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Summe der geernteten Hauptprodukte	M	326 a	200 b	208 b	250 a	246 ab	251 a	231 b
	GM-V: 6 Jahre							
	VL-GB: 5 Jahre							
	VL-MF: 6 Jahre							
	SE	3,6	5,2	6,2	19,4	18,2	15,9	19,2
	LSD		33,0			15,5		
	p-Wert	< 0,0001		***	0,0069		**	

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Bei dem pfluglosen System SR30/15 (231 dt GE ha⁻¹) wurde ein signifikant niedriger Marktfruchtertrag in Getreideeinheiten ermittelt als für die beiden Pflugvarianten P30 (250 dt GE ha⁻¹) und P15 (251 dt GE ha⁻¹).

Mit der monetären Fruchtfolgeleistung in € ha⁻¹ wird in Tab. 3-17 eine rein agrarökonomische Kenngröße beschrieben.

Tab. 3-17: Monetäre Fruchtfolgeleistung [€ ha⁻¹] der 2. Rotation in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Monetäre Fruchtfolgeleistung¹⁾	M	11.696	9.480	9.948	10.739	10.281	10.397	10.083
		a	b	b	a	a	a	a
GM-V: 6 Jahre	SE	193	321	303	544	392	299	440
VL-GB: 5 Jahre	LSD		1.303				834	
VL-MF: 6 Jahre	p-Wert		0,013	*		0,206	n. s.	

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

1) ohne staatliche Flächenprämien

Sie errechnet sich als Produkt aus Naturalertrag und Preis. Als Berechnungsgrundlagen dienten hier die aktuellen Verkaufs- und Ankaufspreise des Gladbacherhofes im Jahr 2009. Durch die Beschränkung auf dieses eine Jahr sollte eine Fehlinterpretation aufgrund stark gesunkener Preise in dem Zeitraum 2004 bis 2009 vermieden werden. Das schnittgenutzte Luzerne-Klee gras-Gemenge wurde mit einem Preis von 4,00 € pro dt FM Silage bewertet, wie es vom Gladbacherhof in Form von Wickelballen zugekauft wird. Außerdem wurde mit 20 % Silierverlusten kalkuliert.

Monetär liegt die Leistung des Systems GM-V (11.696 € ha⁻¹) signifikant höher als diejenige der viehlosen Systeme VL-GB (9.480 € ha⁻¹) und VL-MF (9.948 € ha⁻¹).

Bemerkenswerterweise lässt sich ein geldlicher Unterschied der Bodenbearbeitungsvarianten statistisch nicht nachweisen, obwohl das pfluglose System SR30/15 bei fast allen vorgestellten Kennwerten der Fruchtfolgeleistung die niedrigsten Werte aufweist. Selbst bei der Erhöhung der Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ über $\alpha = 0,1$ zu $\alpha = 0,2$ konnte erst bei dem letztgenannten Wert ein signifikanter Vorteil von P30 gegenüber SR30/15 ermittelt werden.

Offensichtlich wirken sich die im Durchschnitt geringeren Erträge des pfluglosen Systems monetär nicht in dem erwarteten Maß aus.

3.2 Flächenbezogene Nährstoffbilanzen

Da der Ökologische Landbau als Low-Input-System mit in der Regel niedrigen Gehalten an leichtlöslichen Bodennährstoffen auf hohe Verwertungsraten angewiesen ist, wird im Folgenden ein Vergleich der 3 Betriebssysteme hinsichtlich ihrer Nährstoffkreisläufe vorgenommen.

Es werden Bilanzen für die Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium vorgestellt. Die Berechnungen wurden anhand der Mittelwerte der Einzelparzellen nach den in Kap. 2.4 beschriebenen Verfahren unter Verzicht auf statistische Auswertungen durchgeführt. Aus bilanztechnischen Gründen sind dabei die Nährstoffmassen der Koppelprodukte, die auf den Parzellen verblieben, in gleicher Höhe sowohl im Input als auch im Output aufgeführt (s. Tab. A-17 bis A-22 im Anhang).

3.2.1 Stickstoffbilanzen

Eine besondere Stellung kommt dem Stickstoff einerseits als bedeutendem Pflanzennährstoff zu. Andererseits steht N über die Atmosphäre quasi unbegrenzt zur Verfügung und kann symbiotisch in großen Mengen fixiert werden. Somit ist die Wahl der unterschiedlichen Leguminosen und deren Anbauumfang in den 3 untersuchten Betriebssystemen die entscheidende Einflussgröße der N-Bilanzen.

In Tab. 3-18 zeigt sich, dass sowohl die Werte der Zufuhrgrößen (Input) als auch der Abfuhrgrößen (Output) in der Reihenfolge GM-V → VL-GB → VL-MF sinken. Als Resultat liegt der N-Saldo ohne ΔN_t im Boden für das Betriebssystem VL-MF deutlich unter den Salden der beiden anderen Systeme.

Die Input- und Output-Werte resultieren in Verbindung mit den ΔN_t -Werten in ansteigenden N-Salden (vgl. Formel 2.2 auf S. 28) in der Reihenfolge GM-V (245 kg N ha⁻¹) → VL-GB (393 kg N ha⁻¹) → VL-MF (472 kg N ha⁻¹). Diese N-Salden bedeuten ein erhöhtes Verlustpotential in der erwähnten Reihenfolge, oder anders formuliert: Von dem eingesetzten Stickstoff werden in der Reihenfolge GM-V → VL-GB → VL-MF immer geringere Mengen ertragswirksam umgesetzt. Dies spiegelt sich auch in einer sinkenden Systemverwertung (82 % → 72 % → 64 %) wider.

Aus den detaillierten Auflistungen der Bilanzgrößen in den Tabellen A-17 bis A-22 im Anhang ist ersichtlich, dass die bedeutendsten N-Zufuhrgrößen im System GM-V die symbiotische N₂-Fixierung des 2-jährigen Luzerne-Klee-gras-Gemenges (459 bzw. 229 kg N ha⁻¹) und die Düngung mit Rottemist (269 bzw. 96,3 kg N ha⁻¹) sind. Während im System mit Viehhaltung der größte Teil des im Gemenge fixierten N von der Fläche abgefahren wird (390 bzw. 183 kg N ha⁻¹), verbleibt im System VL-GB der mit dem Luzerne-Klee-gras-Gemenge fixierte N (256 kg N ha⁻¹) vollständig auf der Fläche.

Tab. 3-18: N-Bilanzen [kg N ha⁻¹] und Systemverwertung [%] der 2. Rotation in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

	siehe auch	Betriebssysteme		
		GM-V	VL-GB	VL-MF
Summe N-Input 2004 – 2009	Tab. A-17, A-19, A-21	1433	1265	972
Summe N-Output 2004 – 2009	Tab. A-18, A-20, A-22	1144	993	842
N-Saldo 2004 – 2009 (ohne ΔN_t im Boden)	Formel (2.2) S. 28	289	272	130
Ø N-Saldo pro Jahr (ohne ΔN_t im Boden)		48	45	22
ΔN_t im Boden 0 – 30 cm 2004 – 2009	Abb. 3-3 S. 60	+ 44	– 121	– 342
N-Saldo 2004 – 2009 (mit ΔN_t im Boden)	Formel (2.2) S. 28	245	393	472
Ø N-Saldo pro Jahr (mit ΔN_t im Boden)		41	66	79
Systemverwertung in %	Formel (2.3) S. 28	82	72	64

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

Die in den beiden viehlosen Systemen durch die Körnerleguminosen *V. faba* (195 kg N ha⁻¹ in VL-MF) und *P. sativum* (154 bzw. 144 kg N ha⁻¹) fixierten N-Mengen sind zum einen deutlich geringer, zum anderen verlassen sie den Betriebskreislauf größtenteils mit den Körnern.

Die durch die Zwischenfrüchte fixierten N-Mengen spiegeln sehr deutlich die Höhe der gebildeten Sprossmasse bzw. die Dauer der Wachstumszeit wider.

Bezüglich der N-Bilanzen bleibt festzuhalten, dass die N-Salden unter Einbezug von ΔN_t im Boden in der Reihenfolge GM-V → VL-GB → VL-MF ansteigen. Dies bedeutet also ein steigendes Verlustpotential. In gleicher Reihenfolge sinken die Systemverwertungsraten.

3.2.2 Phosphorbilanzen

Sinkende Mengen an CAL-extrahierbarem Phosphor stellen auf vielen Ökobetrieben ein großes Problem dar. Somit ist die Effizienz der P-Kreisläufe von großer Relevanz. Tab. 3-19 verdeutlicht, dass die Werte der P-Zufuhr und der P-Abfuhr wie schon bei den N-Bilanzen in der Reihenfolge GM-V → VL-GB → VL-MF sinken.

Die Parameter „P-Salden 2004 – 2009“ und „durchschnittliche P-Salden pro Jahr“ unterscheiden sich zwischen den 3 Betriebssystemen dagegen nur geringfügig.

Tab. 3-19: P-Bilanzen [kg P ha⁻¹] und Bezug zu Analysen der Grundnährstoffe [kg P ha⁻¹] in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

	siehe auch	Betriebssysteme		
		GM-V	VL-GB	VL-MF
Summe P-Input 2004 – 2009	Tab. A-17, A-19, A-21	106	81	51
Summe P-Output 2004 – 2009	Tab. A-18, A-20, A-22	169	153	128
P-Saldo 2004 – 2009		– 63	– 72	– 77
Ø P-Saldo pro Jahr 2004 – 2009		– 10	– 12	– 13
Bezug zu CAL-Analysen der Grundnährstoffe 0 – 30 cm 1998 und 2009				
P-Masse(CAL) 0 – 30 cm im Jahr 1998		389 (21,1)	271 (14,7)	310 (16,8)
P-Masse(CAL) 0 – 30 cm im Jahr 2009		260 (14,1)	207 (11,2)	262 (14,2)
Veränderung P-Masse 0 – 30 cm 1998 → 2009		– 129	– 64	– 48

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

CAL = Calcium-Acetat-Lactat

() in Klammern = Gehaltsangaben in mg P₂O₅ pro 100 g Boden

Um einen Bezug der P-Salden zu den pflanzenverfügbaren P-Gehalten im Boden herzustellen, sind im unteren Teil von Tab. 3-19 die CAL-extrahierbaren P-Massen in der Bodenschicht 0 – 30 cm dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die ermittelten negativen P-Salden mit abnehmenden P-Gehalten im Boden korrespondieren. Die quantitativen Differenzen zwischen negativen P-Salden und sinkenden P-Gehalten sind mit Nährstoffaufnahmen der Pflanzen aus dem Unterboden und mit der Mobilisierung schwerlöslicher P-Formen in CAL-extrahierbare Formen zu erklären.

Aus den detaillierten Auflistungen der Bilanzgrößen in den Tabellen A-17 bis A-22 im Anhang ist ersichtlich, dass die bedeutendsten P-Abfuhrgrößen im System GM-V die Ernten des Luzerne-Kleeegrases sind. Im Kreislauf gelangen große Mengen dieses Phosphors über den Rottemist aber wieder zurück auf die Flächen. Bei den beiden viehlosen Systemen sind insbesondere die P-Abfahren mit Körnern der Getreide und der Körnerleguminosen zu beachten, die den Betriebskreislauf verlassen.

Zusammenfassend bleibt für die P-Bilanzen festzuhalten, dass in allen 3 Betriebssystemen ein Abbau des Bodenvorrats an Phosphor stattfindet, der in dieser Höhe auf Dauer nicht akzeptabel ist.

3.2.3 Kaliumbilanzen

Verglichen mit der Phosphorversorgung der Pflanzen ist die Situation bei Kalium im Ökologischen Landbau wesentlich problemloser, da schnelllösliche Zukaufdüngemittel zur Verfügung stehen. Aufgrund der sehr großen Kaliummengen, die umgesetzt werden, sollen die K-Bilanzen für die 3 Betriebssysteme dennoch vorgestellt werden. Tab. 3-20 verdeutlicht, dass die Werte der K-Zufuhr und der K-Abfuhr wie schon bei den N- und P-Bilanzen in der Reihenfolge GM-V → VL-GB → VL-MF sinken.

Anders als bei N und P ergeben sich aber bezüglich der Parameter „K-Salden 2004 – 2009“ und „durchschnittliche K-Salden pro Jahr“ sehr hohe negative Werte für das Betriebssystem GM-V. Für die beiden viehlosen Systeme errechnen sich zwar auch hohe negative Werte, aber auf niedrigerem Niveau als bei GM-V.

Tab. 3-20: K-Bilanzen [kg K ha⁻¹] und Bezug zu Analysen der Grundnährstoffe [kg K ha⁻¹] in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

	siehe auch	Betriebssysteme		
		GM-V	VL-GB	VL-MF
Summe K-Input 2004 – 2009	Tab. A-17, A-19, A-21	687	624	435
Summe K-Output 2004 – 2009	Tab. A-18, A-20, A-22	989	821	610
K-Saldo 2004 – 2009		– 302	– 197	– 175
Ø K-Saldo pro Jahr 2004 – 2009		– 50	– 33	– 29
Bezug zu CAL-Analysen der Grundnährstoffe 0 – 30 cm 1998 und 2009				
K-Masse(CAL) 0 – 30 cm im Jahr 1998		530 (15,1)	442 (12,6)	432 (12,3)
K-Masse(CAL) 0 – 30 cm im Jahr 2009		383 (10,9)	337 (9,6)	344 (9,8)
Veränderung K-Masse 0 – 30 cm 1998 → 2009		– 147	– 105	– 88

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

CAL = Calcium-Acetat-Lactat

() in Klammern = Gehaltsangaben in mg K₂O pro 100 g Boden

Um einen Bezug der K-Salden zu den pflanzenverfügbaren K-Gehalten im Boden herzustellen, sind im unteren Teil von Tab. 3-20 wiederum die CAL-extrahierbaren K-Massen in der Bodenschicht 0 – 30 cm dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die ermittelten negativen K-Salden mit abnehmenden K-Gehalten im Boden korrespondieren, wobei die Abnahme in GM-V analog zu dem sehr hohen negativen Saldo am stärksten ist. Die quantitativen Differenzen zwischen negativen K-Salden und sinkenden K-Gehalten sind mit Nährstoffaufnahmen der Pflanzen aus dem Unterboden und mit der Mobilisierung schwerlöslicher K-Formen in CAL-extrahierbare Formen zu erklären.

Aus den detaillierten Auflistungen der Bilanzgrößen in den Tabellen A-17 bis A-22 im Anhang ist ersichtlich, dass die bedeutendsten K-Abfuhrgrößen im System GM-V die Ernten des Luzerne-Kleegrases sind. Im Kreislauf gelangen große Mengen dieses Kaliums über den Rottemist aber wieder zurück auf die Flächen. Bei den beiden viehlosen Systemen sind insbesondere die K-Abfuhr mit Körnern der Getreide und der Körnerleguminosen und der Knollen von *S. tuberosum* zu beachten, die den Betriebskreislauf verlassen.

Zusammenfassend bleibt für die K-Bilanzen festzuhalten, dass in allen 3 Betriebssystemen, wie schon bei Phosphor, ein Abbau des Bodenvorrats an Kalium stattfindet, der in dieser Höhe auf Dauer nicht akzeptabel ist. Besonders hoch ist das Defizit im System mit Viehhaltung.

3.3 Veränderliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften

Eine hohe Bodenfruchtbarkeit ist für den Ökologischen Landbau besonders wichtig, weil der Einsatz von Düngemitteln zur Förderung des Pflanzenwachstums stark eingeschränkt ist. Unter veränderlichen Bodenfruchtbarkeitseigenschaften werden jene Merkmale verstanden, die von der Bewirtschaftung zu beeinflussen sind, im Unterschied zu vorgegebenen Eigenschaften wie z. B. den geologischen Grundlagen des Standorts. Von den zahlreichen biologischen, physikalischen und chemischen Bodenfruchtbarkeitseigenschaften sollen im Folgenden der Einfluss der geprüften Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusvorrat, die Bodenstruktur und den Gehalt an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff dargestellt werden.

3.3.1 Bewirtschaftungsbedingte Veränderungen des Humusvorrats

In Kap. 3.2 wurden die Nährstoffbilanzen der verschiedenen Betriebssysteme erörtert. Neben den vielfältigen Aufgaben des Humus im Boden sind die Bereitstellung von Nährstoffen durch Mineralisation und die Speicherung von Nährstoffen in den unterschiedlichen Humusformen bedeutende Funktionen der postmortalen organischen

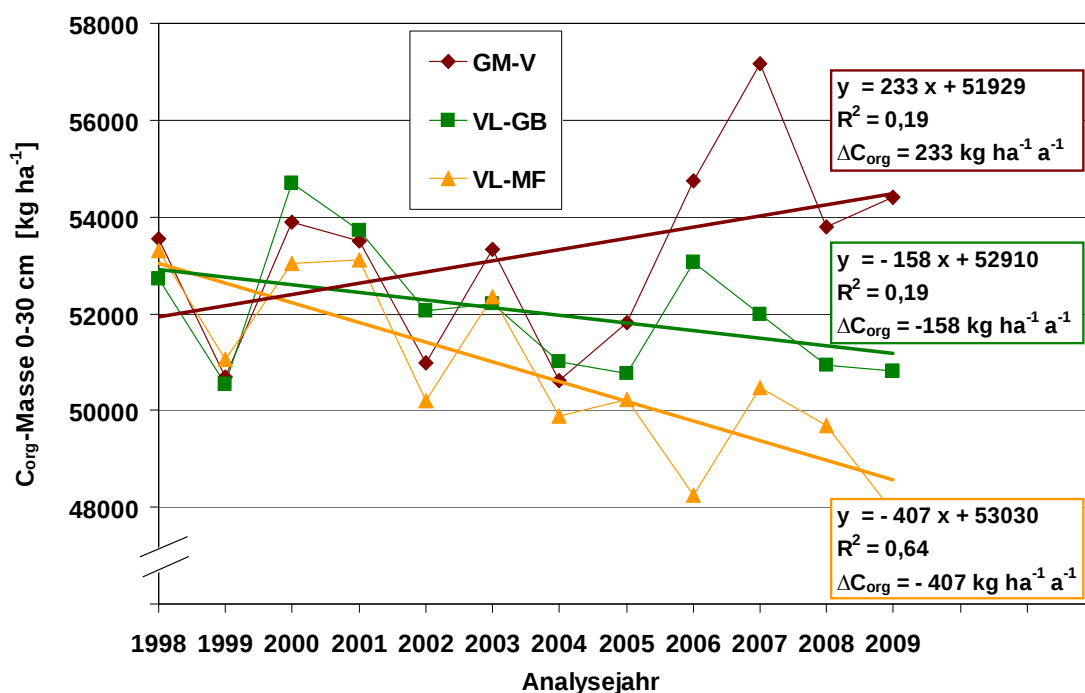
Substanz. Daher werden in den folgenden Kapiteln die Effekte der unterschiedlichen Bewirtschaftungssysteme auf den Humusvorrat beschrieben.

3.3.1.1 Entwicklung der C_{org} - und N_t -Massen seit Versuchsbeginn

Die Massen an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t) sind international übliche Parameter zur Beschreibung bzw. Quantifizierung der Humusmengen im Boden. Zwar sind nach Bewirtschaftungsänderungen deutliche Unterschiede gegenüber den Ausgangsgehalten oft erst nach mehr als 10 Jahren nachweisbar (LEITHOLD et al., 2007). Umso wichtiger ist es aber, frühzeitig Trends in der Entwicklung der C_{org} - und N_t -Massen aufzuzeigen.

Daher sind in Abb. 3-2 die jährlich ermittelten Massen an organischem Kohlenstoff in 0 – 30 cm Bodentiefe seit Versuchsbeginn in Abhängigkeit von den 3 Betriebssystemen aufgeführt.

Neben den großen Schwankungen der Einzelwerte sollen die linearen Trendlinien die langfristigen Entwicklungen der C_{org} -Massen veranschaulichen. Eine Extrapolation über den aufgezeigten Zeitraum hinaus ist allerdings nicht sinnvoll. Vielmehr ist davon auszugehen, dass sich bei langjährig gleichförmiger Bewirtschaftung ein Fließgleichgewicht zwischen Humusaufbau und –abbau einstellt (BROCK, 2009).



GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung
VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

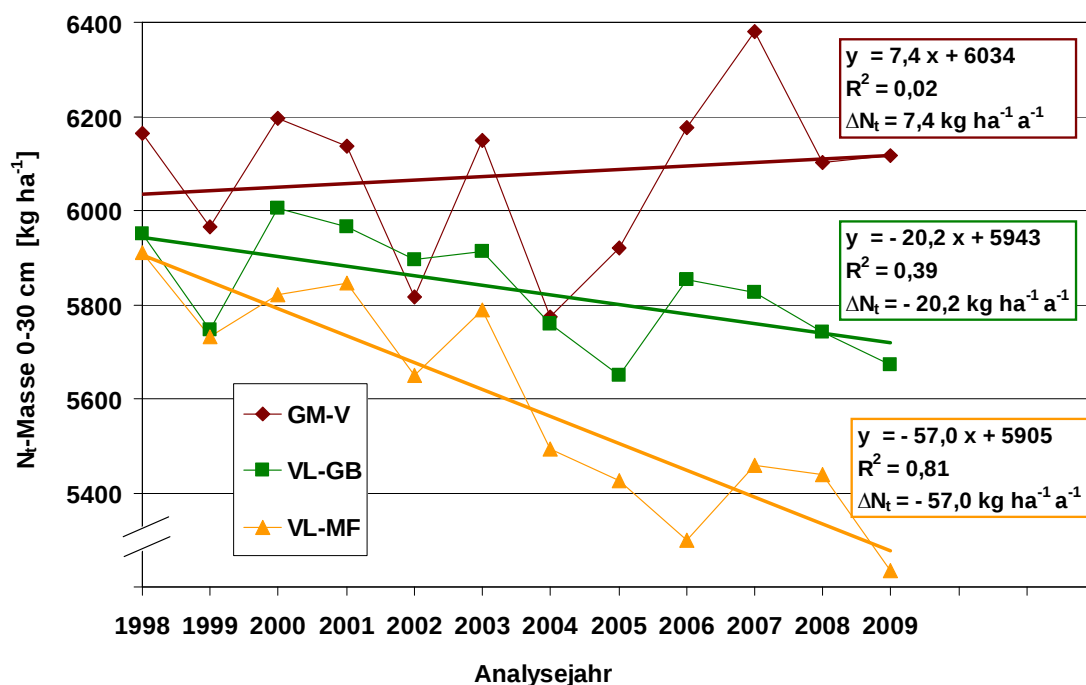
VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

Abb. 3-2: Variation der Massen an organisch gebundenem Kohlenstoff [kg C_{org} ha⁻¹] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

Die Werte für ΔC_{org} beschreiben die durchschnittliche jährliche Änderung. Während das Betriebssystem GM-V (+ 233 kg ha⁻¹ a⁻¹) einen deutlichen Anstieg aufwies, wurden für beide viehlosen Systeme sichtliche (VL-GB: -158 kg ha⁻¹ a⁻¹) bzw. drastische (VL-MF: -407 kg ha⁻¹ a⁻¹) Abnahmen der C_{org} -Massen festgestellt. Ein hohes Bestimmtheitsmaß wurde allerdings nur für das System VL-MF ermittelt.

In Abb. 3-3 sind, analog zu den C_{org} -Massen, die N_t -Massen aufgeführt. Bezüglich der Trendlinien gelten auch hier die oben angeführten Erläuterungen. Neben Geradengleichung der Trendlinien und Bestimmtheitsmaß sind auch jeweils die Werte für ΔN_t angegeben, die in die Berechnungen der flächenbezogenen Stickstoffbilanzen einfließen (vgl. Tab. 3-18 in Kap. 3.2.1).

Die Zu- bzw. Abnahmen der N_t -Massen für die einzelnen Betriebssysteme verhalten sich ähnlich wie die des organischen Kohlenstoffs.



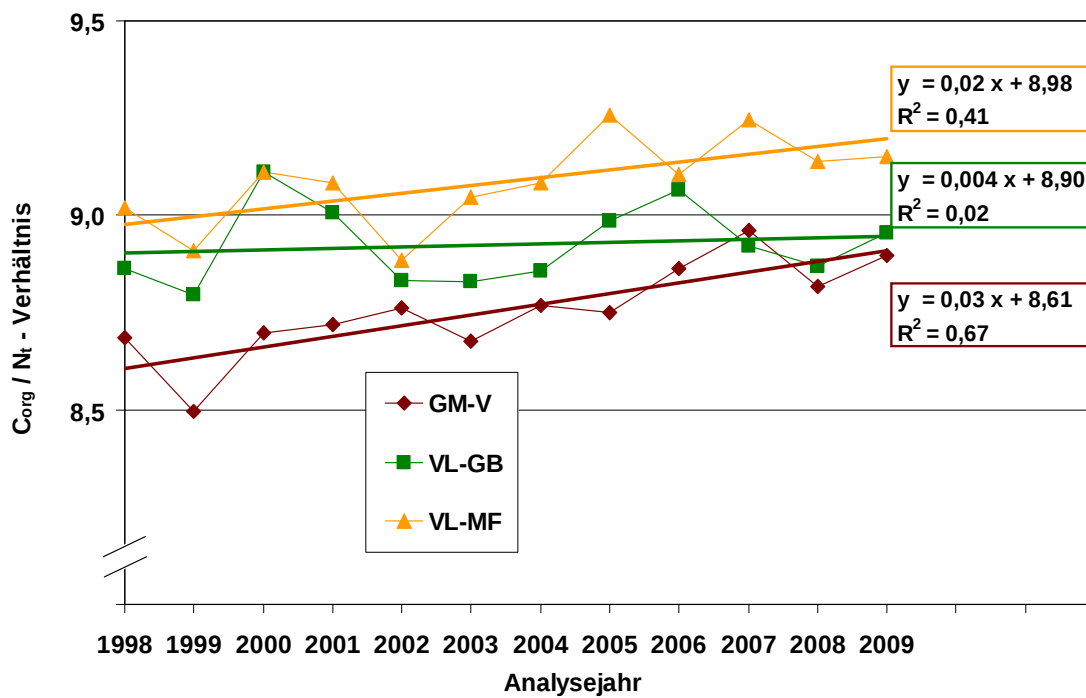
GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung
VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

Abb. 3-3: Variation der Massen an Gesamt-Stickstoff [kg N_t ha⁻¹] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

Zur Beurteilung dieser Ergebnisse ist es wichtig, einerseits das Ackerflächenverhältnis und den Viehbesatz in der Phase vor Versuchsbeginn (s. S. 12) und andererseits die gleichen Kennziffern für die 3 Betriebssysteme des Feldversuchs ab 1998 (s. Tab. 2-3 auf S. 15 und Tab. A-6 im Anhang) zu berücksichtigen.

Prozentual ist in GM-V die Zunahme an Gesamtstickstoff allerdings geringer als die Zunahme an organischem Kohlenstoff. In den beiden viehlosen Systemen ist die prozentuale Abnahme an N_t größer als an C_{org} . Dieser Sachverhalt wird in Abb. 3-4 in zunehmend weiteren C/N-Verhältnissen im Verlauf der Jahre in allen 3 Betriebssystemen deutlich. Dies bedeutet also eine sinkende Humusqualität, allerdings von einem sehr hohen Niveau aus.



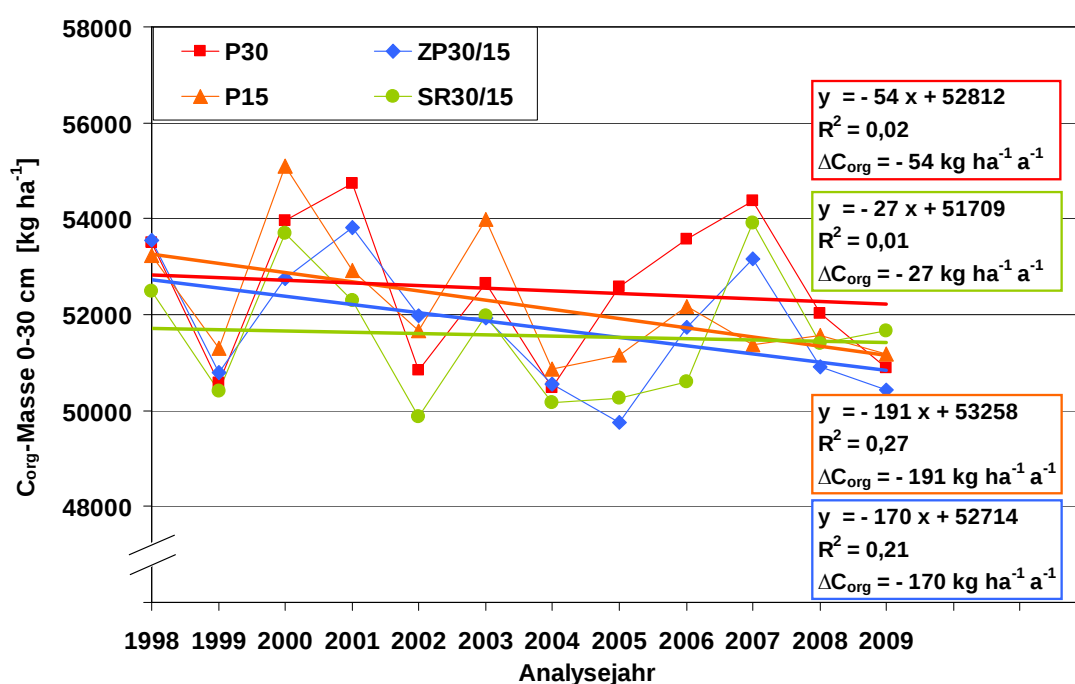
GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung
VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

Abb. 3-4: Entwicklung der C_{org}/N_t -Verhältnisse im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

Analog zu den vorgestellten Entwicklungen der Humusgehalte in Abhängigkeit von den Betriebssystemen sollen nun die gleichen Parameter für die verschiedenen Systeme der Bodenbearbeitung dargelegt werden.

In Abb. 3-5 ist ersichtlich, dass, bei wiederum stark schwankenden Werten, die Differenzierung der C_{org} -Massen durch die Bodenbearbeitung gering ist. Die Trendlinien fallen relativ einheitlich ab. Diese rückläufige Entwicklung in allen Varianten hat ihre Ursache in der Betrachtung der Hauptwirkung Bodenbearbeitung im Mittel aller 3 Betriebssysteme. Dabei führen die deutlich abnehmenden Werte für ΔC_{org} in den viehlosen Systemen zu einer durchschnittlich negativen Entwicklung. Speziell die beiden extremen Bodenbearbeitungssysteme P30 und SR30/15 unterscheiden sich nur wenig.

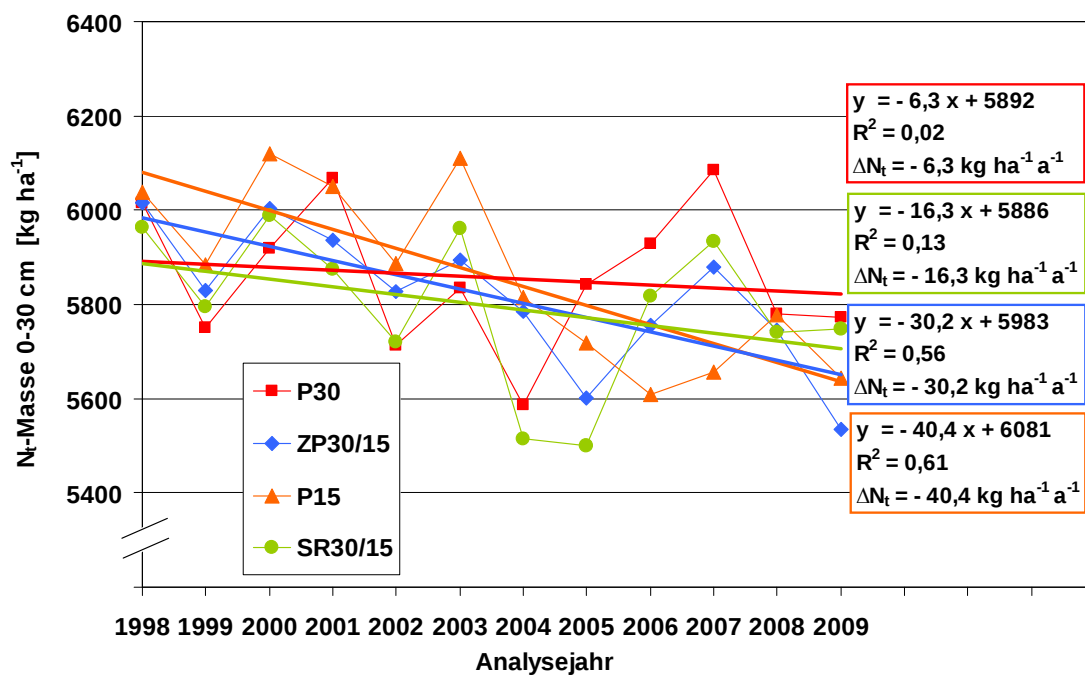


P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug
P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

ZP30/15 = Zweischichtenpflug
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Abb. 3-5: Variation der Massen an organisch gebundenem Kohlenstoff [kg C_{org} ha⁻¹] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

Die N_t -Massen (Abb. 3-6) nehmen ebenfalls für alle 4 Bodenbearbeitungssysteme ab.

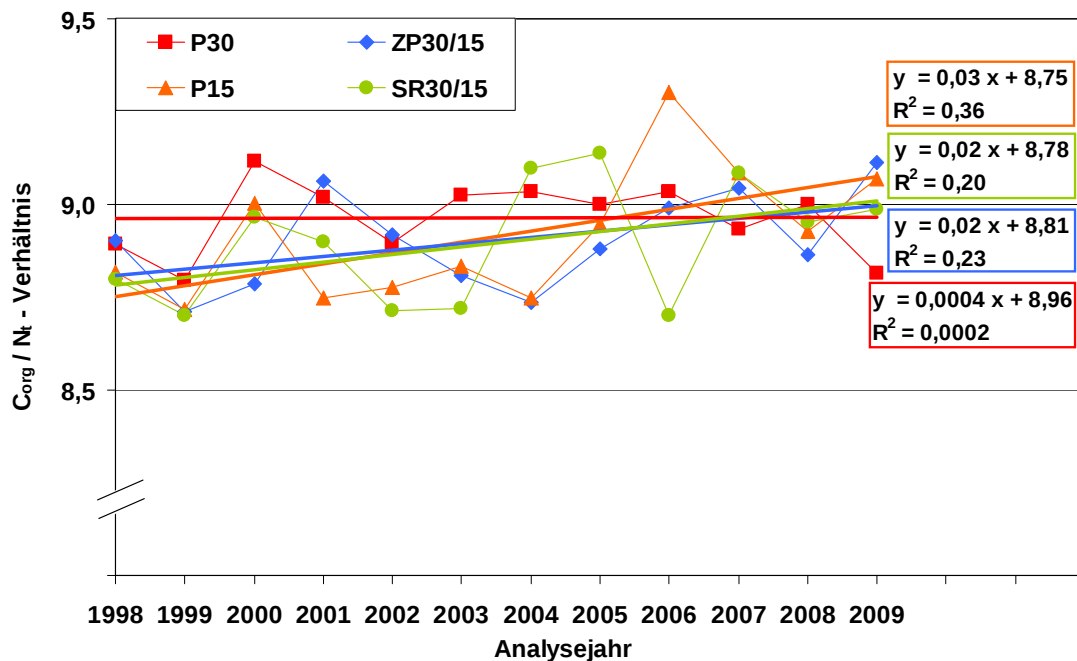


P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug
P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

ZP30/15 = Zweischichtenpflug
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Abb. 3-6: Variation der Massen an Gesamt-Stickstoff [$\text{kg } N_t \text{ ha}^{-1}$] im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

Wie schon hinsichtlich der Betriebssysteme so werden die C/N-Verhältnisse bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten im Verlauf der Jahre ebenfalls weiter (Abb. 3-7). Die Trendlinien der Systeme ZP30/15, P15 und SR30/15 verlaufen annähernd konform. Für P30 ist eine minimale Steigung von fast Null zu verzeichnen.



P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug
P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

ZP30/15 = Zweischichtenpflug
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Abb. 3-7: Entwicklung der C_{org}/N_t-Verhältnisse im Verlauf der Jahre in der Bodenschicht 0 – 30 cm in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

3.3.1.2 Status der C_{org} - und N_t -Massen am Ende der 2. Rotation

In Kap. 3.3.1.1 wurden die Entwicklungen der C- und N-Massen dargestellt, um die langfristigen Effekte der unterschiedlichen Bewirtschaftungssysteme auf den Humushaushalt aufzuzeigen. Wie erwähnt sind Gehaltsänderungen oft erst nach vielen Jahren nachweisbar. Daher soll der Status der C_{org} - und N_t -Massen am Ende der 2. Rotation beschrieben werden, um darzulegen, ob nach 11 Versuchsjahren bereits signifikante Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen sind.

In Tab. 3-21 sind die C_{org} - und N_t -Massen sowie die C/N-Verhältnisse der verschiedenen Tiefenstufen im Versuchsjahr 2009 aufgeführt. Die in diesem Jahr ermittelten Werte wurden um bereits vorhandene Variationen von 1998 korrigiert (s. Formel 2.8 auf S. 30).

Hinsichtlich der Betriebssysteme wies GM-V in 0 – 30 cm Bodentiefe signifikant höhere Werte für C_{org} und N_t auf als das System VL-MF. Genauso deutlich wurden diese Unterschiede bei der weiteren Partitionierung dieser Bodenschicht in die Bereiche 0 – 12 cm und 17 – 25 cm. Das System VL-GB nahm bei beiden Parametern eine Mittelstellung ein. Auf die beiden Schichten des Unterbodens (30 – 60 cm und 60 – 90 cm) wirkten sich die Betriebssysteme nicht nachweislich differenzierend aus.

Bezüglich der Bodenbearbeitungssysteme wurden in der Gesamtheit der Krume (0 – 30 cm) keine signifikanten Unterschiede gefunden. In der Oberkrume (0 – 12 cm) waren aber im pfluglosen System SR30/15 sowohl C_{org} - als auch N_t -Massen größer als in allen 3 Varianten mit Bodenwendung. Die Differenzierungen bei C und N führten auch zu einem weiteren C/N-Verhältnis von SR30/15 gegenüber P30. In der Unterkrume (17 – 25 cm) fanden sich dagegen keine signifikanten Unterschiede, ebenso in der tiefsten Schicht 60 – 90 cm. In dem Bereich 30 – 60 cm wurden überraschenderweise die signifikant höchsten C_{org} - und N_t -Massen bei der Variante P30 ermittelt.

Tab. 3-21: C_{org} - und N_t-Massen [kg ha⁻¹] und C/N-Verhältnisse [dimensionslos] im März 2009 in den unterschiedlichen Bodenschichten in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Tiefenstufe		Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
		GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
0 – 30 cm	C _{org}	54107 a	51273 ab	47881 b	50631 a	50143 a	51224 a	52349 a
	N _t	5962 a	5736 a	5332 b	5761 a	5530 a	5618 a	5797 a
	C : N	9,1 a	8,9 a	9,0 a	8,8 a	9,1 a	9,1 a	9,0 a
0 – 12 cm	C _{org}	23339 a	22077 b	20751 c	20218 b	22204 b	21393 b	24408 a
	N _t	2509 a	2416 ab	2331 b	2343 b	2419 b	2321 b	2593 a
	C : N	9,3 a	9,1 a	8,9 a	8,6 b	9,2 ab	9,2 ab	9,4 a
17 – 25 cm	C _{org}	13880 a	13130 ab	12337 b	13568 a	13317 a	12840 a	12738 a
	N _t	1563 a	1511 a	1397 b	1516 a	1503 a	1477 a	1465 a
	C : N	8,9 a	8,7 a	8,8 a	9,0 a	8,8 a	8,7 a	8,7 a
30 – 60 cm	C _{org}	23739 a	25522 a	22625 a	29276 a	22923 b	21285 b	22362 b
	N _t	2679 a	2849 a	2612 a	3199 a	2620 b	2457 b	2577 b
	C : N	8,8 a	9,1 a	8,6 a	9,2 a	8,8 a	8,8 a	8,7 a
60 – 90 cm	C _{org}	22033 a	23629 a	22721 a	23647 a	22567 a	22756 a	22206 a
	N _t	2035 a	2171 a	2165 a	2113 a	2107 a	2213 a	2060 a
	C : N	11,1 a	11,2 a	10,7 a	11,8 a	11,0 a	10,4 a	10,9 a

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

3.3.1.3 Sensitive Merkmale der organischen Bodensubstanz

Die in den letzten beiden Kapiteln behandelten C- und N-Massen sind wichtige, aber reaktionsträge Kriterien der organischen Bodensubstanz. Nun sollen sensitive Indikatoren, die mikrobielle Biomasse und die Dehydrogenase-Aktivität, erörtert werden.

Als mikrobielle Biomasse bezeichnet man die Masse der im Boden lebenden Mikroorganismen, zu denen Bakterien, Pilze, Algen und Protozoen gehören (GISI, 1997). Mikroorganismen nehmen eine wichtige Funktion im Kreislauf des Umbaus von Nährstoffen und Humusfraktionen ein. Sie reagieren empfindlich auf Veränderungen in ihrer Umwelt. Die Untersuchungsergebnisse werden in der Dimension [$\mu\text{g C g}^{-1}$ Boden] angegeben.

Dehydrogenase, ein intrazelluläres Enzym, gehört in die Klasse der Oxidoreduktasen und gibt Auskunft über die Aktivität intakter mikrobieller Zellen. Die Dehydrogenase-Aktivität kann also als Maß für die Intensität mikrobieller Stoffumsetzungen im Boden angesehen werden (SCHUBERT, 2001). Hier ist die Einheit [$\mu\text{g INF g}^{-1}$ Boden], wobei INF für Iodonitrotetrazoliumformazan steht, welches bei der Analyse kolorimetrisch gemessen wird.

Bei den Erhebungen zur mikrobiellen Biomasse im November 2005 traten signifikante Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem und Bodenbearbeitung auf, so dass lediglich innerhalb des Systems VL-GB ein höherer Wert der pfluglosen Variante SR30/15 ($1937 \mu\text{g C g}^{-1}$ Boden) gegenüber P30 ($1314 \mu\text{g C g}^{-1}$ Boden) ermittelt wurde.

Im Juni 2006 beschränkten sich die Analysen auf 2 Betriebs- und 3 Bodenbearbeitungssysteme. Aufgrund großer Streuungen wurden deutliche Unterschiede der mikrobiellen Biomassen bei den Bodenbearbeitungssystemen nicht als signifikant ausgewiesen (Tab. 3-22).

Tab. 3-22: Mikrobielle Biomasse [$\mu\text{g C g}^{-1}$ Boden] in der Tiefenstufe 0 – 12 cm im Juni 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Tiefenstufe	Betriebssysteme		Bodenbearbeitungssysteme		
	GM-V	VL-MF	P30	ZP30/15	SR30/15
M	964(100)	1056(110)	765(100)	984(129)	1281(167)
0 – 12 cm	a	a	a	a	a
SE	144	162	106	252	135
LSD	295		714		
p-Wert	0,39	n. s.	0,20	n. s.	

Mittelwerte ohne signifikante Unterschiede sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

() = in Klammern in %, GM-V = 100 % bzw. P30 = 100 %

Die Untersuchungen der Dehydrogenase-Aktivität im Juni 2006 erstreckten sich auf mehrere Bodenschichten (Tab. 3-23). Im Hinblick auf die Betriebssysteme wurden keine signifikanten Unterschiede ermittelt.

Bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten ergaben sich in der Oberkrume (0 – 12 cm) höchst signifikant steigende Werte in der Reihenfolge P30 → ZP30/15 → SR30/15. In der Unterkrume (17 – 25 cm) und in 30 – 40 cm kehrten sich diese Verhältnisse um. In der Tiefenstufe 17 – 25 cm wies das System SR30/15 den geringsten Wert auf, in 30 – 40 cm das System P30 den höchsten Wert. Die höhere Aktivität der Variante P30 spiegelte sich auch in den dargestellten Humusgehalten der Bodenschicht 30 – 60 cm wider (vgl. Tab. 3-21).

In der Gesamtheit der 3 beschriebenen Tiefenstufen, d. h. über den Bereich 0 – 40 cm, unterschieden sich die Bodenbearbeitungssysteme nicht.

Tab. 3-23: Dehydrogenase-Aktivität [$\mu\text{g INF g}^{-1}$ Boden] in verschiedenen Tiefenstufen im Juni 2006 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Tiefenstufe		Betriebssysteme		Bodenbearbeitungssysteme		
		GM-V	VL-MF	P30	ZP30/15	SR30/15
0 – 12 cm	M	49,5(100)	42,4(85,7)	35,4(100)	46,4(131)	56,1(158)
		a	a	c	b	a
	SE	3,2	3,1	1,5	3,6	2,6
	LSD	8,59		9,09		
	p-Wert	0,08	n. s.	0,0002		***
17 – 25 cm	M	36,4(100)	31,5(86,5)	38,5(100)	36,2(94,0)	27,2(70,6)
		a	a	a	a	b
	SE	2,4	2,2	3,2	2,1	2,0
	LSD	11,7		8,7		
	p-Wert	0,28	n. s.	0,01		*
30 – 40 cm	M	20,5(100)	17,2(83,9)	24,9(100)	17,3(69,5)	14,5(58,2)
		a	a	a	b	b
	SE	1,9	1,7	2,1	1,8	0,9
	LSD	6,07		4,07		
	p-Wert	0,18	n. s.	< 0,0001		***
0 – 40 cm	M	35,5(100)	30,4(85,9)	32,9(100)	33,3(101)	32,6(99,1)
		a	a	a	a	a
	SE	1,3	1,2	1,7	2,1	1,7
	LSD	7,3		5,1		
	p-Wert	0,11	n. s.	0,94		n. s.

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

INF = Iodonitrotetrazoliumformazan

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

() = in Klammern in %, GM-V = 100 % bzw. P30 = 100 %

Die Untersuchungen auf Dehydrogenase-Aktivität im Oktober 2007 (Tab. 3-24) umfassten wieder sämtliche Versuchsvarianten. Auf deutlich höherem Gesamtniveau als 2006 wies das viehlose System VL-MF in beiden Tiefenstufen die niedrigsten Werte auf (in 17 – 25 cm nicht signifikant gegenüber VL-GB).

Hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme wurden wiederum für das pfluglose System SR30/15 in der Oberkrume (0 – 12 cm) der höchst signifikant größte und in der Unterkrume (17 – 25 cm) der höchst signifikant niedrigste Wert der Dehydrogenase-Aktivität aller Bodenbearbeitungsvarianten ermittelt.

Tab. 3-24: Dehydrogenase-Aktivität [$\mu\text{g INF g}^{-1}$ Boden] in den Tiefenstufen 0 – 12 cm und 17 – 25 cm im Oktober 2007 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Tiefen- stufe	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme				
	GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15	
M	106 (100) a	107 (101) a	84,7 (79,9) b	81,5 (100) c	102 (125) b	91,0 (112) bc	122 (150) a	
0 – 12 cm	SE	5,7	5,0	5,3	4,5	5,4	5,6	5,4
	LSD	18,6			13,9			
	p-Wert	0,04		*	< 0,0001		***	
M	45,3 (100) a	37,3 (82,3) ab	31,3 (69,1) b	45,9 (100) a	38,8 (84,5) a	42,1 (91,7) a	25,1 (54,7) b	
17 – 25 cm	SE	3,6	3,1	3,0	4,1	3,4	3,7	2,3
	LSD	10,3			10,4			
	p-Wert	0,04		*	< 0,0001		***	

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

INF = Iodonitrotetrazoliumformazan

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

() = in Klammern in %, GM-V = 100 % bzw. P30 = 100 %

Die Ausführungen zu Veränderungen des Humusvorrats lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die linearen Trends von organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff in der Bodenschicht 0 – 30 cm zeigen, dass es im Betriebssystem GM-V zu einem Humusaufbau, in den beiden viehlosen Systemen zu einem –abbau kommt. Im Hinblick auf die Bodenbearbeitung sinken die Humusgehalte relativ einheitlich in allen 4 geprüften Systemen.

Der Humusstatus in 0 – 30 cm Bodentiefe am Ende der 2. Rotation wies höhere Werte von GM-V gegenüber VL-MF aus. Bezüglich der Bodenbearbeitung wurden in der Gesamtheit der Bodenschicht 0 – 30 cm keine Differenzierungen, wohl aber eine relative Humusanreicherung im pfluglosen System SR30/15 in der Oberkrume ermittelt.

Analog dazu verhielt sich die Dehydrogenase-Aktivität an zwei unterschiedlichen Terminen. Im viehlosen System VL-MF wurden geringere Werte besonders gegenüber GM-V festgestellt. Hinsichtlich der Bodenbearbeitung ließ das System SR30/15 in der Oberkrume die höchsten, in der Unterkrume die niedrigsten Werte aller Varianten erkennen. In der Gesamtheit des Krumenbereichs wurden wiederum keine Unterschiede gefunden.

3.3.2 Bodenphysikalische Eigenschaften

3.3.2.1 Trockenrohddichte

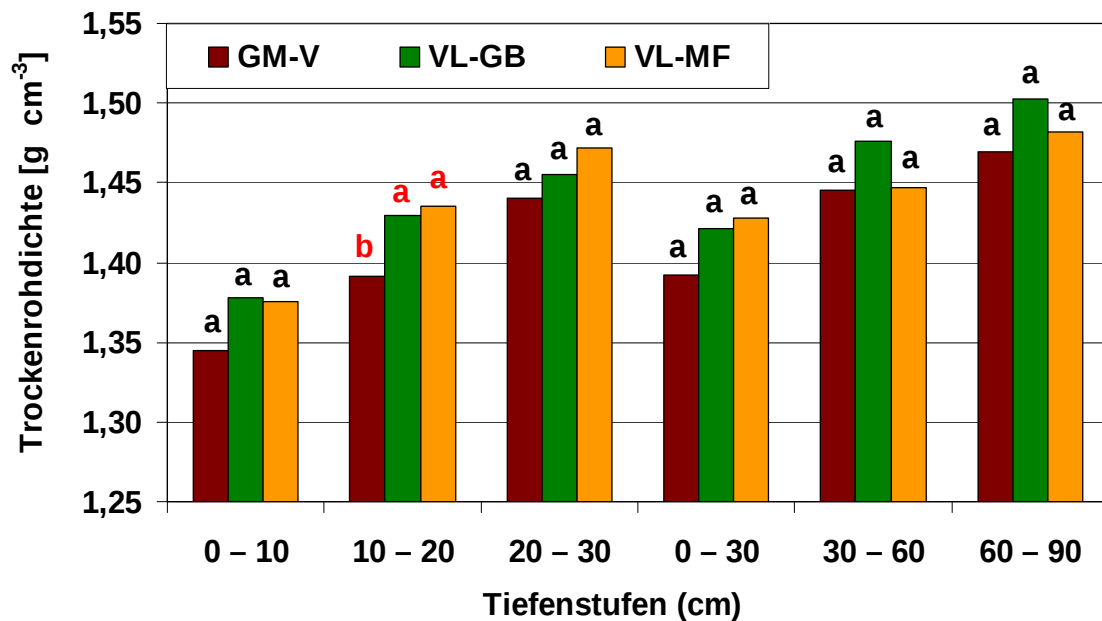
Im Zuge der Ursachenforschung der Unterschiede bei Erträgen und Fruchtfolgeleistungen wurden im Mai 2006 und im März 2009 die Trockenrohddichten (TRD) in verschiedenen Tiefenstufen bestimmt (vgl. S. 25). Die TRD ist ein indirekter Indikator für das Porenvolumen und gibt damit Hinweise auf bedeutsame Bodenfunktionen wie Wasserhaltefähigkeit, nutzbare Feldkapazität, Luftkapazität und Durchwurzelbarkeit. Nach der AD-HOC-AG BODEN (2005) gilt die in Tab. 3-25 dargestellte Einstufung der TRD:

Tab. 3-25: Einstufung der Trockenrohddichte (AD-HOC-AG BODEN, 2005)

Bezeichnung	Stufe	Trockenrohddichte in g cm ⁻³
sehr gering	1	< 1,2
gering	2	1,2 bis < 1,4
mittel	3	1,4 bis < 1,6
hoch	4	1,6 bis < 1,8
sehr hoch	5	≥ 1,8

Im Mai 2006, sieben Monate nach der letzten differenzierten Bodenbearbeitung, wurden lediglich die Betriebssysteme GM-V und VL-MF mit den Kleinparzellenfaktoren P30 und SR30/15 beprobt. Nur in der Bodenschicht 0 – 12 cm wurde bei P30 ein signifikant höherer Wert (1,27 g cm⁻³) festgestellt als in SR30/15 (1,19 g cm⁻³). Die vollständigen Ergebnisse sind in Tab. A-23 im Anhang dargestellt.

Im März 2009 fand eine Beprobung aller Varianten und zahlreicher Tiefenstufen statt (Abb. 3-8).



Innerhalb der einzelnen Tiefenstufen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

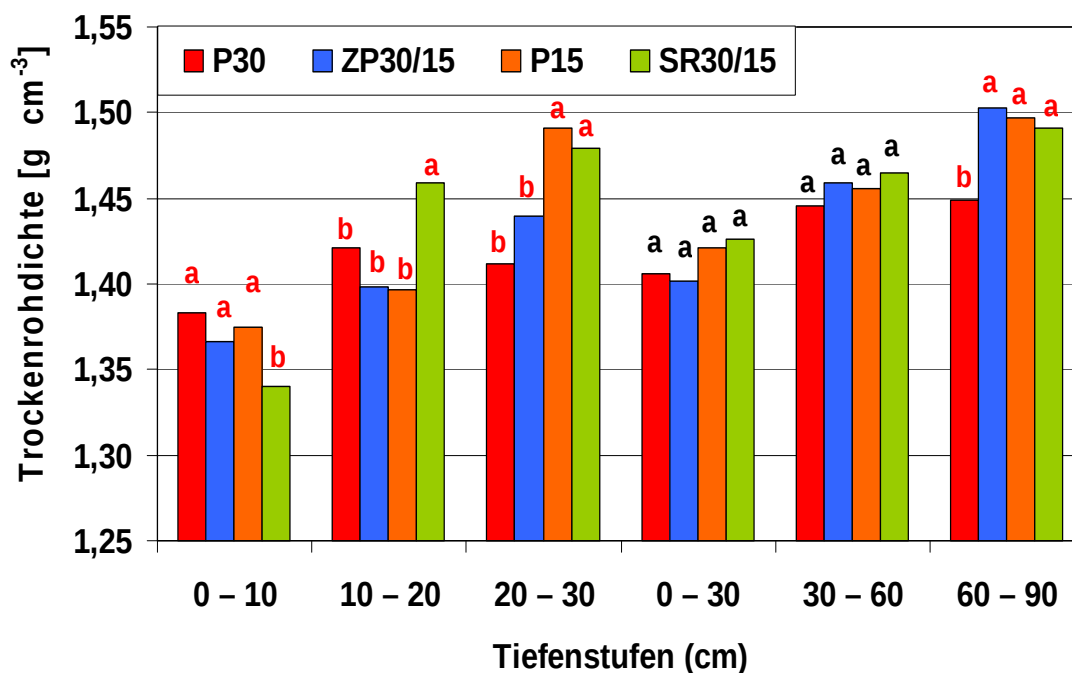
VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

Abb. 3-8: Trockenrohddichten [g cm⁻³] im März 2009 in verschiedenen Tiefenstufen in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

Alle Werte befanden sich in den nach der AD-HOC-AG BODEN (2005) definierten Stufen „2 = gering“ und „3 = mittel“. Die Daten für die Bodenschicht 0 – 30 cm beruhen auf Mittelwerten der Tiefenstufen 0 – 10 cm, 10 – 20 cm und 20 – 30 cm. Bezüglich der Betriebssysteme zeigte sich in 10 – 20 cm Bodentiefe eine signifikant geringere TRD im System GM-V als in beiden viehlosen Systemen, d. h. es zeigten sich deutliche Parallelen zu den in Kap. 3.3.1 beschriebenen Humusmassen.

Prägnantere Unterschiede wurden durch die Bodenbearbeitung hervorgerufen (Abb. 3-9). Besonders auffallend waren die Differenzierungen in der Krume. Dort wies die pfluglose Variante SR30/15 den niedrigsten Wert in der Oberkrume und den signifikant höchsten Wert in der Mittelkrume auf. In der Unterkrume war der Boden bei P15 und SR30/15 deutlich kompakter als in den anderen beiden Varianten. Kaum durch die Bodenbearbeitung erklärbar sind die Unterschiede in der Bodenschicht 60 – 90 cm. Insgesamt ergeben sich wieder deutliche Parallelen zu den Humusmassen und zu den Dehydrogenase-Aktivitäten (vgl. Kap. 3.3.1).



Innerhalb der einzelnen Tiefenstufen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

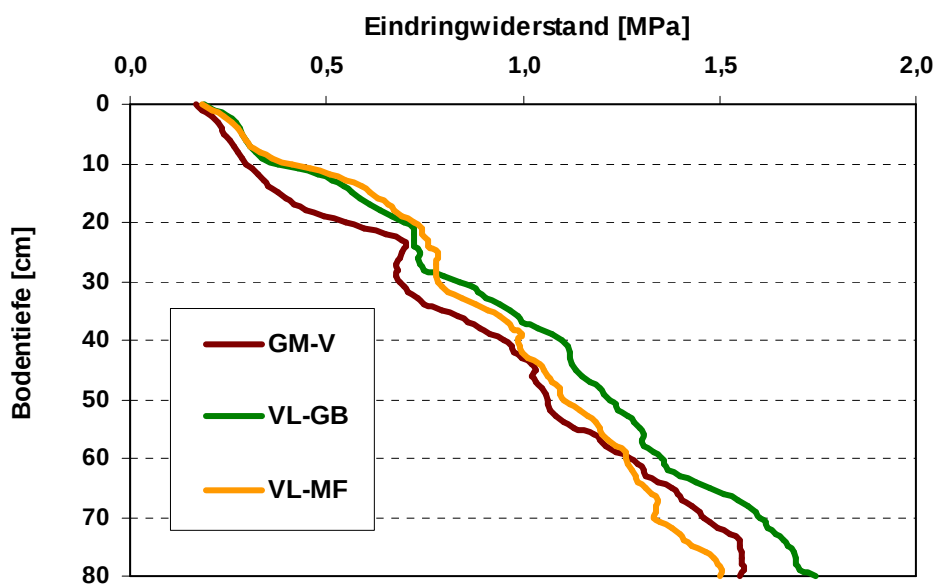
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Abb. 3-9: Trockenrohdichten [g cm^{-3}] im März 2009 in verschiedenen Tiefenstufen in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung

3.3.2.2 Eindringwiderstand

Zur weiteren Darstellung des Einflusses von Betriebssystem und Bodenbearbeitung auf die Kompaktheit des Bodens wurden im März 2009 umfangreiche Messungen des Eindringwiderstands vorgenommen (s. S. 27). Referenzwerte für den Eindringwiderstand sind wenig hilfreich, weil dieses Merkmal von vielen Parametern wie Humusgehalt, Bodenart u. a., besonders aber von der Bodenfeuchte abhängt. Zwar kann nicht direkt von dem Eindringwiderstand des Penetrologgers auf die Durchwurzelbarkeit des Bodens geschlossen werden, dennoch liefern die Werte wichtige Differenzierungsmöglichkeiten der einzelnen Varianten.

In Abb. 3-10 sind die Widerstände dargestellt, die die Böden der verschiedenen Betriebssysteme der Sondierstange des Penetrologgers beim Eindringen entgegenseetzen.



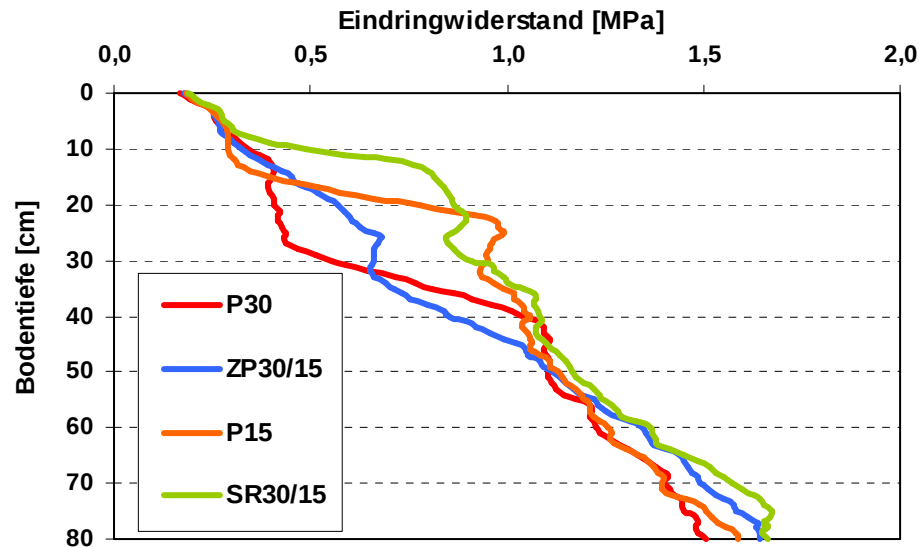
GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung
 VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache
 MPa = Megapascal

Abb. 3-10: Eindringwiderstand [MPa] in der Bodenschicht 0 – 80 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

Analog zu den Trockenrohdichten (vgl. Abb. 3-8) fallen besonders die geringeren Eindringwiderstände des Betriebssystems GM-V gegenüber beiden anderen Systemen in der Bodenschicht 10 – 20 cm auf.

Deutlichere Unterschiede wurden durch die Bodenbearbeitung hervorgerufen (Abb. 3-11). Während der Gegendruck beim konventionellen Pflug (P30) in der Bodenschicht 0 – 30 cm relativ moderat anstieg, nahmen die Widerstände bei ZP30/15 und mehr noch bei P15 ab 15 cm deutlich zu. Ein noch gravierenderer Anstieg ist in der pfluglosen Variante SR30/15 bereits ab ca. 10 cm Bodentiefe zu verzeichnen.



P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug ZP30/15 = Zweischichtenpflug
P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge
MPa = Megapascal

Abb. 3-11: Eindringwiderstand [MPa] in der Bodenschicht 0 – 80 cm in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung

Um die Ergebnisse der Penetrologermessungen in der Bodenschicht 0 – 40 cm in ihrer Gesamtheit zu erfassen, wurde die aufgewendete Kraft über den Weg in Richtung der Kraft integriert (Tab. 3-26). Die ermittelten Integrale geben Auskunft über die jeweilige physikalisch geleistete Arbeit in Joule.

Bezüglich der Betriebssysteme musste bei GM-V eine hoch signifikant geringere Arbeit als bei den beiden viehlosen Systemen geleistet werden. Hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme stieg die geleistete Arbeit in der Reihenfolge P30 = ZP30/15 < P15 < SR30/15 an.

Tab. 3-26: Physikalisch geleistete Arbeit [Joule] beim Eindrücken der Sondierstange des Penetrologgers in die Bodenschicht 0 – 40 cm im März 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
	GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
M	20,6	25,0	25,0	18,7	20,3	25,9	29,2
	b	a	a	c	c	b	a
SE	1,2	1,3	1,2	0,9	0,8	0,9	1,1
LSD		2,7				2,8	
p-Wert	0,01	**		< 0,0001		***	

Innerhalb der Umrundungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Die Ergebnisse der bodenphysikalischen Eigenschaften lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die festgestellten Unterschiede von Trockenrohdichte und Eindringwiderstand, hervorgerufen durch die unterschiedlichen Bewirtschaftungssysteme, beschränkten sich hauptsächlich auf den Krumbereich.

Hinsichtlich der Betriebssysteme wurden deutliche Tendenzen, in Teilbereichen der Krume auch signifikante Unterschiede, von geringerer Kompaktheit des Bodens in GM-V gegenüber beiden viehlosen Systemen ermittelt.

Bezüglich der Bodenbearbeitungssysteme wurde verzeichnet, dass das pfluglose System SR30/15 in der Oberkrume lockerer, in Mittel- und Unterkrume dagegen kompakter als die übrigen Systeme war.

In der Gesamtheit der Bodenschicht 0 – 40 cm ergaben sich zunehmende Eindringwiderstände in der Reihenfolge $P30 = ZP30/15 < P15 < SR30/15$.

3.3.3 Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff

Die besondere Bedeutung von Stickstoff für das Pflanzenwachstum speziell im Ökologischen Landbau wurde bereits in Kap. 3.2.1 und Kap. 3.3.1 dargelegt. Während N-Salden und Gehalte an Gesamt-N im Boden eher langfristige Bedeutung haben, sind die Gehalte an mineralischem Stickstoff, d. h. an direkt pflanzenverfügbarem Stickstoff, kurzfristig von besonderer Wichtigkeit für die Ertragsbildung.

Daher werden im Folgenden die Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) jeweils zum Ende und zum Beginn der Vegetationsperioden in der 2. Fruchtfolgerotation dargestellt. Die Erhebungen vor Winter geben Aufschluss über potentielle N-Verluste mit dem Sickerwasser, die Untersuchungen nach Winter liefern Hinweise zur N-Verfügbarkeit für das einsetzende Pflanzenwachstum.

Obwohl die Beprobungen für die Tiefenschichten 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm getrennt vorgenommen wurden, sollen zunächst nur die Ergebnisse der Bodenschicht 0 – 90 cm in ihrer Gesamtheit wiedergegeben werden.

Dabei ist zu beachten, dass die Ergebnisse nur Momentaufnahmen zu den jeweiligen Terminen darstellen. Durch Mineralisationsprozesse, N-Aufnahmen durch die Pflanzen und N-Verluste können kurzfristig starke Schwankungen auftreten, die durch die Probenahmen nicht abgebildet werden.

3.3.3.1 Vergleich der Betriebssysteme über die 2. Rotation

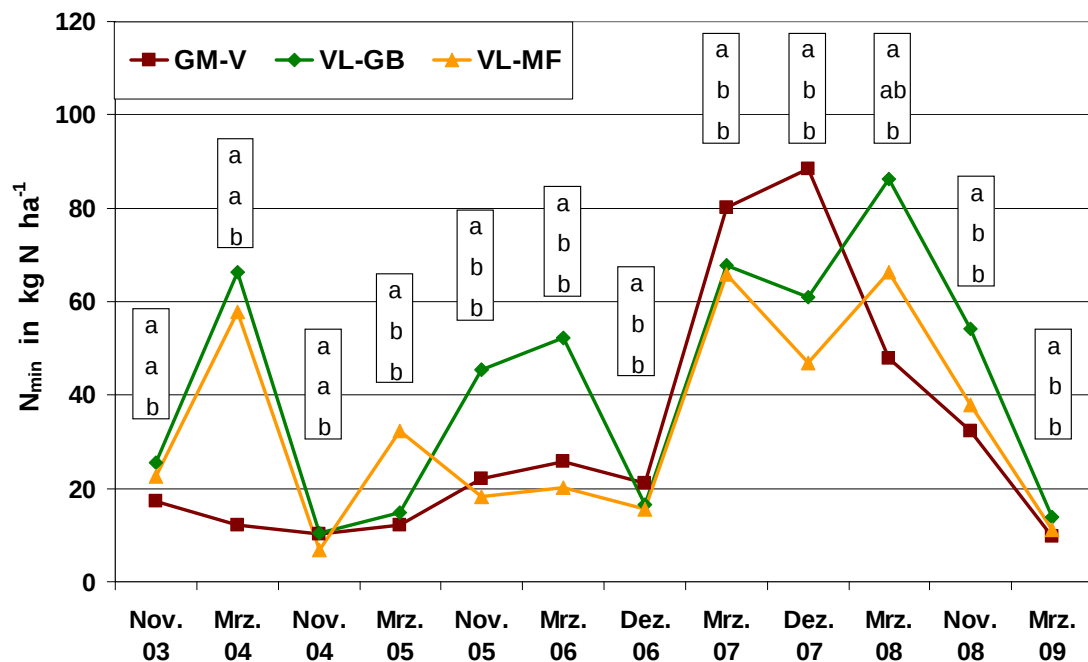
Die ermittelten $N_{\min}$ -Gehalte wurden bezüglich der Betriebssysteme sehr stark von den jeweils angebauten Feldfrüchten beeinflusst (Abb. 3-12) und waren daher vergleichsweise heterogen.

Bei GM-V fallen die niedrigen Werte von unter 20 kg N ha^{-1} in der Phase des zweijährigen Feldfutterbaus mit Ansaat im März 2003 auf. Offensichtlich ist der größte Teil des symbiotisch fixierten Stickstoffs organisch gebunden und steht auch der anschließenden Frucht *T. aestivum I* nur in geringen Mengen mineralisch zur Verfügung.

Dagegen wurden in den beiden viehlosen Systemen im Frühjahr 2004 vor der Sommerung *A. sativa* hohe Werte ermittelt.

In VL-GB, wo der Aufwuchs der legumen Grünbrache auf den Parzellen verblieb, standen der Winterung *T. aestivum* in 2005/2006 signifikant größere Mengen an $N_{\min}$ zur Verfügung als beiden anderen Systemen, was in einem entsprechend höheren Kornertrag und in höherer Kornqualität resultierte (vgl. Kap. 3.1.1.3).

GM-V:	LKG	LKG	WW I	KA	WW II	WR
VL-GB:	HA	LKG	WW	KA	ER	WR
VL-MF:	HA	AB	WW	KA	ER	WR



Bezogen auf die einzelnen Termine unterscheiden sich Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

LKG = Luzerne-Klee-gras-Gemenge

HA = Hafer (*A. sativa*)

AB = Ackerbohnen (*V. faba*)

WW = Winterweizen (*T. aestivum*)

ER = Erbsen (*P. sativum*)

KA = Kartoffeln (*S. tuberosum*)

WR = Winterroggen (*S. cereale*)

Abb. 3-12: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha^{-1}] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

Vor der Hackfrucht *S. tuberosum* wurden im März 2007 in allen 3 Betriebssystemen hohe $N_{\min}$ -Gehalte ermittelt, signifikant am höchsten in GM-V, wo zur vorangestell-

ten Zwischenfrucht 269 kg ha⁻¹ Gesamtstickstoff (s. Tab. A-9, A-12 und A-17 im Anhang) in Form von Rottemist gedüngt worden war.

Nach dem frühen Absterben des Kartoffelkrauts und einem relativ geringen Knollenertrag wurden im Dezember 2007 in allen 3 Systemen sehr hohe residuale N_{min}-Gehalte gemessen, die in GM-V unter *T. aestivum* zum März 2008 stark abfielen, aber immer noch auf hohem Niveau lagen.

Der Winterung *S. cereale* standen wieder im viehlosen System VL-GB die höchsten Gehalte an leichtlöslichem Stickstoff zur Verfügung, obwohl in GM-V zur vorangestellten Zwischenfrucht 96 kg ha⁻¹ Gesamtstickstoff in Form von Rottemist gedüngt worden war (s. Tab. A-9, A-12 und A-17 im Anhang).

Die bessere N-Versorgung in VL-GB spiegelte sich auch in höheren Chlorophyllgehalten, gemessen im Mai 2009 in den Fahnenblätter von *S. cereale* (Tab. 3-27), und im Kornertrag (vgl. Kap. 3.1.1.6) wider.

Tab. 3-27: Chlorophyllwert [dimensionslos] der Fahnenblätter von *S. cereale* (Winterroggen) im Mai 2009 in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

		Betriebssysteme		
		GM-V	VL-GB	VL-MF
Chlorophyllwert	M	488 b	546 a	505 b
	SE	7,3	7,1	6,9
	LSD		39,3	
	p-Wert		0,027	*

Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Um das Gefährdungspotential für Nitratauswaschungen über Winter und das Angebot an leichtlöslichem Stickstoff im Frühjahr als Durchschnittswerte über die gesamte 2. Fruchtfolgerotation darzustellen, sind in Tab. 3-28 die Mittelwerte von jeweils 6 Herbst- und 6 Frühjahrsbeprobungen dargestellt.

Während hinsichtlich der Vorwintertermine das viehlose System VL-MF den niedrigsten Wert aufweist (nicht signifikant gegenüber GM-V), ist im Frühjahr das hoch signifikant geringste Angebot an mineralischem Stickstoff beim System GM-V zu finden.

Im Vergleich dazu fanden sich in der 1. Rotation bei den Herbstbeprobungen ähnliche Verhältnisse, nicht dagegen bei den Frühjahrsbeprobungen. In der 1. Rotation standen den Pflanzen im Frühjahr in den beiden Systemen mit Luzerne-Klee gras,

d. h. in GM-V und VL-GB, vergleichbare Mengen an mineralischem Stickstoff zur Verfügung und signifikant mehr als in VL-MF.

Tab. 3-28: Mittelwerte der Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha^{-1}] von jeweils 6 Herbst- und 6 Frühjahrsbeprobungen in der Bodenschicht 0 – 90 cm in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

	6 Herbstbeprobungen			6 Frühjahrsbeprobungen		
	GM-V	VL-GB	VL-MF	GM-V	VL-GB	VL-MF
M	31,9 ab	35,5 a	24,7 b	31,3 b	50,2 a	42,3 a
SE	1,5	1,9	1,2	1,3	2,5	1,8
LSD		7,50			9,17	
p-Wert		0,033	*		0,007	**

Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

3.3.3.2 Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme über die 2. Rotation

Da die differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung fruchtartenspezifisch und damit in den 3 Betriebssystemen teilweise unterschiedlich durchgeführt wurden, werden im Folgenden die $N_{\min}$ -Gehalte in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung separat für jedes Betriebssystem dargestellt.

Um die Ergebnisse beurteilen zu können, sind die differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung auf den Abszissenachsen der Abb. 3-13 bis Abb. 3-15 markiert und von „1“ bis „11“ nummeriert.

Im Gegensatz zu den in Kap. 3.3.3.1 dargestellten $N_{\min}$ -Gehalten verhielten sich die nun zu beschreibenden Gehalte innerhalb jeden Betriebssystems hinsichtlich der 4 Bodenbearbeitungssysteme eher homogen, variierten nur in der Ausprägung.

In der ersten Phase der 2. Rotation fallen in GM-V (Abb. 3-13) die niedrigen $N_{\min}$ -Gehalte ohne signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen auf. Die letzten unterschiedlichen Bodenbearbeitungen fanden im September 2002 statt. Offensichtlich wirkten sie sich nicht differenzierend auf die Gehalte an leichtlöslichem Stickstoff aus, die während des zweijährigen Feldfutterbaus erhoben wurden. Auch die Maßnahmen Nr. 5 (zur Bestellung von *T. aestivum I*) und Nr. 6 (zur Zwischenfruchtbestellung vor *S. tuberosum*) zeigten zunächst keine kurzfristigen Effekte bei den Probenahmen von November 2005 bis Dezember 2006.

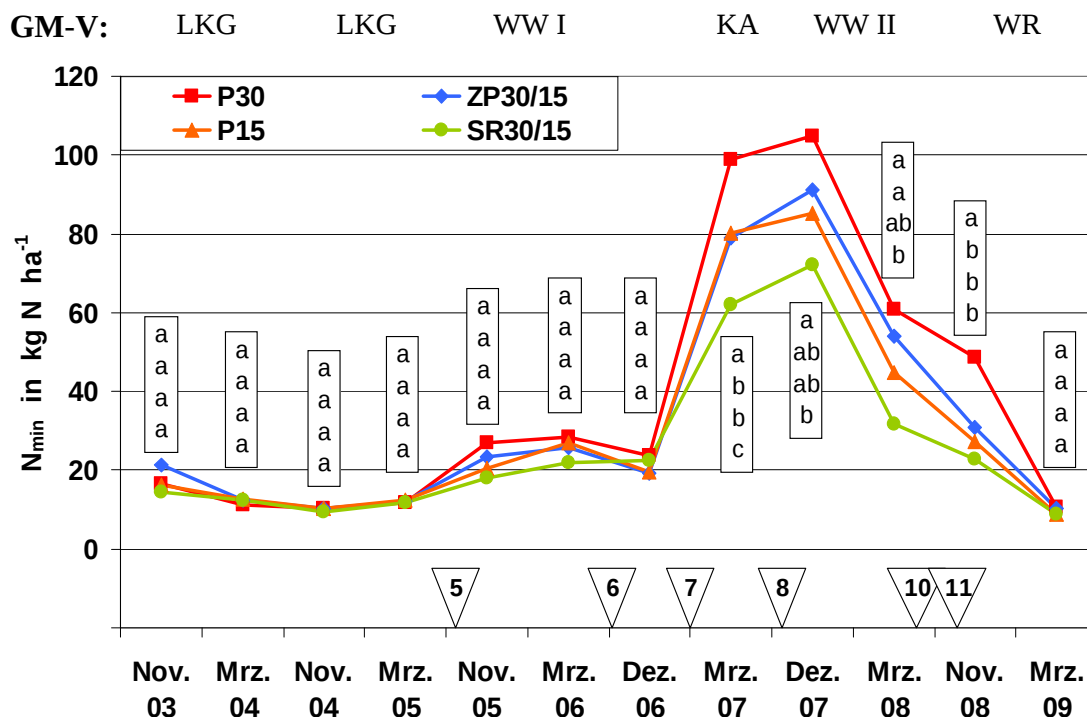
Nach den Maßnahmen Nr. 7 (vor *S. tuberosum*) und Nr. 8 (zur Bestellung von *T. aestivum II*) wurden dagegen insgesamt sehr hohe $N_{\min}$ -Gehalte mit den niedrigsten Werten für das pfluglose System SR30/15 (im Dezember 2007 nicht signifikant gegenüber ZP30/15 und P15) ermittelt. Diese Befunde sind auch im Zusammenhang mit der Rottemistdüngung, den intensiven Pflegemaßnahmen und dem geringen Ertrag von *S. tuberosum* zu sehen.

Zu Beginn der Wachstumsperiode von *T. aestivum II* im März 2008 wurden im System SR30/15 wieder signifikant geringere $N_{\min}$ -Gehalte als in P30 und ZP30/15 festgestellt.

Zur Winterruhe von *S. cereale* im November 2008 wies das System P30 höhere Werte auf als alle anderen Systeme.

Im März 2009 wurden auf sehr niedrigem Niveau keine signifikanten Unterschiede an leichtlöslichem Stickstoff ermittelt.

Über die gesamte 2. Rotation betrachtet fallen unterschiedliche Entwicklungen der $N_{\min}$ -Gehalte von den Beprobungen im Herbst zu den Erhebungen im anschließenden Frühjahr auf. Während die Werte bei den drei Winterungen stark abfielen bzw. auf niedrigem Niveau verharrten, stiegen die Werte vor der Sommerung *S. tuberosum* an.



Bezogen auf die einzelnen Termine unterscheiden sich Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

LKG = Luzerne-Klee-gras-Gemenge

WR = Winterroggen (*S. cereale*)

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

WW = Winterweizen (*T. aestivum*)

KA = Kartoffeln (*S. tuberosum*)

Maßnahmen der differenzierten Grundbodenbearbeitung (vgl. Tab. A-13 im Anhang):

- | | | | |
|----|-------------|--|--|
| 5 | 14.10.2005: | P30 = Pflug 30 cm
P15 = Pflug 15 cm | ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm |
| 6 | 02.08.2006: | P30 = Grubber 15 cm
P15 = Grubber 15 cm | ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm |
| 7 | 25.01.2007: | P30 = Pflug 30 cm
P15 = Pflug 15 cm | ZP30/15 = Pflug 15 cm |
| 8 | 09.10.2007: | P30 = Pflug 30 cm
P15 = Pflug 15 cm | ZP30/15 = Pflug 15 cm |
| | 12.10.2007: | P30 + ZP30/15 + P15 = Kreiselegge | |
| 10 | 02.08.2008: | P30 = Grubber 15 cm
P15 = Pflug 15 cm | ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm |
| 11 | 26.09.2008: | P30 = Pflug 30 cm
P15 = Pflug 15 cm | ZP30/15 = Pflug 15 cm
SR30/15 = Rotoregge 15 cm |
| | 28.09.2008: | P30 + ZP30/15 + P15 = Rotoregge | |

Abb. 3-13: Gehalte an $CaCl_2$ -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [$kg\ N\ ha^{-1}$] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 im Betriebssystem GM-V in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

Im System VL-GB (Abb. 3-14) wurden im November 2003 und im März 2004 vor der Sommerung *A. sativa* jeweils die niedrigsten $N_{\min}$ -Gehalte für die pfluglose Variante SR30/15 ermittelt (im Frühjahr nicht signifikant gegenüber P30 und P15), im März allerdings auf hohem Niveau. Dies ist auch im Zusammenhang mit dem Korn-, Stroh- und Gesamtertrag von *A. sativa* zu sehen (vgl. Tab. 3-2).

In der Phase des einjährigen gemulchten Luzerne-Klee-grases wurden, anders als beim zweijährigen Futterbau in GM-V, nur kurzzeitig im November 2004 und März 2005 niedrige Gehalte an leichtlöslichem Stickstoff ermittelt.

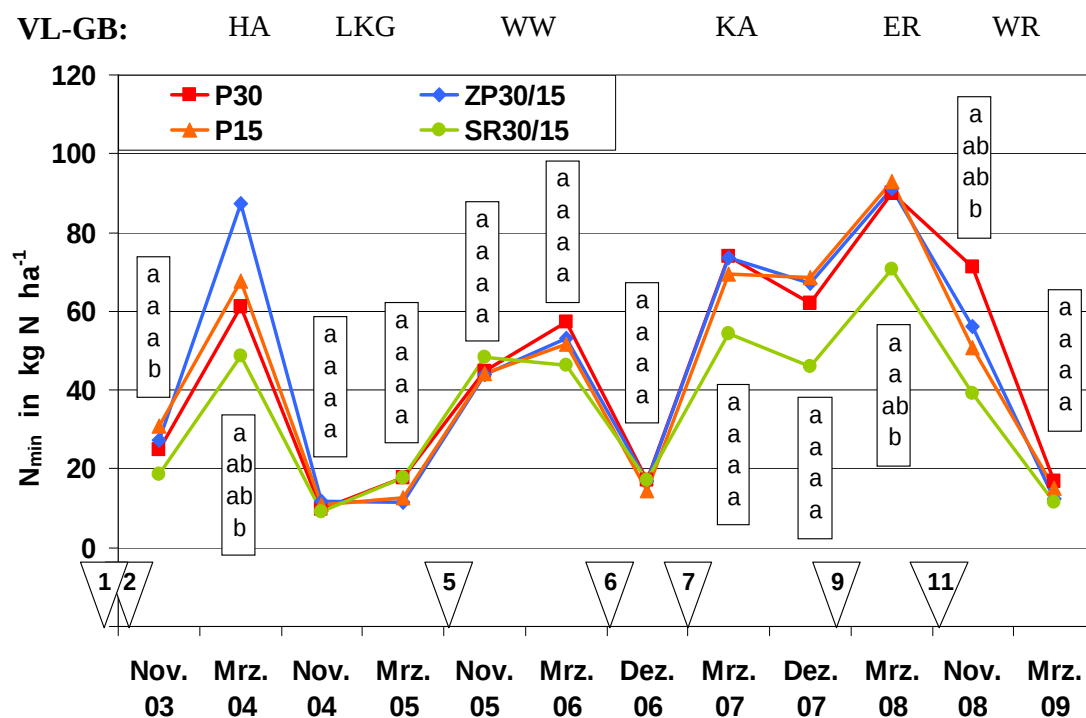
Nach den Bodenbearbeitungsmaßnahmen Nr. 5 wurden unter der Winterung *T. aestivum* wieder deutlich höhere Werte gemessen, jedoch ohne signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Varianten der Bodenbearbeitung.

Die niedrigen $N_{\min}$ -Gehalte im Dezember 2006 ohne signifikante Differenzierungen sind auch im Zusammenhang mit dem hohen Ertrag von *T. aestivum* 2006 (vgl. Tab. 3-5) und der früh gesäten Zwischenfrucht mit hoher Sprossmassebildung (vgl. Tab. A-16 im Anhang) zu sehen.

In der anschließenden Phase von März 2007 bis November 2008 konnten auf insgesamt hohem Niveau bei den letzten beiden Terminen die signifikant niedrigsten Gehalte an leichtlöslichem Stickstoff beim pfluglosen System SR30/15 gegenüber ZP30/15 und P15 bzw. gegenüber P30 ermittelt werden.

Während des Wachstums von *S. cereale* wurden damit ähnliche Differenzierungen bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten gefunden wie im Betriebssystem GM-V.

Insgesamt fallen auch im System VL-GB die deutlich erhöhten $N_{\min}$ -Gehalte vor den 3 Sommerungen auf. Diese Steigerungen vor *A. sativa*, *S. tuberosum* und *P. sativum* fanden jeweils nach den Bodenbearbeitungsmaßnahmen Nr. 2, Nr. 7 und Nr. 9 statt. Unter den beiden Winterungen wurden dagegen kaum veränderte (*T. aestivum*) bzw. stark reduzierte (*S. cereale*) $N_{\min}$ -Gehalte, trotz vorangegangener Bodenbearbeitung, ermittelt.



Bezogen auf die einzelnen Termine unterscheiden sich Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$). VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

HA = Hafer (*A. sativa*) LKG = Luzerne-Klee-gras-Gemenge WW = Winterweizen (*T. aestivum*)
ER = Erbsen (*P. sativum*) WR = Winterroggen (*S. cereale*) KA = Kartoffeln (*S. tuberosum*)

Maßnahmen der differenzierten Grundbodenbearbeitung (vgl. Tab. A-13 im Anhang):

1	03.08.2003:	P30 = Grubber 10 cm P15 = wie ZP30/15	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm
2	22.10.2003:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Scheibenegge 15 cm
5	14.10.2005:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm
6	02.08.2006:	P30 = Grubber 15 cm P15 = Grubber 15 cm	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm
7	25.01.2007:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Pflug 15 cm
9	17.12.2007:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Pflug 15 cm SR30/15 = Grubber 15 cm
11	26.09.2008:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Pflug 15 cm SR30/15 = Rotoregge 15 cm
	28.09.2008:	P30 + ZP30/15 + P15 = Rotoregge	

Abb. 3-14: Gehalte an $CaCl_2$ -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [$kg\ N\ ha^{-1}$] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 im Betriebssystem VL-GB in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

Die $N_{\min}$ -Gehalte der 2. Fruchtfolgerotation im viehlosen System VL-MF (Abb. 3-15) ähneln sehr stark denen des Systems VL-GB.

Vor der Sommerung *A. sativa* wurden ähnliche Differenzierungen bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten gefunden.

Nach der Bodenbearbeitung Nr. 4, die nur im System VL-MF durchgeführt wurde, ergaben sich dagegen deutlich erhöhte Werte ohne signifikante Unterschiede vor der Sommerung *V. faba*.

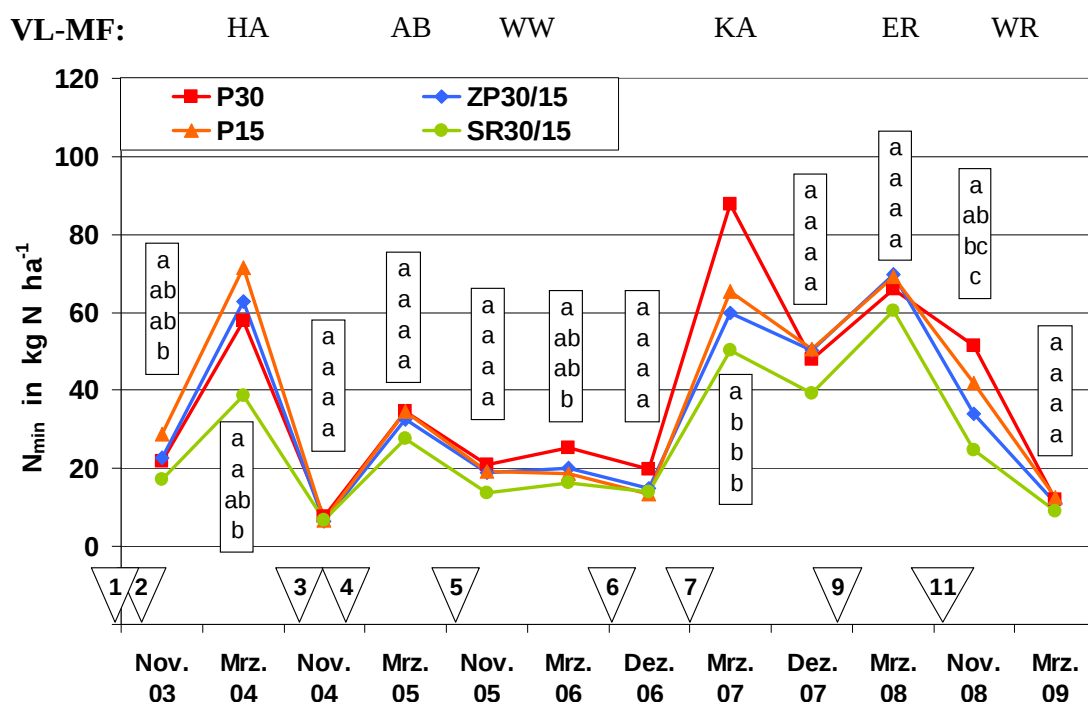
In der anschließenden Phase, November 2005 bis Dezember 2006, konnten niedrige Gehalte an leichtlöslichem Stickstoff ohne bedeutende Unterschiede ermittelt werden. Den Bodenbearbeitungsmaßnahmen Nr. 5 folgten also, anders als im System VL-GB, keine erhöhten $N_{\min}$ -Gehalte.

In der Phase März 2007 bis März 2008, die durch die Bodenbearbeitungen Nr. 7 und Nr. 9 beeinflusst wurden, ähneln sich die beiden viehlosen Systeme wieder sehr stark. In VL-MF wurden allerdings im März 2007 signifikant höhere $N_{\min}$ -Gehalte in P30 als in allen anderen Bodenbearbeitungssystemen gefunden.

Nach den Bodenbearbeitungsmaßnahmen Nr. 11 und der Bestellung von *S. cereale* wurden in VL-MF wieder vergleichbare Differenzierungen bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten ermittelt wie in VL-GB, allerdings auf insgesamt niedrigerem Niveau.

Über die gesamte 2. Rotation gesehen fallen vor den 4 Sommerungen wieder die deutlich erhöhten $N_{\min}$ -Gehalte auf, die nach den Maßnahmen Nr. 2, Nr. 4, Nr. 7 und Nr. 9 erhoben wurden. Bei den besonders gravierenden Steigerungen vor *A. sativa* und *S. tuberosum* ergaben sich auch signifikante Unterschiede bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten.

Unter den beiden Winterungen wurden wieder gleich bleibende (*T. aestivum*) bzw. stark reduzierte Werte (*S. cereale*), trotz vorangegangener Bodenbearbeitung, gefunden.



Bezogen auf die einzelnen Termine unterscheiden sich Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$). VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

HA = Hafer (*A. sativa*) AB = Ackerbohnen (*V. faba*) WW = Winterweizen (*T. aestivum*)

ER = Erbsen (*P. sativum*) WR = Winterroggen (*S. cereale*) KA = Kartoffeln (*S. tuberosum*)

Maßnahmen der differenzierten Grundbodenbearbeitung (siehe auch Tab. A-13 im Anhang):

1	03.08.2003:	P30 = Grubber 10 cm P15 = wie ZP30/15	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm
2	22.10.2003:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Scheibenegge 15 cm
3	06.09.2004:	P30 = Grubber 15 cm P15 = Grubber 15 cm	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm
4	12.12.2004:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Pflug 15 cm SR30/15 = Grubber 15 cm
5	14.10.2005:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm
6	02.08.2006:	P30 = Grubber 15 cm P15 = Grubber 15 cm	ZP30/15 = Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm
7	25.01.2007:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Pflug 15 cm
9	17.12.2007:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Pflug 15 cm SR30/15 = Grubber 15 cm
11	26.09.2008:	P30 = Pflug 30 cm P15 = Pflug 15 cm	ZP30/15 = Pflug 15 cm SR30/15 = Rotoregge 15 cm
	28.09.2008:	P30 + ZP30/15 + P15 = Rotoregge	

Abb. 3-15: Gehalte an $CaCl_2$ -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [$kg\ N\ ha^{-1}$] in der Bodenschicht 0 – 90 cm an 12 Terminen von November 2003 bis März 2009 im Betriebssystem VL-MF in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

Um das Gefährdungspotential für Nitratauswaschungen über Winter und das Angebot an leichtlöslichem Stickstoff im Frühjahr als Durchschnittswerte über die gesamte 2. Fruchtfolgerotation darzustellen, sind in Tab. 3-29 die Mittelwerte von jeweils 6 Herbst- und 6 Frühjahrsbeprobungen dargestellt.

In beiden Kategorien wurde für die pfluglose Variante SR30/15 ein signifikant niedrigerer Mittelwert der $N_{\min}$ -Gehalte als in allen anderen Varianten der Bodenbearbeitung gefunden. Außerdem wurde im Durchschnitt der Herbsttermine bei der flachen Pflugvariante P15 ein geringerer Wert als beim tief wendenden Pflugsystem P30 gefunden.

Tab. 3-29: Mittelwerte der Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha^{-1}] von jeweils 6 Herbst- und 6 Frühjahrsbeprobungen in der Bodenschicht 0 – 90 cm in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung

	6 Herbstbeprobungen				6 Frühjahrsbeprobungen			
	P30	ZP30/15	P15	SR30/15	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
M	35,0 a	31,5 ab	31,1 b	25,2 c	45,7 a	43,3 a	42,6 a	33,4 b
SE	2,0	2,4	2,0	1,7	2,5	3,7	3,0	2,3
LSD	3,71				4,41			
p-Wert	< 0,0001 ***				< 0,0001 ***			

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).
P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug ZP30/15 = Zweischichtenpflug
P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge
M = Mean, SE = Standard Error, LSD = Least Significant Difference

Im Vergleich dazu fanden sich in der 1. Rotation sowohl bei den Herbst- als auch bei den Frühjahrsbeprobungen deutlich geringere Differenzierungen durch die Bodenbearbeitungssysteme. Es wurden lediglich tendenziell geringere Durchschnittswerte bei dem pfluglosen System SR30/15 ermittelt.

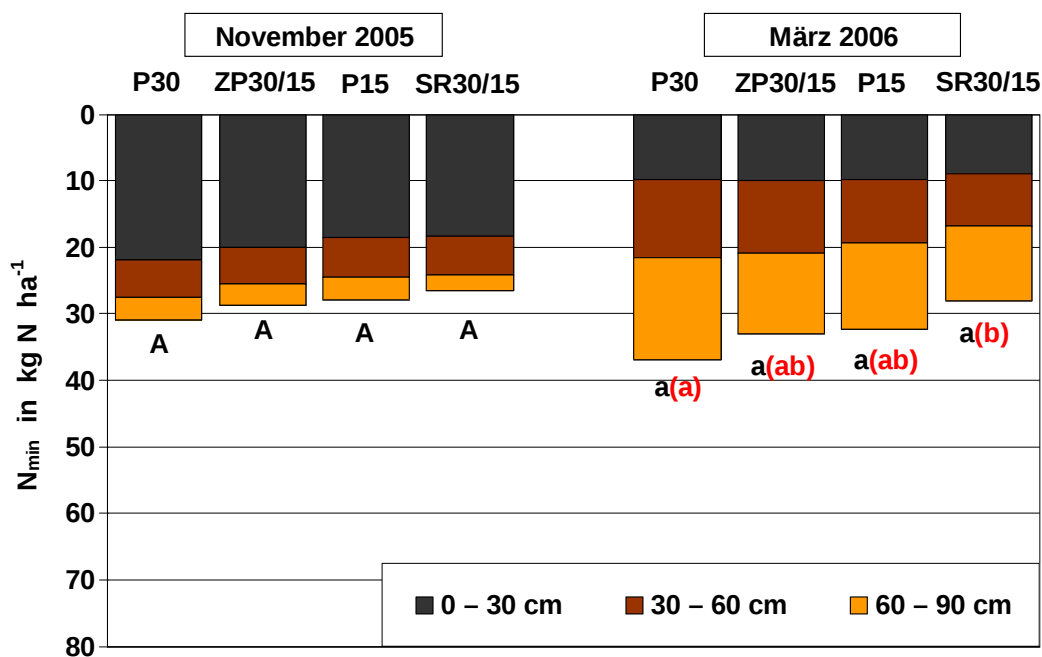
3.3.3.3 Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme bei identischen Feldfrüchten in allen 3 Betriebssystemen

Da diejenigen Versuchsjahre mit gleichen Früchten in allen 3 Betriebssystemen besonders aufschlussreich sind, sollen die $N_{\min}$ -Gehalte dieser Jahre im Folgenden detailliert beschrieben werden.

Ein Vergleich der Gehalte hinsichtlich der Betriebssysteme ist bereits in Kap. 3.3.3.1 geführt worden.

Bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten ist es für die 3 Versuchsjahre mit identischen Früchten nun möglich, die in Kap.3.3.3.2 für die 3 Betriebssysteme separat beschriebenen Ergebnisse, zusammengefasst über alle 3 Fruchtfolgen darzulegen.

Daher sind die Ergebnisse für das Anbaujahr 2006 in Abb. 3-16 nach Tiefenstufen getrennt dargestellt. Bei der üblichen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ sind für die Gesamttiefe 0 – 90 cm an beiden Probenahmeterminen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen der Bodenbearbeitung feststellbar. Erst bei der erhöhten Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,1$ ist im März 2006, zu Beginn der Wachstumsperiode von *T. aestivum*, ein niedrigerer Gehalt des pfluglosen Systems SR30/15 gegenüber P30 nachweisbar. Dies könnte Hinweise auf die weitere Entwicklung der $N_{\min}$ -Gehalte im Verlauf des Frühjahrs geben. In diesem Zusammenhang sind auch die Erträge von *T. aestivum* 2006 zu sehen (vgl. Tab. 3-5).



Bezogen auf die einzelnen Termine unterscheiden sich Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05/\alpha = 0,1$).

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug
P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

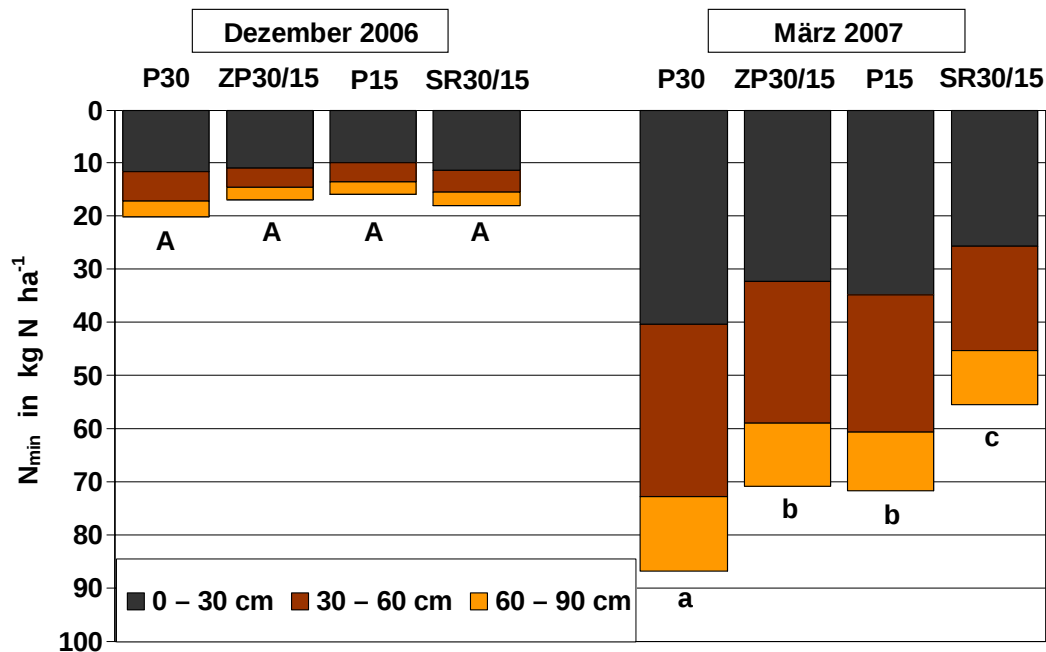
ZP30/15 = Zweischichtenpflug
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Abb. 3-16: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha^{-1}] im Mittel aller Betriebssysteme in 3 Bodenschichten im November 2005 und März 2006 unter *T. aestivum* in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung

Bezüglich der Verteilung der Gehalte an leichtlöslichem Stickstoff auf die 3 Tiefenstufen fallen, bei wenig verändertem Gesamtniveau, Unterschiede zwischen den beiden Probenahmeterminen auf. Während im November 2005 der Anteil im Oberboden deutlich überwiegt, sind die Gehalte im März 2006 annähernd gleichmäßig auf die 3 Tiefenstufen verteilt.

In Abb. 3-17 sind die $N_{\min}$ -Gehalte, gestaffelt in 3 Tiefenstufen, für das nächste Versuchsjahr mit identischer Feldfrucht in allen 3 Betriebssystemen dargestellt. Es handelt sich um die beiden Probenahmeterminen vor der Sommerung *S. tuberosum*.

Nach der Ernte von *T. aestivum* 2006 und einer Zwischenfrucht mit hohem Sprossmasseaufwuchs wurden im Dezember 2006 im Durchschnitt nur 18 kg N ha⁻¹ an residualem Stickstoff in der Bodenschicht 0 – 90 cm, und zwar ohne signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten, ermittelt.



Bezogen auf die einzelnen Termine unterscheiden sich Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug
P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

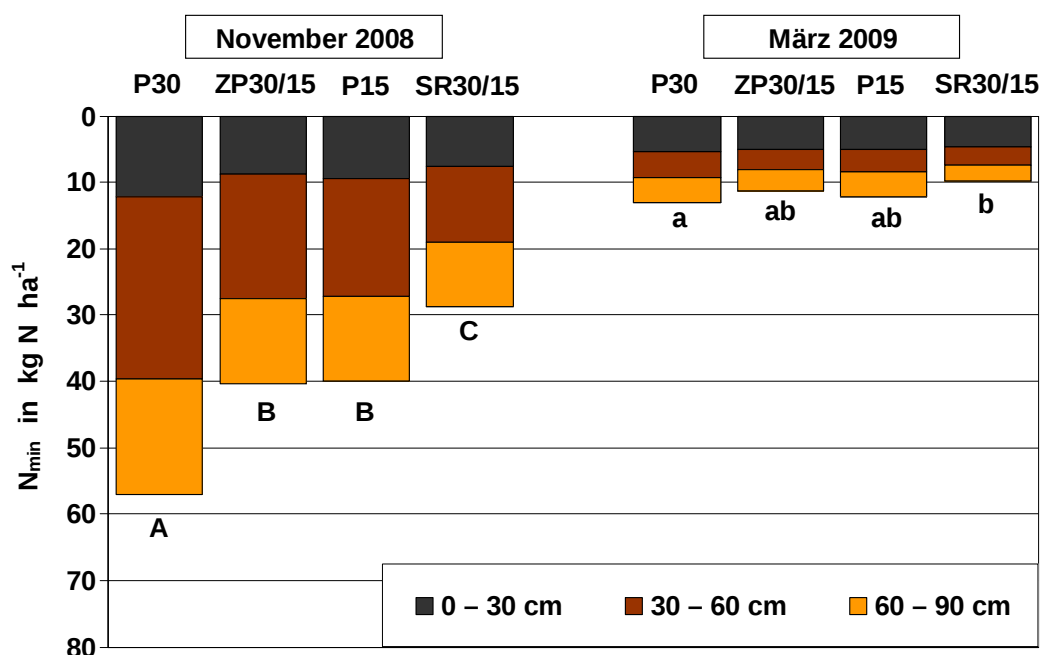
ZP30/15 = Zweischichtenpflug
SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Abb. 3-17: Gehalte an CaCl₂-extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha⁻¹] im Mittel aller Betriebssysteme in 3 Bodenschichten im Dezember 2006 und März 2007 vor *S. tuberosum* in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung

Infolge der differenzierten Bodenbearbeitungsmaßnahmen am 25.01.2007 fanden sich im März 2007 dagegen extrem hohe Gehalte an leichtlöslichem Stickstoff in 0 – 90 cm in der Abstufung P30 > ZP30/15 = P15 > SR30/15. Es ist außerdem ersichtlich, dass die bedeutendsten absoluten Änderungen vom Vorwinter- zum Frühjahrs-termin in den Bodenschichten 0 – 30 cm und 30 – 60 cm stattfanden.

An den beiden Probenahmeterminen im letzten Versuchsjahr, während des Anbaus von *S. cereale*, wurden über alle 3 Betriebssysteme zunächst hohe N_{min}-Gehalte vor Winter, dann sehr niedrige Gehalte nach Winter ermittelt. Diese beiden Termine sind für die 3 Tiefenstufen getrennt in Abb. 3-18 dargestellt. Wiederum weist die pfluglose Variante SR30/15 den jeweils niedrigsten Wert auf (im März 2009 nicht signifikant gegenüber ZP30/15 und P15), was auch im Zusammenhang mit dem Gesamtertrag von *S. cereale* (Tab. 3-11) zu sehen ist.

Hinsichtlich des Vorwintertermins wird deutlich, dass sich erhebliche Mengen an leichtlöslichem Stickstoff in den auswaschungsgefährdeten Bodenschichten 30–60 cm und 60–90 cm befinden, und zwar die höchsten Werte im System P30.



Bezogen auf die einzelnen Termine unterscheiden sich Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Abb. 3-18: Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff [kg N ha^{-1}] im Mittel aller Betriebssysteme in 3 Bodenschichten im November 2008 und März 2009 unter *S. cereale* in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf CaCl_2 -extrahierbaren mineralischen Stickstoff in der Bodentiefe 0–90 cm lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Bezüglich der Betriebssysteme wurden die höchsten Werte am häufigsten im System VL-GB gefunden, was sich auch bei den Durchschnittswerten der 6 Herbst- und der 6 Frühjahrsbeprobungen zeigte.

Falls Unterschiede hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme festgestellt werden konnten, wies das pfluglose System SR30/15 stets den niedrigsten, das System P30 häufig den höchsten Wert auf. Diese Gehaltsunterschiede waren nicht immer signifikant gegenüber allen anderen Systemen, wurden aber auch in den Durchschnittswerten der 6 Herbst- und der 6 Frühjahrsbeprobungen deutlich.

Allgemein wurden während des Anbaus von Winterungen ein starker Abfall oder nur geringe Änderungen der Frühjahrs- gegenüber den Herbstwerten ermittelt. Dagegen ergaben sich vor Sommerungen durchgehend stark erhöhte Frühjahrswerte gegenüber den Herbstbeprobungen.

3.4 Effekte auf die Segetalflora

Im Zuge der Bemühungen um eine hohe Diversität von Flora und Fauna, auch in Agrarökosystemen, kommt der Segetalflora eine besondere Bedeutung zu. Einerseits können Ackerwildkräuter wegen zahlreicher Vorteile in gewissem Umfang erwünscht sein. Andererseits stehen sie in Konkurrenz um Wachstumsfaktoren mit den Kulturpflanzen. Angesichts des generellen Herbizidverbots laut EU-Bioverordnung und Richtlinien der Ökoverbände sind Biobetriebe bei Maßnahmen zur Regulierung der Ackerbegleitflora vor besondere Herausforderungen gestellt. Da die Fruchtfolgegestaltung und die Bodenbearbeitung bedeutende Stellgrößen im Bezug auf die Segetalvegetation sind, werden im Folgenden die Erhebungen zum Beikraut-aufkommen vorgestellt.

PIEPHO et al. (2003) bezeichnen Zählwerte und Deckungsgrade von Beikräutern hinsichtlich der statistischen Auswertung als Problem Daten. So konnten im vorliegenden Versuch häufig große Unterschiede der Mittelwerte nicht als signifikant identifiziert werden.

3.4.1 Deckungsgrad der Beikräuter im Frühjahr

Der Deckungsgrad oder die Deckung beschreibt den Anteil der Aufnahme fläche, der von einer bzw. mehreren Pflanzenarten bei senkrechter Beleuchtung beschattet würde. Er ist stets in Relation zum Kulturpflanzenbestand zu sehen.

In Tab. 3-30 sind Beispiele für so genannte „Schad-“ oder „Bekämpfungsschwellen“ für den konventionellen Landbau aufgeführt. Sie gelten für die Gesamtheit der Wildkräuter. Zwar sind die Werte nicht unmittelbar auf den Ökologischen Landbau anwendbar, aber sie stellen Vergleichswerte für die im Dauerfeldversuch Gladbacherhof ermittelten Ergebnisse dar.

Tab. 3-30: Beispiele für „Schad-“ oder „Bekämpfungsschwellen“ nach Deckungsgrad der Beikräuter im konventionellen Wintergetreideanbau

Getreidebestand	Unkraut-deckungsgrad	Quelle
im Herbst: DG 25 %	3 – 5 %	GERHARDS (2010)
im Herbst: DG 45 %	6 – 8 %	GERHARDS (2010)
im Frühjahr nach Vegetationsbeginn	12 – 14 %	GERHARDS (2010)
zur Bestockung	5 – 10 %	GEROWITT & HEITEFUSS (1990)

DG = Deckungsgrad

EYSEL et al. (2001) nennen für den Ökologischen Landbau einen Toleranzbereich bzw. Richtwert von maximal 20 % Begleitflora-Deckung.

Bei den Erhebungen in der 2. Rotation des Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuchs wurde von einer Unterscheidung in mono- und dikotyle Kräuter abgesehen, da zu den Boniturterminen bis auf einige Exemplare von *Apera spica-venti* (Gemeiner Windhalm) nur Dicotyledoneae auftraten.

In den Gemengen aus *M. sativa*, *T. pratense* und 3 *Poaceen* wurde aufgrund der häufigen Schnitt- bzw. Mulchtermine die Beikraut-Deckung nicht bestimmt. Auch in *S. tuberosum* und *P. sativum* wurde darauf verzichtet, weil hier zahlreiche Pflegemaßnahmen mit intensiven Bodenbewegungen durchgeführt wurden.

Die Ergebnisse der Beikraut-Deckungsgrade sind in Tab. 3-31 wiedergegeben, jeweils als Summe aller Wildkräuter. Zunächst fällt das allgemein niedrige Niveau der Deckungsgrade auf. Beim Vergleich der Betriebssysteme wurde lediglich im Jahr 2009 in *S. cereale* ein signifikanter Unterschied, und zwar ein höherer Wildkraut-Deckungsgrad in GM-V als in beiden viehlosen Systemen, festgestellt.

Hinsichtlich der Bodenbearbeitungsvarianten ergaben sich in 2005 (*V. faba*) und in 2008 (*T. aestivum*) keine nachweislichen Unterschiede. Dagegen wies das System ZP30/15 in 2004 (*A. sativa*) eine signifikant höhere Wildkraut-Deckung als P30 auf. In den Jahren 2006 (*T. aestivum*) und 2009 (*S. cereale*) wurden die signifikant höchsten Werte in der pfluglosen Variante SR30/15 gefunden, allerdings in beiden Jahren auf sehr niedrigem Niveau.

Tab. 3-31: Beikraut-Deckungsgrad [%] jeweils im Frühjahr in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Jahr	Betriebssysteme	Fruchtart	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
			GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
2004	GM-V	<i>M. sativa</i> + <i>T. pratense</i> + 3 <i>Poaceen</i>							
	VL-GB + VL-MF	<i>A. sativa</i>		5,11 a	5,63 a	3,83 b	6,41 a	5,67 ab	5,58 ab
2005	GM-V + VL-GB	<i>M. sativa</i> + <i>T. pratense</i> + 3 <i>Poaceen</i>							
	VL-MF	<i>V. faba</i>			2,70	1,65 a	3,88 a	2,63 a	2,63 a
2006	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>T. aestivum</i>	1,20 a	0,68 a	1,01 a	0,15 b	0,59 b	0,17 b	2,97 a
2007	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>S. tuberosum</i>							
2008	GM-V	<i>T. aestivum</i>	5,35			4,19 a	5,44 a	4,69 a	7,09 a
	VL-GB + VL-MF	<i>P. sativum</i>							
2009	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>S. cereale</i>	2,88 a	1,71 b	1,76 b	1,39 b	1,89 b	1,77 b	3,42 a

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

3.4.2 Artenspektrum der Beikräuter im Frühjahr

Im Rahmen dieser Arbeit geht es bezüglich des Beikraut-Arteninventars nicht um eine detaillierte herbologische Pflanzenaufnahme. Es soll vielmehr der Aspekt des Auftretens von Leit- oder Problemunkräutern dargelegt werden. Auch soll geprüft werden, ob vermehrt unerwünschte Wildkräuter, wie z. B. giftige Arten, vorkommen. In Tab. 3-32 sind für die Beikrautanzahl, wie schon beim Beikrautdeckungsgrad, Beispiele für so genannte „Schad- oder Bekämpfungsschwellen“ des konventionellen Landbaus aufgeführt. Bei allen Boniturterminen und in sämtlichen Varianten lagen die ermittelten Werte für *Galium aparine* L. (Klettenlabkraut) um ein mehrfaches über den genannten „Schadschwellen“.

Tab. 3-32: Beispiele für „Schad-“ oder „Bekämpfungsschwellen“ nach Anzahl der Beikräuter im konventionellen Wintergetreideanbau

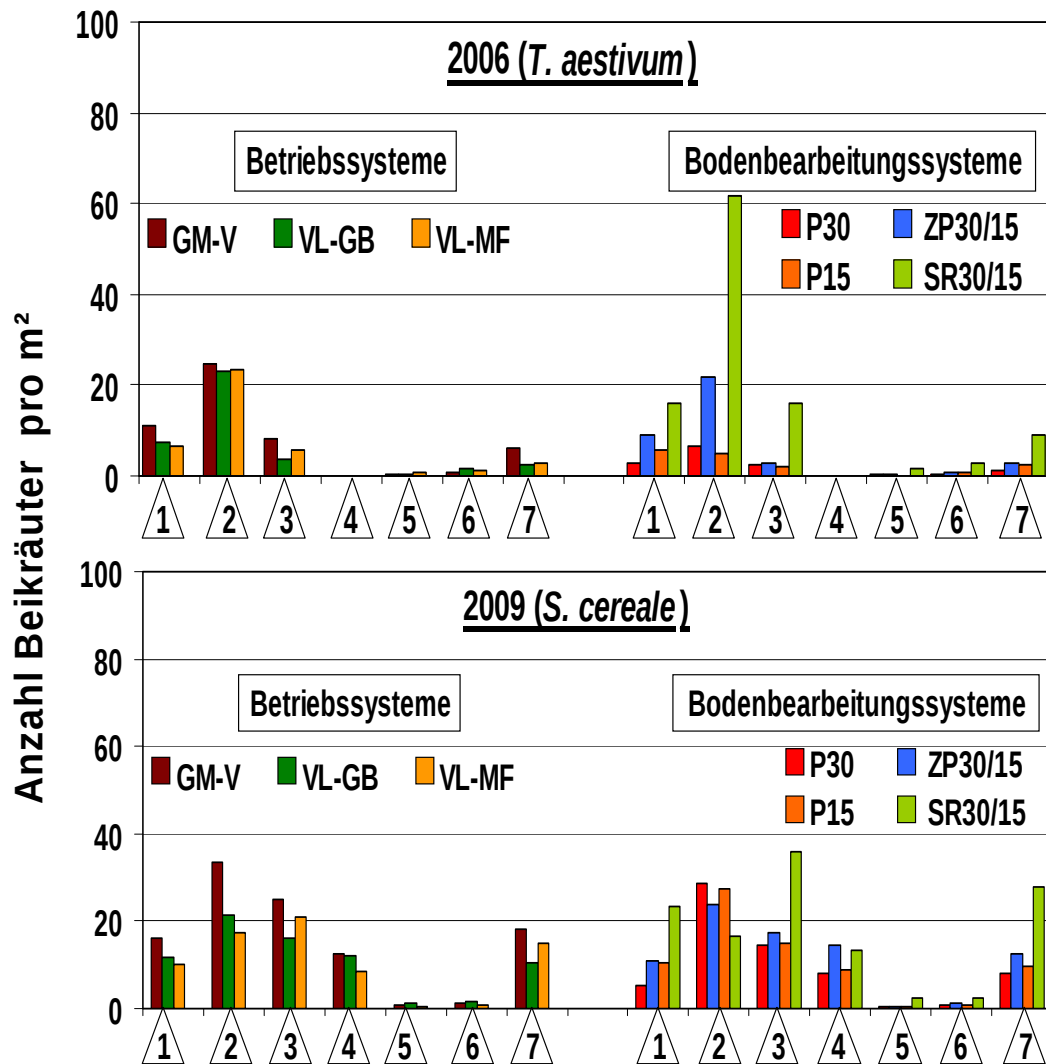
Getreidebestand	Anzahl Unkräuter je m ²	Quelle
im Herbst: DG 25 %	> 40 Unkräuter	GERHARDS (2010)
im Herbst: DG 45 %	> 40 Unkräuter	GERHARDS (2010)
im Frühjahr nach Vegetationsbeginn	> 40 Unkräuter > 0,1 <i>Galium aparine</i> L.	GERHARDS (2010)
zur Bestockung	40 – 50 zweikeimblättrige Unkräuter 0,1 – 0,5 <i>Galium aparine</i> L.	GEROWITT & HEITEFUSS (1990)

Die Bonituren im Dauerfeldversuch Gladbacherhof fanden jeweils im Frühjahr vor der ersten Maßnahme zur mechanischen Beikrautregulierung statt. Aufgrund der auf S. 89 erwähnten Problematik wird auf eine Darstellung statistischer Parameter verzichtet.

In Abb. 3-19 sind die Ergebnisse der beiden Jahre 2006 und 2009 aufgeführt. In diesen Jahren stand jeweils in allen 3 Betriebssystemen die gleiche Feldfrucht. Somit ist ein Vergleich aller Betriebs- und Bodenbearbeitungssysteme möglich.

In 2006 unter *T. aestivum* war die Gesamtanzahl der Beikräuter mit durchschnittlich 43 pro m² relativ gering. Es traten die beiden Arten *G. aparine* L. (Klettenlabkraut) und *S. media* L. (Vogelmiere) hervor, ohne bedeutende Unterschiede zwischen den Betriebssystemen. Hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme wurde für alle Wildkrautarten mit deutlichen Unterschieden der jeweils höchste Wert bei der pfluglosen Variante SR30/15 gefunden.

In 2009, unter *S. cereale*, lag die durchschnittliche Gesamtanzahl an Beikräutern mit 85 pro m² fast doppelt so hoch wie 2006. Neben den bereits 2006 vorherrschenden beiden Arten wurden weiterhin *V. persica* Poiret (Persischer Ehrenpreis), *C. bursa-pastoris* L. (Gemeines Hirtentäschel) und „Sonstige“ in nennenswertem Umfang bonitiert. Bei den Betriebssystemen ist eine leichte Tendenz der höchsten Werte jeweils bei GM-V festzustellen.



GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung
 VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte
 P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug
 P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache
 ZP30/15 = Zweischichtenpflug
 SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

1 = *Galium aparine* L. (Klettenlabkraut)

5 = *Lamium purpureum* L. (Rote Taubnessel)

2 = *Stellaria media* L. (Vogelmiere)

6 = *Matricaria maritima* L. (Geruchl. Kamille)

3 = *Veronica persica* Poiret (Pers. Ehrenpreis)

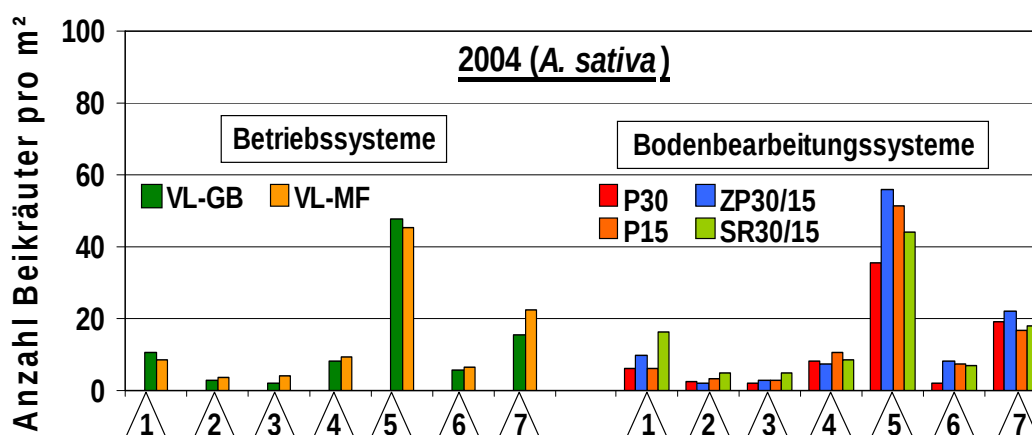
7 = Sonstige

4 = *Capsella bursa-pastoris* L. (Gemeines Hirtentäschel)

Abb. 3-19: Anzahl der verschiedenen Beikräuter [m^{-2}] in den Jahren 2006 und 2009 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Bei den Bodenbearbeitungssystemen wies die pfluglose Variante SR30/15 besonders in den folgenden Kategorien mit Abstand die höchsten Werte auf: *G. aparine* L., *V. persica* Poiret und „Sonstige“.

In Abb. 3-20 sind die Ergebnisse des Jahres 2004 aufgeführt. Es wurde unter der Feldfrucht *A. sativa* in den beiden viehlosen Betriebssystemen bonitiert. Der Feldfuterbau im System GM-V wurde nicht erfasst.



VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

ZP30/15 = Zweischiichtenpflug

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

1 = *Galium aparine* L. (Klettenlabkraut)

2 = *Stellaria media* L. (Vogelmiere)

3 = *Veronica persica* Poiret (Pers. Ehrenpreis)

4 = *Capsella bursa-pastoris* L. (Gemeines Hirtentäschel)

5 = *Raphanus raphanistrum* L. (Hederich)

6 = *Matricaria maritima* L. (Geruchl. Kamille)

7 = Sonstige

Abb. 3-20: Anzahl der verschiedenen Beikräuter [m⁻²] im Jahr 2004 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Bei einer hohen durchschnittlichen Gesamtanzahl an Beikräutern von 96 Exemplaren pro m² fallen besonders die Werte für die hervortretende Art *R. raphanistrum* L. (Hederich) auf. Es handelt sich hierbei um ein typisches Problemunkraut in Sommerungen auf dem Gladbacherhof.

Bezüglich der Betriebssysteme sind lediglich die Unterschiede in der Kategorie „Sonstige“ bemerkenswert mit dem höheren Wert für VL-MF.

Beim Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme sind die niedrigen Werte der Variante P30 bei den Arten *R. raphanistrum* L. und *M. maritima* L. (Geruchlose Kamille) und der hohe Wert der pfluglosen Variante SR30/15 für *G. aparine* L. herauszustellen.

In Abb. 3-21 sind die Ergebnisse der Jahre 2005, *V. faba* nur im Betriebssystem VL-MF, und 2008, *T. aestivum* II nur im System GM-V, aufgeführt. Die Menge in 2005 in GM-V und VL-GB sowie die Körnerleguminose *P. sativum* in 2008 in den beiden viehlosen Betriebssystemen wurden nicht erfasst.

Im Jahr 2005 war das Beikrautauflkommen sehr gering, die durchschnittliche Gesamtanzahl lag bei 29 pro m². Es ist eine Tendenz zu den geringsten Werten in dem

Bodenbearbeitungssystem P30 zu erkennen. Die Ergebnisse bezüglich *Equisetum arvense* L. (Ackerschachtelhalm) sind zurückhaltend zu interpretieren, da diese Beikrautart ausschließlich in den vernässten Parzellen 10 bis 12 (vgl. Abb. A-7 im Anhang) mit niedrigen pH-Werten auftraten. *E. arvense* L. ist eine typische Pflanzenart feuchter Standorte (SCHUBERT et al., 1988).

In 2008 unter *T. aestivum II* lag die durchschnittliche Gesamtanzahl an Beikräutern mit 108 pro m² deutlich höher als 2006 unter der gleichen Feldfrucht. Beim Bodenbearbeitungssystem P30 fällt der niedrige Wert für *G. aparine* L. auf. Bemerkenswert sind außerdem die hohen Werte im System P15 für *S. media* L. und im System SR30/15 für *G. aparine* L. und *V. persica* Poiret.

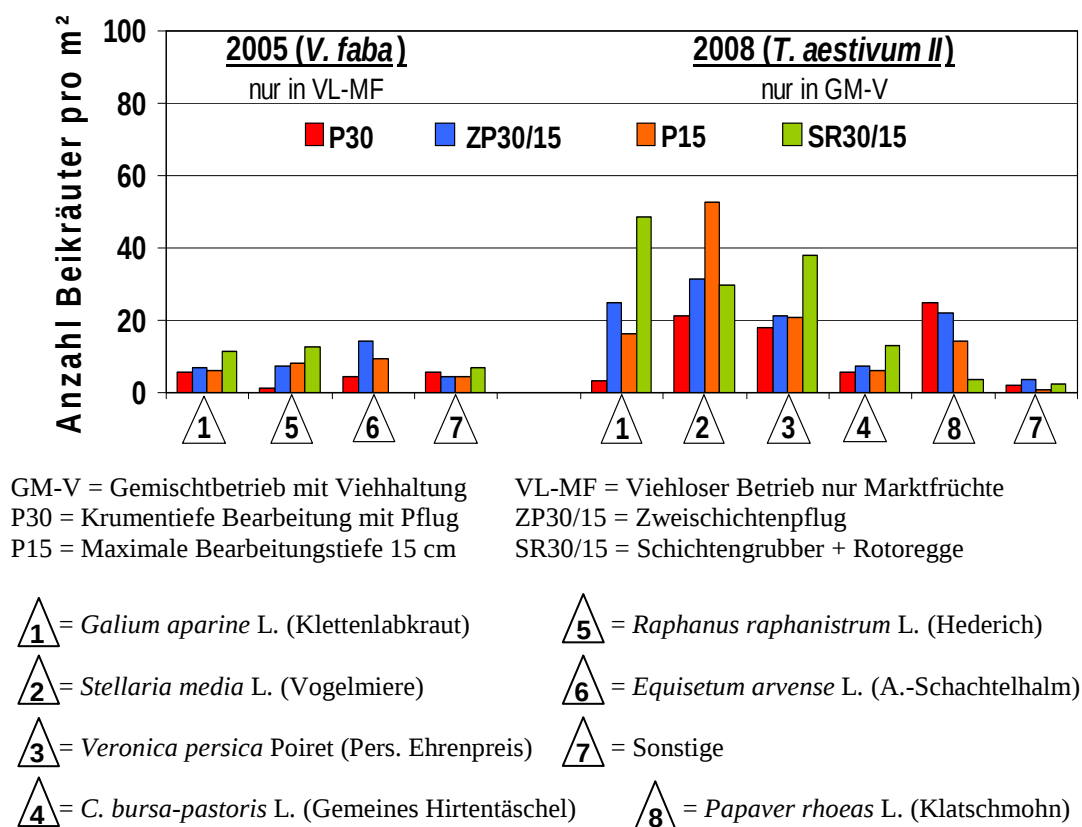


Abb. 3-21: Anzahl der verschiedenen Beikräuter [m⁻²] in den Jahren 2005 und 2008 in Abhängigkeit von den Systemen der Bodenbearbeitung

Im Folgenden sollen einige Wildkrautarten erläutert werden, die unter der Kategorie „Sonstige“ geführt wurden.

In 2004 traten in einigen Parzellen *Chenopodium album* L. (Weißer Gänsefuß) und *Polygonum persicaria* L. (Flohknöterich) auf. Wie schon für *R. raphanistrum* L. erwähnt, so ist auch *C. album* L. ein gekanntes Problemunkraut in Sommerungen auf dem Gladbacherhof.

In 2006 und 2008 wurden in nennenswertem Umfang Exemplare von *Viola arvensis* Murray (Feldstiefmütterchen) bonitiert.

3.4.3 Auftreten von *Cirsium arvense* (L.) Scop. im Frühsommer

C. arvense (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) ist ein ausdauerndes Wurzelunkraut, das sich, wenn es erst etabliert ist, im Ökologischen Landbau nur schwer wieder zurückdrängen lässt (DIERAUER et al., 2004). Nach Verletzungen durch ackerbauliche Maßnahmen reagiert es häufig mit einem verstärkten Wurzel- und Sprossaustrieb. Aufgrund der großen Bedeutung soll das Auftreten dieses Beikrauts nun in einem separaten Kapitel dargelegt werden.

Für die Versuchsdurchführung und die Ergebnisbewertung stellt *C. arvense* (L.) Scop. ebenfalls ein gewisses Problem dar, weil die Verteilung auf den Großparzellen der Betriebssysteme schon zu Versuchsbeginn ungleichmäßig war. Hinsichtlich des Faktors Bodenbearbeitung kann jedoch von einer weitgehenden Homogenität der Parzellen im Jahr 1998 ausgegangen werden.

Häufig auftretende Nullwerte führten dazu, dass in den Jahren 2006 und 2009 auch durch Datentransformationen keine Normalverteilung erreicht werden konnte. Die Aussagekraft statistischer Parameter ist dadurch eingeschränkt. Auch wurden große Unterschiede der Mittelwerte häufig als nicht signifikant ausgewiesen.

In Tab. 3-33 ist der oberirdische Phytomasseanfall an *C. arvense* (L.) Scop. jeweils im Juni aufgeführt. Bezüglich der Betriebssysteme fallen hohe Mittelwerte in 2004 in den beiden viehlosen Betriebssystemen und in 2009 besonders in VL-MF auf. Während *C. arvense* (L.) Scop. im System GM-V schon in der 1. Rotation kaum auftrat, hat sich der Besatz im viehlosen System VL-MF gegenüber VL-GB in der 2. Rotation weiterhin erhöht.

Im Hinblick auf die Bodenbearbeitungssysteme konnten aufgrund der zahlreichen Nullwerte lediglich im Jahr 2004 signifikante Unterschiede, und zwar der höchste Besatz in SR30/15, festgestellt werden (nicht signifikant gegenüber P30). Zum Ende der 1. Rotation wurde ein verstärktes Auftreten von *C. arvense* (L.) Scop. im pfluglosen System SR30/15 ermittelt. Dagegen konnte dieser Anstieg in der 2. Rotation nicht bestätigt werden. Vielmehr fallen relativ hohe Werte für P30 auf, insbesondere gegenüber ZP30/15 und P15. Dies ist bemerkenswert, weil in der 1. Rotation für P30 stets niedrige Werte ermittelt wurden.

Tab. 3-33: Oberirdische Phytomasse von *C. arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) [kg TM ha⁻¹] jeweils im Juni in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Jahr	Betriebssysteme	Fruchtart	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
			GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
2004	GM-V	<i>M. sativa</i> + <i>T. pratense</i> + 3 <i>Poaceen</i>							
	VL-GB + VL-MF	<i>A. sativa</i>		125 a	125 a	94,3 ab	27,2 b	49,7 b	330 a
2005	GM-V + VL-GB	<i>M. sativa</i> + <i>T. pratense</i> + 3 <i>Poaceen</i>							
	VL-MF	<i>V. faba</i>			21,7	22,1 a	3,69 a	5,37 a	55,6 a
2006	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>T. aestivum</i>	0,00004 a	0,0010 a	0,0202 a	0,0169 a	0,0035 a	0,0030 a	0,0049 a
2007	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>S. tuberosum</i>							
2008	GM-V	<i>T. aestivum</i>							
	VL-GB + VL-MF	<i>P. sativum</i>		2,85 a	17,2 a	9,96 a	12,2 a	10,6 a	7,36 a
2009	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>S. cereale</i>	4,13 a	6,26 a	53,7 a	26,4 a	17,9 a	12,3 a	28,8 a

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

3.4.4 Phytomasse der Beikräuter zur Ernte der Hauptfrüchte

Der in Kap. 3.4.1 beschriebene Deckungsgrad und das in Kap. 3.4.2 dargelegte Artenspektrum der Begleitflora beschreiben die Konkurrenzwirkung der Beikräuter auf die Kulturpflanzen in einem relativ frühen Wachstumsstadium. Dagegen betrifft die nun darzustellende oberirdische Phytomasse der Wildflora zum Erntezeitpunkt der Hauptfrüchte die Konkurrenz besonders in späteren Wachstumsphasen. Dabei kann der Beikrautanteil im Getreide- und Körnerleguminosenstroh als sehr aussagekräftiger Konkurrenzindikator angesehen werden, weil besonders die hochwachsenden Beikräuter mit großem Massenwachstum erfasst werden.

In Tab. 3-34 sind die oberirdischen Phytomassen der Segetalflora im Luzerne-Kleegras und im Stroh der Druschfrüchte aufgeführt. Die Spätverunkrautung in *S. tuberosum* ist in Form der Wuchshöhe erfasst. Zunächst soll eine Einschätzung derjenigen Feldfrüchte vorgenommen werden, in denen lediglich unbedeutende Massen festgestellt wurden. Neben den dargestellten absoluten Beikrautmassen sind hierbei die Anteile am Gesamtertrag bei Luzerne-Kleegras bzw. die Anteile am Strohertrag bedeutend.

Im Luzerne-Kleegras fanden sich mit 1,8 % (2004) respektive 1,9 % (2005) Beikrautanteil am Gesamtertrag sehr geringe Mengen, die zudem kaum nachteilig für die Ertragsbildung zu bewerten sind. Auch im Stroh der Winterungen *T. aestivum* (2008) mit 0,3 % und *S. cereale* (2009) mit 0,7 % wurden nur wenige Begleitpflanzen registriert. Die Spätverunkrautung in 2007 übte insofern keinen Einfluss auf die Ertragsbildung von *S. tuberosum* aus, als der Kulturpflanzenbestand aufgrund feuchter Witterung schon in der ersten Julidekade abgestorben war.

Zum Teil deutlich höhere Wildkrautanteile wurden in den Sommerungen *A. sativa*, *V. faba* und *P. sativum* und in der Winterung *T. aestivum* im Jahr 2006 ermittelt.

Hinsichtlich der Betriebssysteme ergab sich 2004 in *A. sativa* eine signifikant höhere Beikrautmasse im reinen Marktfruchtsystem VL-MF als in VL-GB.

Bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten wurde im gleichen Jahr in ZP30/15 mehr Wildkrautmasse als in P15 festgestellt. In 2006 wurden, bei signifikanten Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem und Bodenbearbeitung, in GM-V und VL-GB jeweils die höchsten Werte in der pfluglosen Variante SR30/15 ermittelt. Auf insgesamt sehr hohem Niveau in 2008 bei *P. sativum* wies das System P30 einen signifikant niedrigeren Wert als ZP30/15 und SR30/15 auf.

Tab. 3-34: Phytomasse von Beikräutern im Luzerne-Klee gras und im Stroh der Druschfrüchte [dt TM ha⁻¹] und Wuchshöhe der Spätverunkrautung in *S. tuberosum* [cm] in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Jahr	Betriebssysteme	Fruchtart	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
			GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
2004	GM-V	<i>M. sativa</i> + <i>T. pratense</i> + 3 <i>Poaceen</i>	2,71			2,35 a	2,48 a	3,28 a	2,74 a
	VL-GB + VL-MF	<i>A. sativa</i>		0,18 b	0,45 a	0,20 ab	0,49 a	0,14 b	0,44 ab
2005	GM-V + VL-GB	<i>M. sativa</i> + <i>T. pratense</i> + 3 <i>Poaceen</i>	2,58 a	1,32 a		2,11 a	2,06 a	1,85 a	1,77 a
	VL-MF	<i>V. faba</i>			0,62	0,42 a	1,28 a	0,33 a	0,44 a
2006	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>T. aestivum</i> ¹⁾	GM-V	0,61		0,05 b	0,62 b	0,26 b	1,51 a
			VL-GB	0,59		0,09 b	0,54 b	0,21 b	1,51 a
			VL-MF		0,57	0,49 a	1,32 a	0,12 a	0,32 a
2007	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>S. tuberosum</i>	25,8 a	23,1 b	24,6 ab	24,8 a	24,1 a	24,7 a	24,4 a
2008	GM-V	<i>T. aestivum</i>	0,16			0,09 a	0,11 a	0,18 a	0,24 a
	VL-GB + VL-MF	<i>P. sativum</i>		8,44 a	8,97 a	6,20 b	9,45 a	8,66 ab	10,5 a
2009	GM-V + VL-GB + VL-MF	<i>S. cereale</i> ¹⁾	GM-V	0,26		0,22 ab	0,10 b	0,23 ab	0,51 a
			VL-GB ²⁾	0,27		0,06 a	0,05 a	0,17 a	0,81 a
			VL-MF		0,66	0,69 a	1,28 a	0,45 a	0,23 a

1) Signifikante Wechselwirkungen Betriebssystem x Bodenbearbeitungssystem

2) Voraussetzungen für Varianzanalyse nicht gegeben

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Die Erhebungen der Segetalflora lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Deckungsgrade im Frühjahr lagen, verglichen mit konventionellen „Schad- oder Bekämpfungsschwellen“, allgemein auf niedrigem Niveau. Bezüglich des Artenspektrums fielen vor allem *G. aparine* L. in fast allen Feldfrüchten, sowie *R. raphanistrum* L. und *C. album* L. in *A. sativa* auf. Das zum Ende der 1. Rotation verstärkte Auftreten von *C. arvense* (L.) Scop. in der pfluglosen Bodenbearbeitungsvariante SR30/15 konnte in der 2. Rotation ab 2006 nicht mehr festgestellt werden. Die Beikrautmassen zu den Hauptfruchternten waren in den druschfähigen Sommerungen besonders hoch.

Hinsichtlich der unterschiedlichen Betriebssysteme lieferten die Untersuchungen der Segetalflora meistens keine deutlichen Differenzierungen. Im Hinblick auf die Bodenbearbeitungsvarianten wurde dagegen häufig das geringste Beikrautauflkommen in P30, respektive das höchste in SR30/15 ermittelt.

4 Diskussion

In der nun folgenden Diskussion sollen, den erzielten Ergebnissen folgend, Antworten auf die in der Einleitung formulierten Fragen herausgearbeitet werden. Es interessieren die Erträge und die Nährstoffeffizienz der verschiedenen Bewirtschaftungssysteme sowie deren Auswirkungen auf veränderliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften und die Umwelt.

4.1 Erträge

Da die ökonomischen Zwänge in der Agrarwirtschaft hoch sind, soll zunächst die Frage erörtert werden, welche Erträge mit den untersuchten Betriebs- und Bodenbearbeitungssystemen realisiert werden können.

4.1.1 Effekte der Betriebssysteme

4.1.1.1 Einzelerträge

Im Betriebssystem mit Viehhaltung (GM-V) erzielte das schnittgenutzte Gemenge aus *M. sativa*, *T. pratense* und 3 *Poaceen* im 1. Hauptnutzungsjahr 2004 mit durchschnittlich 149 dt TM ha⁻¹ einen äußerst hohen Ertrag (s. Tab. 3-1). Förderlich wirkten sich hier mehrere Faktoren aus: der frühe Saattermin der Untersaat am 25.03.2003, die frühe Ernte der Deckfrucht *S. cereale*, der frühe 1. Schnitt am 15.05.2004 (vgl. Tab. A-9 im Anhang) und überdurchschnittliche Niederschläge im Mai und August 2004 (vgl. Abb. A-1 im Anhang). Unter norddeutschen Bedingungen ermittelte DREYMAN (2005) mit 145 dt TM ha⁻¹ Erträge auf ähnlichem Niveau bei Gemengen aus *T. pratense* und *Lolium perenne*.

Besondere Beachtung verdient auch der hohe Leguminosen-Ertragsanteil von durchschnittlich 88,6 %. Der Gesamt-Sprossmasseertrag und der Leguminosen-Ertragsanteil sind die Haupteinflussgrößen bei der Berechnung der symbiotisch fixierten N-Mengen (vgl. Formel (2.4) auf S. 29), die wiederum in die Stickstoffbilanzen einfließen.

Das zweijährige Luzerne-Klee gras als zentrales Element der Fruchtfolge im Betriebssystem GM-V wurde schon bei der Versuchsanlage im Jahr 1998 in dieser Form gewählt, weil es sich auf dem Standort Gladbacherhof bewährt hat. Es wird speziell für Betriebe mit Viehhaltung empfohlen (HAUG, 1974; NEUERBURG & PADEL, 1992) und eignet sich besonders für tiefgründige, kalkreiche Lössböden (PEYKER et al., 2004). Die Rotkleekomponente bereichert weiterhin das Gemenge, zumal

Rotkleeegrassilagen höhere Energiegehalte aufweisen als solche aus Luzernegrass (*Loges & Thaysen, 2003*).

Im Versuchsjahr 2004 konnten bei der Sommerung *A. sativa* zwischen dem viehlosen Betriebssystem mit Grünbrache (VL-GB) und dem reinen Marktfruchtbetrieb (VL-MF) bei einem durchschnittlichen Gesamtertrag (Korn + Stroh) von 68,1 dt TM ha⁻¹ keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (s. Tab. 3-2). Auf die Ertragshöhe dürfte sich wiederum die feucht-kühle Witterung im Mai förderlich ausgewirkt haben.

Dagegen ist ein Einfluss der Segetalflora (vgl. Tab. 3-31, 3-33 und 3-34, Abb. 3-20) auf die Erträge nicht anzunehmen (SCHULZ et al., 2009a).

A. sativa hat ein leistungsfähiges, dichtes Wurzelwerk und wird als abtragende Frucht empfohlen (SIEBENEICHER, 1993). Gegenüber der 1. Rotation mit *T. aestivum* an entsprechender Position wurde in der 2. Rotation *A. sativa* angebaut, wozu auch SATTLER & WISTINGHAUSEN (1985) bei hohem Getreideanteil in der Fruchtfolge raten. Außerdem ist *A. sativa* gut als Deckfrucht für Untersaaten geeignet, was für das System VL-GB bedeutsam ist.

Ein Vergleich der beiden Durchschnittserträge, 149 dt TM ha⁻¹ Luzerne-Klee gras im System mit Viehhaltung gegenüber 68,1 dt TM ha⁻¹ Hafer-Gesamtertrag in den beiden viehlosen Systemen, lässt einen gravierenden Einfluss auf Nährstoffbilanzen und Bodenfruchtbarkeitseigenschaften erwarten.

Im Versuchsjahr 2005 wurden die Gesamt-Sprossmasseerträge der Luzerne-Klee gras-Gemenge in den Betriebssystemen GM-V (92,4 dt TM ha⁻¹) und VL-GB (113 dt TM ha⁻¹) als nicht signifikant verschieden gekennzeichnet (s. Tab. 3-3). Bemerkenswert war auch ein deutlich geringerer Durchschnittsertrag 2005 (103 dt TM ha⁻¹) als 2003/2004 (149 dt TM ha⁻¹).

Einerseits wirkte sich eine lang anhaltende Trockenperiode und hohe Lufttemperaturen ertragsmindernd, besonders auf den 3. Schnitt 2005, aus (s. Abb. A-2 und Tab. A-15 im Anhang). Andererseits ist zu beachten, dass in dem hohen Gesamtertrag 2003/2004 auch der Schröpschnitt vom 25.09.2003 im System GM-V enthalten ist. Aufgrund der späten Deckfrucht-Ernte von *A. sativa* konnte im Herbst 2004 im viehlosen System VL-GB kein Schröpschnitt durchgeführt werden.

Auch SCHMIDT (1997) begründet die sehr geringe Biomassebildung eines Klee gras-gemenges im Hochsommer mit einer schlechten Wasserversorgung und hohen Lufttemperaturen. Das Leistungsmaximum der Pflanzen, das bei 10 – 20 °C liegt, war deutlich überschritten.

Der hohe Leguminosen-Ertragsanteil des 3. Schnitts 2005 von 94 bzw. 95 % (s. Tab. A-15 im Anhang) verdeutlicht, dass die *Poaceen* besonders unter der Trockenheit litten. In der Summe der 4 Erntetermine wurde ein um 21,2 dt TM ha⁻¹ höherer Leguminosen-Ertrag des Systems VL-GB gegenüber GM-V ebenfalls als nicht signifikant ausgewiesen. Dies ist insofern bedeutsam, als der höhere Wert des viehlo-

sen Systems die Berechnungen des symbiotisch fixierten Stickstoffs und die Nährstoffbilanzen beeinflusst.

Während BRAUN et al. (2008) für 3 unterschiedliche Luzernegras- bzw. Klee gras gemenge keine ertraglichen Unterschiede zwischen Mulch- und Schnittnutzung ermittelten, berichten REINICKE et al. (2003) von höheren Frischmasseerträgen eines Luzerne-Klee grasses bei Mulchwirtschaft als bei Abfuhr des Schnittgutes. Andere Autoren sehen Vorteile für schnittgenutzte Gemenge (HEUWINKEL, 2007; DREYMAN, 2005). LOGES & HEUWINKEL (2004) erklären niedrigere Trockenmasseerträge und Leguminosen-Anteile der Mulchvarianten dadurch, dass der Mulchteppich das Nachwachsen des Bestandes, und besonders der breitblättrigen Leguminosen, behindert. STEIN-BACHINGER et al. (2004) führen ebenfalls aus, dass auf Stilllegungsflächen mit deutlich geringeren Trockenmasse-Erträgen zu rechnen ist als auf Futterbauschlägen. In niederschlagsarmen Gebieten sei der Unterschied allerdings geringer.

Daraus ist ein Hinweis für den Dauerfeldversuch Gladbacherhof abzuleiten: In der Trockenphase 2004 könnte die Mulchschicht im System VL-GB die unproduktive Wasserverdunstung aus dem Boden verringert und so zu mindestens gleich hohen Erträgen der gemulchten wie der schnittgenutzten Variante beigetragen haben.

In 2005 stand als erste tragende Blattfrucht der 2. Rotation im Betriebssystem VL-MF die Körnerleguminose *V. faba*. Sie lieferte einen durchschnittlichen Kornertrag von 35,1 dt TM ha⁻¹ und einen Gesamtertrag, d. h. Korn plus Stroh, von 56,7 dt TM ha⁻¹ im Mittel (s. Tab. 3-4). Auch hier wirkte die erwähnte Trockenperiode ertragsbegrenzend. Nach FREYER (2003a) sind höhere Erträge von *V. faba* gegenüber *P. sativum* nur bei ausreichenden Sommerniederschlägen zu erwarten.

Laut UFOP (2008) sind mit Körnerleguminosen Vorteile wie die symbiotische N-Fixierung, eine Auflockerung getreidereicher Fruchtfolgen, eine Verbesserung der Bodenstruktur u. a. verbunden. Die symbiotisch fixierte N-Menge steigt mit zunehmendem Ertrag (SCHMIDTKE, 2004). Bei einem auf dem Gladbacherhof zu erwartenden Gesamtertrag, der deutlich unter dem von kleinkörnigen Leguminosen liegt, ist der Beitrag von *V. faba* zur Verbesserung der N-Bilanz aber gering, zumal ein hoher Anteil des symbiotisch fixierten Stickstoffs mit den Körnern den Kreislauf eines viehlosen Betriebs verlässt.

Kritisch ist auch der Anbau der Sommerform von *V. faba* bei vermehrt zu erwartenden Trockenperioden im Sommer zu sehen (GRAß, 2008). In dieser Hinsicht wäre der Anbau der Winterform eventuell von Vorteil gewesen.

In 2006 stand zum ersten Mal in der 2. Rotation die gleiche Feldfrucht, *T. aestivum*, in allen 3 Betriebssystemen. Eine erneute Phase mit geringen Niederschlägen und hohen Lufttemperaturen (s. Abb. A-3 im Anhang) führte zu einer sehr frühen Ernte. Das System VL-GB wies die signifikant höchsten Werte sowohl bei Korn-, Stroh-

und Gesamtertrag (s. Tab. 3-5) als auch bei wichtigen Qualitätsparametern (s. Tab. 3-6) gegenüber GM-V und VL-MF auf.

In Verbindung mit den Ergebnissen der Ertragsparameter (s. Tab. 3-7) belegt dies, dass in VL-GB in weiten Phasen des Wachstums die günstigeren Bedingungen vorlagen.

Die frühe Ernte und damit eine früh beendete Phase der Translokationsprozesse ins Korn resultierten in sehr niedrigen Rohproteingehalten der Weizenkörner verglichen mit den entsprechenden Werten der 1. Rotation.

Im Jahr 2000 lagen die Systeme GM-V und VL-GB im Winterweizenertrag (38,6 bzw. 41,1 dt TM ha⁻¹) und im Rohproteingehalt der Körner auf gleichem Niveau und signifikant über den Werten von VL-MF (30,4 dt TM ha⁻¹).

Laut FISCHBECK (2007) ist der Vorfruchtwert einer Kultur zunächst bedeutsamer als ihre langfristige Wirkung in der Fruchtfolge.

Die Vorfrüchte von *T. aestivum* in der 1. Rotation waren:

in GM-V: Luzerne-Kleegras 172 dt TM ha⁻¹, davon 89,5 % Leguminosen

in VL-GB: Luzerne-Kleegras 134 dt TM ha⁻¹, davon 58,2 % Leguminosen

in VL-MF: *V. faba* 57,5 dt TM ha⁻¹, davon 32,0 dt TM ha⁻¹ Körner

In der Wachstumsperiode von *T. aestivum* 1999/2000 ermittelte AHRBERG (2001) die Mengen an Nitrat-Stickstoff in der Bodenschicht 0 – 90 cm. Sowohl im November 1999 als auch im März 2000 lagen die Werte in den Systemen GM-V und VL-GB auf gleicher Höhe und signifikant über denen von VL-MF. Anhand weiterer Probenahmen zu N_{min} von März 2000 bis zur Ernte von *T. aestivum* zeigte AHRBERG (2001), dass sich die Relationen zwischen den Betriebssystemen bezüglich N_{min} nicht änderten, was schließlich zu den erwähnten Erträgen und Rohproteingehalten führte. Zu bedenken ist hierbei, dass der Sprossmasseaufwuchs des Luzerne-Kleegrases 1999 in GM-V von den Parzellen abgefahren wurde, in VL-GB dagegen auf der Fläche verblieb.

In der 2. Rotation stellten sich einerseits die entsprechenden Erträge des Luzerne-Kleegrases 2005 völlig anders dar (s. Tab. 3-3). Andererseits wurden im System GM-V mit den Aufwüchsen des Feldfutterbaus 433 kg ha⁻¹ (2004) bzw. 223 kg ha⁻¹ (2005) an Stickstoff von der Fläche entfernt (s. Tab. A-18 im Anhang). Somit führte der 2-jährige legume Futterbau zu einer N-Bilanz von lediglich +73 kg N ha⁻¹. Im viehlosen System VL-GB führten die auf der Fläche verbleibenden Sprossmassen des Luzerne-Kleegrases in 2005 zu einem Input von 311 kg N ha⁻¹ (s. Tab. A-19). Für die 1-jährige Grünbrache ergibt sich damit eine N-Bilanz von +277 kg N ha⁻¹. Die gemulchten Sprossmassen wiesen ein relativ enges C:N-Verhältnis von 16:1 auf, waren also auch schnell mineralisierbar. Gasförmige Stickstoffverluste und die erneute Aufnahme von mineralischem Stickstoff aus dem Mulchmaterial müssen allerdings in die Berechnungen einfließen. SCHMIDT (1997) geht diesbezüglich von durchschnittlich 21 % der Stickstoffsumme im Spross von Kleegras aus.

Für die Vorfrucht *V. faba* gibt SCHMIDTKE (2004) an, dass der ersten Nachfrucht nur 9,6 % des Stickstoffs von den Ernterückständen zur Verfügung steht. Dieser geringe Anteil erklärt sich auch aus dem weiten C/N-Verhältnis des Ackerbohnenstrohs. Im Dauerfeldversuch Gladbacherhof wurde hier ein Verhältnis von 41:1 gefunden, also ein wesentlich weiteres als das des gemulchten Luzerne-Kleeegrases. In Gefäß- und Feldversuchen von GUTSER & VILSMEIER (1985) zeigte Pflanzenmaterial mit engem C/N-Verhältnis bereits nach wenigen Wochen im Boden eine deutliche Nettomineralisation. Sämtliche Stroharten, darunter auch Ackerbohnenstroh, mit einem weiten C/N-Verhältnis führten sogar zu einer biologischen N-Immobilisierung. Dies belegt die nur zögerliche N-Nachlieferung im Betriebssystem VL-MF im Dauerfeldversuch Gladbacherhof.

Die auf das Erntejahr 2005 folgenden Untersuchungen auf mineralischen Stickstoff in 0 – 90 cm Bodentiefe lieferten signifikant höhere Werte im System VL-GB als in beiden anderen Systemen, und zwar sowohl im November 2005 als auch im März 2006 (s. Abb. 3-12). Dies erklärt die unterschiedlichen Erträge und Qualitäten von *T. aestivum* 2006.

Dagegen ist ein differenzierender Einfluss der Segetalflora (vgl. Tab. 3-31, 3-33 und 3-34, Abb. 3-19) auf die Erträge nicht anzunehmen (SCHULZ et al., 2009b).

Bei der Gegenüberstellung eines viehhaltenden Futterbausystems und eines viehlosen Marktfruchtsystems in Ostdeutschland ermittelten KOLBE et al. (2003) Aufwüchse an Leguminosengras in gleicher Höhe. Auch die darauf folgenden $N_{\min}$ -Gehalte im Boden unterschieden sich kaum. Die Nachfrucht Sommerweizen wies im viehlosen System einen deutlich niedrigeren Ertrag auf.

Dagegen kommen DREYMANN et al. (2003) bei einem Versuch in Norddeutschland in den Jahren 1999 – 2002 zu ähnlichen Ergebnissen wie auf dem Gladbacherhof. Sie berichten von höheren Weizen- bzw. Hafererträgen, wenn die Vorfrucht Klee gras gemulcht anstatt schnittgenutzt wurde.

In einem späteren Versuch (2001 – 2003) fanden DREYMANN et al. (2005) in Parzellen mit gemulchtem Klee gras höhere $N_{\min}$ -Gehalte als bei Abfuhr des Leguminosengrases. Auf dem leichten Boden führte der hohe Gehalt an mineralischem Stickstoff allerdings zu hohen Verlusten mit dem Sickerwasser. Der anschließende Weizenertrag war in beiden Systemen wiederum gleich.

Die unterschiedlichen Versuche zeigen, dass der Getreideertrag nach Leguminosengras maßgeblich von den residualen Mengen an mineralischem Stickstoff beeinflusst wird. Außerdem ist entscheidend, ob dieser Stickstoff in Zeiten des hohen Bedarfs noch für das Getreidewachstum zur Verfügung steht.

In 2007 stand zum zweiten Mal in der 2. Rotation die gleiche Feldfrucht, *S. tuberosum*, in allen 3 Betriebssystemen. Nach dem sehr frühen Absterben des Kartoffelkrauts konnten keine Ertragsunterschiede festgestellt werden. Schon in der 1. Rotati-

on wirkten sich die Betriebssysteme nicht differenzierend auf die Kartoffelerträge aus (SCHMIDT et al., 2006).

DORN et al. (2009) folgern aus ihren Untersuchungen, dass Kupferfungizide zurzeit die einzige wirksame direkte Bekämpfungsmaßnahme gegen *Phytophthora infestans* ist. Durch die extreme Nässe 2007 war aber ein Schutz der Pflanzen mit Kupferpräparaten nicht möglich.

DUPUIS et al. (2009) erkennen einen deutlichen Züchtungsfortschritt bei der Resistenz gegen *P. infestans*. Daher wäre es sicher sinnvoll gewesen, eine andere als die gegen Krautfäule anfällige Sorte Princess zu wählen.

SCHMIDT (1997) leitet aus seinen Untersuchungen ab, dass Kartoffeln aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegen andere Umweltfaktoren nur bedingt als Indikator für Fruchtfolgeeffekten geeignet sind. Vor diesem Hintergrund ist zu überlegen, in der 3. Rotation *Zea mays* (Silomais) an entsprechender Stelle als Hackfrucht anzubauen. Angesichts zunehmend intensiver Kooperationen zwischen viehhaltenden und viehlosen Betrieben kann Silomais auch als Marktfrucht für Betriebe ohne Viehhaltung gewertet werden.

Im Versuchsjahr 2008 wurden im Betriebssystem GM-V außergewöhnlich hohe Korn-, Stroh- und Gesamterträge von *T. aestivum* (s. Tab. 3-9) ermittelt. Folgende Faktoren trugen maßgeblich dazu bei: eine lange Vegetationsperiode bis in den Dezember 2007, überdurchschnittliche Sommerniederschläge bis zur Ernte 2008 (s. Abb. A-5 im Anhang) und hohe Gehalte an mineralischem Stickstoff von durchschnittlich 88,5 kg N ha⁻¹ im Dezember 2007 und 47,8 kg N ha⁻¹ im März 2008.

Es sei darauf hingewiesen, dass zu der Zwischenfrucht 2006 Rottemist im Umfang von 269 kg ha⁻¹ Gesamtstickstoff gedüngt worden war. STEIN-BACHINGER et al. (2004) nennen für das Anwendungsjahr einen anrechenbaren Anteil des pflanzenverfügbaren Stickstoffs am Gesamtstickstoff von 5 – 25 %. LEITHOLD (1982) gibt an, dass langfristig mit einer Gesamtverwertung von bis zu 80 % des im Rottemist enthaltenen Gesamtstickstoffs zu rechnen ist.

Nach dem Jahr 2007 mit geringem Kartoffelertrag verbunden mit intensiver Bodenbearbeitung sind die hohen residualen N_{min}-Gehalte erklärlich.

Die in Relation zu anderen Jahren hohen Deckungsgrade (s. Tab. 3-31) und die hohe Anzahl an Ackerwildkräutern (s. Abb. 3-21) im Jahr 2008 wirkten sich offensichtlich kaum ertragsmindernd aus.

In den beiden viehlosen Betriebssystemen zeigte die Körnerleguminose *P. sativum* in 2008 bei einem mittleren Körnertrag von 34,6 dt TM ha⁻¹ (s. Tab. 3-10) keine signifikanten Unterschiede. Förderlich für die hohen Erträge dürften zum einen die überdurchschnittlichen Niederschläge im Juni und Juli (s. Abb. A-5 im Anhang) gewesen sein. Zum anderen wurde gegenüber der 1. Rotation die in 2008 erstmals neu zugelassene halbblattlose Sorte Respect mit einem hohen Ertragspotential angebaut. Die

hohe Biomasse von Beikräutern im Erbsenstroh (s. Tab. 3-34) lässt vermuten, dass eine nicht unbedeutende Konkurrenzsituation zwischen Kultur- und Wildpflanzen bestanden hat, die einem noch höheren Erbsenertrag entgegenstand.

Der niedrige Kornertrag aus dem Jahr 2002 von 12,0 dt TM ha⁻¹ hatte seine Ursache hauptsächlich in einer langen Phase mit geringen Niederschlägen von Mitte Mai bis zum 10.07.2002. Außerdem war der Bestand sehr stark mit Erbsenwicklern (*Cydia nigricana*) befallen. FREYER (2003a) führt zwar an, dass Erbsen bei knappen Sommerniederschlägen den Vorteil bieten, den Reifezeitpunkt vorverlegen zu können. Dies führt aber dennoch zu einem eingeschränkten Ertragsniveau.

LINDENTHAL et al. (2008) erwähnen explizit, dass die in 2002 angebaute Sorte Classic bei einer Auswertung deutschlandweiter Sortenversuche ertraglich deutlich abfällt.

Wie schon bei der Diskussion des Versuchsjahres 2005 für *V. faba* erwähnt, sollte in der 3. Rotation auch für *P. sativum* ein Wechsel zu der Winterform in Erwägung gezogen werden. URBATZKA et al. (2009) führen aus, dass die N-Fixierungsleistung der Winterform von *P. sativum* die der Sommerform übertrifft.

Auf Dauer könnte der Anbau der beiden Körnerleguminosen *V. faba* und *P. sativum* in der 6-feldrigen Fruchtfolge des Betriebssystems VL-MF jedoch zu pflanzenbaulichen Problemen führen (SCHMIDTKE, 2009). Eine alternative grobkörnige Leguminose bietet sich in Form von *Glycine max* (L.) Merr. (Sojabohne) an. LEITHOLD et al. (2003) konnten zeigen, dass diese auf dem Grenzstandort Gladbacherhof erfolgreich angebaut werden kann.

Im letzten Versuchsjahr der 2. Rotation stand zum dritten Mal in allen 3 Betriebssystemen die gleiche Feldfrucht, *S. cereale*. In den Ertragskomponenten Korn und Stroh (s. Tab. 3-11) und auch schon bei einer Zeiternte zur Ermittlung der oberirdischen Phytomasse im Juni 2009 wies das Betriebssystem GM-V niedrigere Werte auf als VL-GB. Das Marktfruchtsystem VL-MF nahm jeweils eine Mittelstellung ein.

Die Erhebungen zur Bestandesdichte, ausgedrückt in Ähren pro m² (s. Tab. 3-12), deuten auf ungünstigere Wachstumsbedingung im System mit Viehhaltung bereits im relativ frühen Wachstumsstadium hin.

In 2003, dem entsprechenden Jahr der 1. Rotation, lagen die Betriebssysteme GM-V und VL-GB im Winterroggenertrag (36,3 bzw. 37,2 dt TM ha⁻¹) auf gleichem Niveau und über dem reinen Marktfruchtsystem VL-MF (33,8 dt TM ha⁻¹). Die Vorfrüchte von *S. cereale* in der 1. Rotation im Jahr 2002 waren:

in GM-V:	Gemenge aus	<i>A. sativa</i>	11,8 dt TM ha ⁻¹ Kornertrag
	und	<i>P. sativum</i>	11,1 dt TM ha ⁻¹ Kornertrag
in VL-GB:		<i>P. sativum</i>	12,1 dt TM ha ⁻¹ Kornertrag
in VL-MF:		<i>P. sativum</i>	11,8 dt TM ha ⁻¹ Kornertrag

In der Wachstumsperiode von *S. cereale* 2002/2003 wurde folgende Situation hinsichtlich des mineralischen Stickstoffs in der Bodenschicht 0 – 90 cm vorgefunden: Im November 2002 lagen die Werte in den Systemen GM-V und VL-GB auf gleicher Höhe und deutlich über denen von VL-MF. Im März 2003 waren diese Differenzen nur noch gering.

Aufgrund der geänderten Vorfrüchte waren die Verhältnisse in der 2. Rotation völlig anders. Mit dem sehr hohen Ertrag an *T. aestivum* in GM-V (s. Tab. 3-9) wurden inklusive Stroh 131 kg N ha⁻¹ entzogen (s. Tab. A-18 im Anhang). Gemäß SCHMIDTKE (2004) ist nach *P. sativum* 2008 in den beiden viehlosen Systemen davon auszugehen, dass 12,1 % des Stickstoffs aus den Ernterückständen der 1. Nachfrucht, im vorliegenden Fall also *S. cereale*, zur Verfügung steht.

In der Wachstumsphase von *S. cereale* 2008/2009 fanden sich daraufhin nachstehende Ergebnisse an mineralischem Stickstoff in 0 – 90 cm (vgl. Abb. 3-12): Im November 2008 wurden in VL-GB um ca. 22 kg N ha⁻¹ höhere Werte gefunden als in GM-V. Im März 2009 waren diese Unterschiede immer noch signifikant, aber auf niedrigem Niveau.

Die Messungen des Chlorophyllgehalts im Mai 2009 (s. Tab. 3-27) weisen darauf hin, dass die Versorgung der Roggenpflanzen mit mineralischem Stickstoff in VL-GB weiterhin höher war als in GM-V.

Hinsichtlich der beiden viehlosen Systeme fand seit Herbst 2005 eine identische Bewirtschaftung statt. Die unterschiedlichen Feldfrüchte 2005 haben somit selbst bei der 4. Nachfrucht 2009 einen Einfluss auf die Ertragshöhe, hier von *S. cereale*.

REINICKE et al. (2003) fanden bei dem Vergleich zwischen Systemen mit und ohne Viehhaltung keine Unterschiede im Winterroggenertrag. Allerdings waren hier in beiden Fällen die Vorfrüchte der 3 vorangegangenen Jahre identisch, die direkte Vorfrucht war *P. sativum*.

Auch DEBRUCK (2003) berichtet bei entsprechenden Systemvergleichen von Winterroggenerträgen in ähnlicher Höhe. In diesen Versuchen stand *S. cereale* im viehlosen System nach *P. sativum* allerdings an 7. Stellung in der Fruchtfolge und im viehhaltenden System nach *T. aestivum* an 4. Stellung. Außerdem wurden organische Handelsdünger eingesetzt.

4.1.1.2 Fruchtfolgeleistungen

Da der Ökologische Landbau auf vielfeldrige Fruchtfolgen mit hoher Diversität angewiesen ist, tritt die Bedeutung der Einzelfrucht gegenüber der Fruchtfolge als Gesamtheit in den Hintergrund. Nach der Diskussion der Einzelerträge sollen daher nun die Leistungen der 3 Betriebssysteme über die komplette 2. Rotation erörtert werden.

Es gibt zahlreiche Parameter, um die Fruchtfolgeleistungen zu beschreiben, z. B. die Trockenmasseproduktion, den Stickstoffertrag, den Marktflechtertrag, den Ertrag in Getreideeinheiten und den Energieertrag in Joule oder NEL.

In dieser Arbeit wurde zunächst der Gesamt-Sprossmasseertrag berechnet (s. Abb. 3-1). Er spiegelt das gesamte Fruchtfolgepotential der einzelnen Betriebssysteme wider, oberirdische Phytomasse zu erzeugen.

Die Gesamtsprossmasse lag in VL-MF (440 dt TM ha⁻¹) deutlich niedriger als in VL-GB (536 dt TM ha⁻¹) und in GM-V (591 dt TM ha⁻¹). Die Luzerne-Klee-gras-Gemenge nehmen dabei eine bedeutende Stellung ein.

DITTMANN & ZIMMER (2010) berechneten ebenfalls eine höhere Gesamtsprossmasse einer Fruchtfolge mit Viehhaltung gegenüber einer viehlosen. In den Anfangsjahren ihres Versuches wurden allerdings die Aufwüchse des Klee-grases auch in der viehlosen Fruchtfolge von den Parzellen entfernt.

In einem Vergleich von 8 Energiefruchtfolgen wiesen RÖHRICHT et al. (2009) gleichermaßen die Überlegenheit von Luzerne-Klee-gras gegenüber verschiedenen Arten von Sommer- und Wintergetreide nach.

Die Intension bei der Gestaltung der 3 Fruchtfolgen im Feldversuch Gladbacherhof war es, das 2-jährige Luzerne-Klee-gras aus GM-V durch ein 1-jähriges Luzerne-Klee-gras und die Körnerleguminose *P. sativum* in VL-GB zu ersetzen. Im System VL-MF sollte völlig auf das Hauptfrucht-Gemenge verzichtet und stattdessen die Körnerleguminosen *V. faba* und *P. sativum* angebaut werden.

Werden nur die legumen Hauptfrüchte betrachtet, sie stellen in allen 3 Betriebssystemen 33,3 % der Ackerfläche, so sinkt deren Beitrag zur jeweiligen Gesamtsprossmasse in der Reihenfolge GM-V (40,8 %) → VL-GB (32,8 %) → VL-MF (26,3 %). Die Körnerleguminosen sind also nicht in der Lage, die Luzerne-Klee-gras-Gemenge gleichwertig zu ersetzen.

Die Luzerne-Klee-gras-Gemenge wurden bei der Nennung der Ackerflächenverhältnisse pauschal als legume Hauptfrüchte bezeichnet, auch weil deren Leguminosen-Ertragsanteil in der Regel deutlich über 80 % lag. Tab. 3-13, in der die Gemengepartner den Kategorien Leguminosen-Sprossmasse und Nicht-Leguminosen-Sprossmasse zugeordnet wurden, liefert einen weiteren Beleg für den gravierenden Einfluss der schnittgenutzten bzw. gemulchten Gemenge. Die unterschiedlichen Leguminosen-Sprossmassen sind von außerordentlicher Bedeutung, weil sie einen großen Einfluss auf die noch zu diskutierenden Stickstoffbilanzen ausüben.

Im System VL-MF sollte der Verzicht auf Luzerne-Klee-gras-Gemenge weiterhin durch einen vermehrten Anbau von Zwischenfrüchten ausgeglichen werden (s. Tab. 2-3). Abb. 3-1 verdeutlicht aber, dass der Beitrag der Zwischenfrüchte inklusive Untersaat in VL-MF nur unwesentlich größer ist als in VL-GB und GM-V. Ursache ist die geringe Sprossmassebildung der zusätzlichen Zwischenfrucht und der Untersaat im System VL-MF. Aufgrund der späten Ernten der Hauptfrüchte *A. sativa*

(03.09.2004) und *V. faba* (24.08.2005) war die Wachstumszeit der Zwischenfrucht bzw. der Untersaat entsprechend kurz und die Sprossmassebildung gering (s. Kap. 3.1.1.7).

Eine Verbesserung der Fruchtfolge in VL-MF könnte die Anwendung des Anbauverfahrens „Weite Reihe“ für das Fruchtfolgefeld *T. aestivum* sein. LEITHOLD & BECKER (2011) berichten von positiven Vorfruchtwirkungen des Verfahrens auf den nachfolgenden Winterroggen. Durch die Untersaaten könnten vermehrt Leguminosen in die Fruchtfolge eingebunden werden, ohne marktfähige Hauptfrüchte zu verdrängen.

Eine Alternative zur Grünbrache wie sie im Betriebssystem VL-GB praktiziert wird könnte auch das von NEUMANN et al. (2005) getestete „Bicropping“ sein. Hierbei wird *T. aestivum* in einen bereits etablierten Bestand von *Trifolium repens* gesät.

Beim Vergleich der beiden viehlosen Systeme im Feldversuch Gladbacherhof fallen weiterhin die niedrigen Erträge von *T. aestivum* (2006) und *S. cereale* (2009) in VL-MF ins Gewicht (s. Abb. 3-1).

Als weiterer Parameter der Fruchtfolgeleistung soll der Marktfruchtertrag erörtert werden. Diese agrarökonomische Größe (s. Tab. 3-14) ist nicht eindeutig definiert. Die Aufwüchse von schnittgenutzten Luzerne-Kleegras-Gemengen werden in der Regel innerbetrieblich verwendet und zählen damit einerseits nicht zu den klassischen Marktfrüchten. Im Zuge der zunehmenden Spezialisierung von Ökobetrieben findet aber auch eine intensivere Kooperation dieser Spezialbetriebe mit der Folge von interbetrieblichen Waren- und Stoffströmen statt. Somit hat sich andererseits ein regional begrenzter Markt für konserviertes Luzerne-Kleegras entwickelt.

In einem ersten Ansatz werden die Aufwüchse des schnittgenutzten und des gemulchten Luzerne-Kleegrases nicht in die Berechnungen einbezogen (s. Tab. 3-14). Dadurch weist das Betriebssystem mit Viehhaltung GM-V einen signifikant niedrigeren Marktfruchtertrag auf als beide viehlosen Systeme. Kalkulatorisch stellt die zweite Sektion in Tab. 3-14 also den durchschnittlichen Marktfruchtertrag je Fruchtfolgejahr bzw. Fruchtfolgefeld in $\text{dt TM ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ über die gesamte Fruchtfolgerotation dar.

Der mittlere Marktfruchtertrag je Hektar Marktfruchtjahr bzw. Marktfruchtfläche spiegelt die Bodenfruchtbarkeit besser wider. Hier kehren sich die Verhältnisse bezüglich der Betriebssysteme um. Die potentielle Ertragsfähigkeit nimmt also in der Reihenfolge GM-V $\rightarrow$ VL-GB $\rightarrow$ VL-MF ab.

Bei einer weiteren Kenngröße der Fruchtfolgeleistung, dem nichtlegumen Marktfruchtertrag (s. Tab. 3-15), wird das Problem der Bewertung des schnittgenutzten Luzerne-Kleegrases umgangen. In allen 3 Betriebssystemen werden lediglich die Hauptfrüchte von 3 Halmfrüchten und der Hackfrucht *S. tuberosum* summiert. Diese Kenngröße spiegelt das Potential der unterschiedlichen Systeme wider, durch verschiedene aufbauende Feldfrüchte, nämlich die Leguminosen, günstige Wachstums-

bedingungen auch für die abbauenden Früchte zu schaffen. Im viehlosen System VL-MF muss mit geringeren nichtlegumen Marktfruchterträgen in Höhe von ca. 17 % gegenüber GM-V gerechnet werden.

Weit größere Unterschiede ergeben sich bei der Summe der geernteten Hauptprodukte in Getreideeinheiten (s. Tab. 3-16). Die Getreideeinheit wird als eine Kennzahl beschrieben, die das Energielieferungsvermögen des jeweiligen Ernteprodukts im Verhältnis zu Futtergerste wiedergibt (DÖHLER, 2009). Hier wird wieder der bedeutende Einfluss des Luzerne-Kleegrases in GM-V deutlich. Da das gemulchte Gemenge in VL-GB nicht abgefahren wird, ergibt sich in diesem Jahr kein Ernteaufkommen, und die beiden viehlosen Systeme liegen auf einem Niveau.

Versuche von REINKICKE et al. (2010) bestätigen diese Resultate. Die Autoren berichten von höheren Getreideeinheiten-Erträgen bei Viehhaltung gegenüber einem viehlosen System. Auch sie begründen ihre Ergebnisse mit der Abfuhr des Luzerne-Kleegrases von der Fläche.

Eine ähnliche Abstufung hinsichtlich der Betriebssysteme liefert die Bewertung als monetäre Fruchtfolgeleistung (s. Tab. 3-17). Wie oben erwähnt sind die Aufwüchse der schnittgenutzten Luzerne-Klee gras-Gemenge durchaus marktfähig. Da das gemulchte Gemenge in VL-GB wiederum nicht zur monetären Leistung beiträgt, ist die Fruchtfolgeleistung dieses viehlosen Systems signifikant niedriger als diejenige in GM-V.

Der Einfluss der 3 Betriebssysteme auf die Kulturpflanzen und die Erträge lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Die Erträge in Abhängigkeit von den Betriebssystemen wurden maßgeblich durch die Wahl der angebauten Leguminosen und, im System mit Viehhaltung, von der Rottemist-Düngung beeinflusst, was sich in den Gehalten an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff im Boden manifestiert. Kurzfristig besitzt die gemulchte Grünbrache im viehlosen System VL-GB einen höheren Vorfruchtwert als der 2-jährige schnittgenutzte Futterbau im System mit Viehhaltung. Die Körnerleguminosen *V. faba* und *P. sativum* und zusätzliche Zwischenfrüchte im Marktfruchtsystem VL-MF können das Luzerne-Klee gras-Gemenge nicht annähernd ersetzen. Die Segetalflora wirkt sich kaum differenzierend auf die Erträge aus.

Die kumulierten Sprossmasseerträge der 2. Rotation sinken in der Reihenfolge GM-V (591 dt TM ha^{-1} = 100 %) → VL-GB (536 dt TM ha^{-1} = 91 %) → VL-MF (440 dt TM ha^{-1} = 74 %).

Die monetäre Fruchtfolgeleistung des Systems GM-V ist mit 11.696 € ha^{-1} (= 100 %) deutlich höher als die von VL-GB mit 9.480 € ha^{-1} (= 81 %) und von VL-MF mit 9.948 € ha^{-1} (= 85 %).

4.1.2 Effekte der Bodenbearbeitungssysteme

4.1.2.1 Einzelerträge

Auf die Erträge der Luzerne-Klee gras-Gemenge in 2004, 1. Hauptnutzungsjahr in GM-V (s. Tab. 3-1), und in 2005, 2. Hauptnutzungsjahr in GM-V und 1. Hauptnutzungsjahr in VL-GB (s. Tab. 3-3), wirkten sich die unterschiedlichen Systeme der Bodenbearbeitung nicht differenzierend aus. Auch bei den Ertragsanteilen (Tab. A-14 und A-15 im Anhang) gab es keine bedeutenden Unterschiede.

In diesem Zusammenhang ist zu bedenken, dass die letzten differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung für GM-V im September 2002 und für VL-GB im Oktober 2003 durchgeführt worden waren.

Die Gehalte an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff (s. Abb. 3-13 und 3-14) lagen in den entsprechenden Phasen auf sehr niedrigem Niveau und unterschieden sich bezüglich der Bodenbearbeitungssysteme nicht.

REINICKE et al. (2010) fanden ebenfalls keinen Ertragsunterschied von Luzerne-Klee gras bei viehhaltender und viehloser Bewirtschaftung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung Pflug $\leftrightarrow$ Zweischiichtenpflug.

Abweichend von den Ergebnissen auf dem Gladbacherhof berichten DITTMANN & ZIMMER (2010) von leichten Mehrerträgen bei schnittgenutztem und gemulchtem Klee gras, wenn die Grundbodenbearbeitung pfluglos anstatt mit dem tief wendenden Pflug durchgeführt wurde.

In 2004 wurde in den beiden viehlosen Betriebssystemen der geringste Kornertrag von *A. sativa* bei der pfluglosen Variante SR30/15 ermittelt. Ein Minderertrag fand sich auch beim Stroh. Ein Vergleich zu dem Sommerweizen an entsprechender Position der 1. Rotation würde keine neuen Erkenntnisse ergeben, da 1998 noch keine differenzierten Maßnahmen der Bodenbearbeitung stattgefunden hatten.

Wertvolle Hinweise liefern aber die $N_{\min}$ -Untersuchungen. In den Systemen VL-GB (s. Abb. 3-14) und VL-MF (s. Abb. 3-15) wies das pfluglose System SR30/15 sowohl im November 2003 als auch im März 2004 die niedrigsten Werte an mineralischem Stickstoff auf, allerdings nicht immer signifikant gegenüber allen anderen Varianten der Bodenbearbeitung.

Von den verschiedenen Parametern, die hinsichtlich der Segetalflora erhoben wurden, weist lediglich die höhere Biomasse an *C. arvensis* (s. Tab. 3-33) auf eine erheblich stärkere Beikraut-Konkurrenz im System SR30/15 hin.

In der Literatur sind Ergebnisse von Bodenbearbeitungsversuchen speziell mit der Feldfrucht *A. sativa* sehr selten zu finden. HÄNSEL (2010) berichtet von gleichen Hafererträgen bei tiefer bzw. flacher Pflugfurche im vorangegangenen Herbst.

EMMERLING (2007) weist einen deutlich geringeren Ertrag der Sommerform von *Hordeum vulgare* des pfluglosen Systems gegenüber tief wendendem Pflug und Zweischichtenpflug als nicht signifikant aus. HAMPL (2010) kommt für die gleiche Versuchsanlage zu dem Ergebnis, dass bei den Varianten Schichtengrubber (= pfluglos) und Zweischichtenpflug besonders bei Sommerkulturen eine Tendenz zu niedrigeren Erträgen im Vergleich zum konventionellen Pflug besteht.

Auch DEBRUCK (2001) berichtet bezüglich Sommergerste von einem signifikanten Ertragsabfall beim Vergleich von konventionellem Pflug und flachem Pflug + Unterkrumenlockerung. Das Gleiche fand er auch bei der Gegenüberstellung der Varianten „flache Pflugfurche“ und „pfluglose Grundbodenbearbeitung“.

Im reinen Marktfruchtsystem VL-MF wurde in 2005 bei der Körnerleguminose *V. faba* ein Minderertrag des pfluglosen Systems SR30/15 gegenüber den anderen Bodenbearbeitungsvarianten aufgrund der großen Streuung nicht als signifikant ausgewiesen.

Eindeutige Hinweise auf unterschiedliche Wachstumsbedingungen können weder die Gehalte an mineralischem Stickstoff im Boden (Abb. 3-15) noch die verschiedenen Untersuchungsparameter zur Segetalflora (Tab. 3-31, 3-33, 3-34 und Abb. 3-21) geben.

An entsprechender Position der 1. Rotation wurde ein signifikant niedrigerer Kornertrag des Systems SR30/15 gegenüber P30 (tief wendender Pflug) und ZP30/15 (Zweischichtenpflug) ermittelt.

PAFFRATH & STUMM (2010) berichten ebenfalls von einem geringeren Ackerbohnen-ertrag der Grubber- gegenüber der Pflugvariante.

KOCH & GABERLE (2010) kommen, im Durchschnitt von 7 Versuchsjahren, zu dem Ergebnis, dass die Erträge von *V. faba* mit der Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität abnehmen. Die Unterschiede sind allerdings jeweils gering.

HÄNSEL (2010) ermittelte auf einem fruchtbaren Lössboden in 2 Versuchsjahren jeweils gleiche Ackerbohnen-erträge bei tiefer bzw. flacher Pflugfurche im Herbst.

KAHNT (2008) gibt allgemein für Körnerleguminosen an, dass sie keine flache Bodenbearbeitung vertragen, sondern eine tiefe Lockerung benötigen.

In 2006, dem Jahr mit *T. aestivum* in allen 3 Betriebssystemen, wurde der signifikant niedrigste Ertrag im pfluglosen Bodenbearbeitungssystem SR30/15 ermittelt (s. Tab. 3-5). Gegenüber P30 bedeutete dies ein Minderertrag von 20 %. Die Untersuchungen des Ertragsparameters „Körner pro Ähre“ (s. Tab. 3-7), der Ermittlung der Sprossmasse am 08.06.2006 und der Wuchshöhenmessungen am 28.06.2006 weisen auf ungünstigere Bedingungen in weiten Phasen des Weizenwachstums in SR30/15 gegenüber den Bodenbearbeitungssystemen mit Bodenwendung hin.

Ein niedrigeres Angebot an mineralischem Stickstoff im Boden konnte aber lediglich im System VL-MF im März 2006 nachgewiesen werden (s. Abb. 3-15), und hier nur auf niedrigem Niveau beim Vergleich der pfluglosen Variante mit P30.

Auch der mäßige Deckungsgrad an Ackerwildkräutern (s. Tab. 3-31), das belanglose Auftreten von *C. arvensis* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) [s. Tab. 3-33] und die geringe Beikraut-Biomasse im Weizenstroh (s. Tab. 3-34) deuten nicht auf eine ertragsrelevante Beeinflussung durch die Segetalflora hin. Die im System SR30/15 besonders häufig aufgetretenen Kräuter *Stellaria media* L. (Vogelmiere) und *Veronica persica* Poiret (Persischer Ehrenpreis) stellen aufgrund ihrer geringen Pflanzenmasse keine starke Konkurrenz für die Kulturpflanzen dar (s. Abb. 3-19).

Sehr ähnliche Ergebnisse wie 2006 wurden auch an entsprechender Position der 1. Rotation bei *T. aestivum* erzielt (AHRBERG, 2001). Dort war der Minderertrag des Systems SR30/15 allerdings nur gegenüber P30 signifikant. Auch in 2000 wirkten sich die Bodenbearbeitungssysteme nicht differenzierend auf die Qualität der Weizenkörner aus. Der Minderertrag des pfluglosen Systems war in der 1. Rotation eher durch die Ertragsparameter „Bestandesdichte“ und „Tausendkornmasse“ bedingt. Wie in 2006 so lieferten auch in 2000 die Untersuchungen auf mineralischen Stickstoff im November und März keine Hinweise auf eine deutlich unterschiedliche N-Verfügbarkeit in den 4 Bodenbearbeitungssystemen. Anhand weiterer Untersuchungstermine zu $N_{\min}$ konnte AHRBERG (2001) aber die höchste N-Netto-Mineralisation im System P30 im Zeitraum März 2000 bis zur Weizenernte nachweisen.

Dies lässt vermuten, dass die Verfügbarkeit von mineralischem Stickstoff im Verlauf des Frühjahrs 2006 durch die Ergebnisse der März-Untersuchung nur unzureichend abgebildet wird. Weitere Probenahmeterminale wären wünschenswert gewesen.

In der Literatur wird häufig auf eine schnellere Erwärmung des gelockerten Oberbodens bei der Anwendung des Pfluges gegenüber pflugloser Bearbeitung hingewiesen (z. B. HARRACH & RICHTER, 1992). Dadurch komme es zu einer intensiveren Mineralisierung und zu höheren Gehalten an leicht verfügbarem Stickstoff. KÖLLER (2001) empfiehlt im konventionellen Landbau eine höhere N-Startgabe im Frühjahr bei reduzierter Bodenbearbeitung im Vergleich zur Anwendung des Pfluges, um den zunächst geringeren $N_{\min}$ -Gehalt im Boden auszugleichen.

Die Ergebnisse des Jahres 2006 am Gladbacherhof werden durch zahlreiche Resultate anderer Forscher bestätigt:

So ermittelten PAFFRATH & STUMM (2010) bei der Gegenüberstellung von Pflug und Grubber einen Weizenertrag von lediglich 81 % in der pfluglosen Variante.

REINICKE et al. (2010) fanden nur geringe Unterschiede im Ertrag von *T. aestivum* beim Vergleich von tief wendendem Pflug und Zweischichtenpflug.

Bei BERNER et al. (2005) wird ein um 16 % geringerer Ertrag bei konservierender Bodenbearbeitung als bei der Pflugvariante angegeben.

Auch DEBRUCK (2001) berichtet von gleichen Winterweizenenerträgen in der Pflug- und Zweischichtenpflug-Variante, aber einem Minderertrag der pfluglosen gegenüber den flach gepflügten Parzellen. Eine bedeutende Ursache sieht der Autor in unterschiedlichen Lagerungsdichten und der damit zusammenhängenden Nährstoffdynamik.

PEKRUN et al. (2003) ermittelten bei Triticale die gleichen Ertragsrelationen wie am Gladbacherhof: keine Differenzierungen bei konventionellem Pflug, Zweischichtenpflug und flacher Pflugtiefe, aber ein Abfall bei der pfluglosen Bearbeitung.

Einen deutlich höheren Ertragsrückgang auf 65 % der Pflugvariante ermittelten lediglich KAINZ et al. (2005) für die pfluglose Bodenbearbeitung im Durchschnitt von 10 Versuchsjahren. Als eine mögliche Ursache sehen auch diese Autoren eine geringere N-Mobilisierung aufgrund einer höheren Lagerungsdichte bei dem Verzicht auf die Pflugarbeit. Sie berichten aber außerdem von einer erheblichen Konkurrenz der Kulturpflanzen durch Wildpflanzen.

Die 4 unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme wirkten sich in 2007 nicht differenzierend auf die Erträge von *S. tuberosum* aus (s. Tab. 3-8). Bedingt durch eine lang andauernde feuchte Witterungsphase waren die Pflanzen früh mit *Phytophthora infestans* infiziert und starben ungewöhnlich frühzeitig ab, was zu dem niedrigen Ertrag führte.

Bei den Probenahmen zu $N_{\min}$ im Boden vor und nach dem Kartoffelanbau, also März und Dezember 2007, konnten in den einzelnen Betriebssystemen z. T. die signifikant höchsten Gehalte in P30 bzw. die niedrigsten in SR30/15 ermittelt werden (s. Abb. 3-13 bis 3-15). Insgesamt lagen die Gehalte an mineralischem Stickstoff auf sehr hohem Niveau, im Mittel bei 71 kg N ha^{-1} . Angesichts der intensiven Bodenbearbeitung bei der mechanischen Pflege des Kartoffelbestandes kann von weiteren Mineralisierungsprozessen nach der Frühjahrsbeprobung in erheblichem Umfang ausgegangen werden. Die N-Menge in den Kartoffelknollen zur Ernte war mit durchschnittlich 54 kg N ha^{-1} relativ gering. Es ist also davon auszugehen, dass Stickstoff kein ertragslimitierender Faktor war.

Das Wachstum der Ackerwildkräuter setzte erst nach dem Absterben des Kartoffelkrauts in nennenswertem Umfang ein und konnte somit keinen Einfluss auf die Ertragshöhe nehmen.

In der 1. Rotation waren ebenfalls keine Ertragsunterschiede hinsichtlich der 4 unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme aufgetreten.

Folgende Versuchsergebnisse bestätigen die beschriebenen Resultate zu Kartoffelerträgen:

REINICKE et al. (2010) ermittelten keine Unterschiede beim Vergleich von Pflug und Zweischichtenpflug. DITTMANN & ZIMMER (2010) geben gleiche Erträge für eine gepflügte und eine pfluglose Variante an, ebenso PAFFRATH & STUMM (2010).

Dagegen berichten KOCH & GABERLE (2010) von abnehmenden Erträgen mit einer Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität. Dies gelte für den Durchschnitt von 14 Versuchsjahren. Allerdings lag das Ertragsniveau hier deutlich höher als auf dem Gladbacherhof.

KAINZ et al. (2005) geben im Durchschnitt von 10 Versuchsjahren einen Minderertrag der pfluglosen Variante gegenüber 2 Varianten mit Pflug von ca. 40 dt FM ha⁻¹ an. Sie erklären dies mit oft nicht vollständig geglückten Umbrüchen der Vorfrucht Feldfutter. Dadurch komme es zu hohen Deckungsgraden an Kulturgräsern auch in den Kartoffelbeständen. Außerdem geben sie an, dass in der Variante Schichten-grubber + Rototiller nicht genügend lockerer Boden zum Aufbau eines großvolumigen Kartoffeldamms zur Verfügung steht (KAINZ et al., 2003). Diese Probleme traten im Dauerfeldversuch Gladbacherhof nicht auf.

In 2008 wurden im Betriebssystem GM-V keine Ertragsunterschiede von *T. aestivum* hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme festgestellt (s. Tab. 3-9). Der durchschnittliche Korntrag war mit 59,2 dt TM ha⁻¹ außergewöhnlich hoch. Auch bei den Ertragsparametern ergaben sich keine Unterschiede. Lediglich beim Rohprotein-gehalt der Weizenkörner wurde für die Variante P30 der höchste Wert ermittelt.

Diese Resultate sind umso bemerkenswerter, als in 2006 und auch in der 1. Rotation in 2000 über alle 3 Betriebssysteme Mindererträge des pfluglosen Systems SR30/15 gegenüber den Varianten mit Bodenwendung festgestellt wurden.

Das hohe Ertragsniveau 2008 wurde zum einen durch die überdurchschnittlichen Sommerniederschläge ermöglicht (s. Abb. A-5 im Anhang). Zum anderen lagen die N_{min}-Gehalte im Boden nach der Feldfrucht *S. tuberosum* im Dezember 2007 und März 2008 sehr hoch, in SR30/15 aber jeweils niedriger als in P30 (s. Abb. 3-13).

Bei der Betrachtung der Ergebnisse zur Segetalflora fallen die im Vergleich zu anderen Jahren hohen Deckungsgrade 2008 (s. Tab. 3-31) und die hohen Anzahlen an Wildkräutern (s. Abb. 3-21) auf. Dies spiegelt sich allerdings nicht in den Beikraut-Biomassen im Stroh bei der Weizenernte wider (s. Tab. 3-34). Die höchsten Werte wurden meistens im System SR30/15 ermittelt. Aber offensichtlich wirkte sich die Konkurrenz im pfluglosen System nicht deutlich ertragsmindernd aus. Die große Abundanz von *G. aparine* L. (Klettenlabkraut) [vgl. auch Tab. 3-32] hat für den Ökologischen Landbau nur eine untergeordnete Bedeutung, weil diese Beikrautart zu den Nitrophyten zählt, mit der Folge, dass dessen Konkurrenzkraft bei schwindendem Stickstoffangebot in schnell wachsenden Getreidebeständen gering ist.

KAINZ (2010) gibt für das pfluglose System in seinen Versuchen teilweise eine Bedeckung von 95 % mit unerwünschten Kulturgräsern an, die sich nach nicht geglückten Umbrüchen von Feldfutter im folgenden Winterweizen wiederfanden. Auf diese Konkurrenz, unvergleichlich stärker als im Feldversuch Gladbacherhof, reagierte *T. aestivum* mit erheblichen Mindererträgen im pfluglosen System, so der Autor.

GRUBER et al. (2010) berichten analog zu den Ergebnissen auf dem Gladbacherhof, dass sie kaum Ertragsunterschiede feststellten, trotz höherem Besatz mit *C. arvense* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) und annuellen Unkräutern in der pfluglosen Variante. Diejenigen Autoren, die bei der Diskussion der Weizenerträge 2006 genannt wurden (s. S. 114f) und jeweils Mindererträge in den pfluglosen Varianten feststellten, geben alle niedrigere Durchschnittserträge als die auf dem Versuchsstandort Gladbacherhof 2008 ermittelten an. Eine mögliche Erklärung für die ausgebliebenen Ertragsunterschiede im eigenen Versuch könnte das hohe Ertragsniveau sein. Scheinbar ist es unter weitgehend optimalen Umweltbedingungen über weite Phasen des Weizenwachstums möglich, auch bei einem Verzicht auf den wendenden Pflug, vergleichbare Erträge wie in den Varianten mit Bodenwendung zu erzielen.

In den beiden viehlosen Systemen wurde, wie schon in 2005 bei *V. faba*, so auch in 2008 bei *P. sativum*, ein Minderertrag an Korn des pfluglosen Systems SR30/15 als nicht signifikant ausgewiesen. Der Gesamtertrag, also Korn plus Stroh, lag in ZP30/15 allerdings signifikant höher als in SR30/15.

Ein gewisser Hinweis auf unterschiedliche Wachstumsbedingungen der Körnererbsen können die $N_{\min}$ -Gehalte im Boden vom März 2008 zumindest für das Betriebssystem VL-GB liefern (s. Abb. 3-14). Es ist jedoch nicht anzunehmen, dass die Leguminose *P. sativum* in der Spanne 71 kg N ha⁻¹ (SR30/15) bis 91 kg N ha⁻¹ (= Mittelwert der Systeme mit Bodenwendung) ertragsrelevant auf unterschiedliche Angebote an mineralischem Stickstoff im März reagiert.

Auch die Untersuchungsparameter zur Segetalflora (s. Tab. 3-33 und 3-34) geben keine weiterführenden Anhaltspunkte.

An entsprechender Position der 1. Rotation im Jahr 2002 wurde ebenfalls kein deutlicher Einfluss der Bodenbearbeitungssysteme auf die Erträge von *P. sativum* festgestellt.

Im Einklang zu den dargestellten Resultaten stehen die Ergebnisse von REINICKE et al. (2010) und HÄNSEL (2010), die jeweils die Wirkung von Pflug und Zweischichtpflug verglichen. DITTMANN & ZIMMER (2010) fanden keinen Unterschied im Lupinerertrag bei der Gegenüberstellung einer Bodenbearbeitungsvariante mit Pflug und einer pfluglosen.

In 2009 wurden bei der Winterung *S. cereale* (s. Tab. 3-11) sehr ähnliche Verhältnisse wie bei *T. aestivum* 2006 (s. Tab. 3-5) vorgefunden. Allerdings war der Minderertrag des Bodenbearbeitungssystem SR30/15 in 2009 nicht so bedeutend und daher hinsichtlich Korn nur signifikant gegenüber P15 und im Bezug auf Stroh außerdem noch gegenüber P30.

Zahlreiche Parameter, die während der Wachstumsperiode von *S. cereale* erhoben wurden, weisen auf günstigere Umweltbedingungen in den Systemen mit Bodenwendung, insbesondere in P30, bzw. ungünstigere in SR30/15 hin: die Gehalte an

mineralischem Stickstoff im Boden im November 2008 (s. Abb. 3-13 bis 3-15), die Chlorophyllgehalte der Roggenblätter im Mai 2009, die oberirdische Biomasse im Juni 2009.

Die Untersuchungen zur Segetalflora lieferten keine deutlichen, ertragsrelevanten Hinweise auf den Einfluss der 4 Bodenbearbeitungssysteme.

An entsprechender Position der 1. Rotation im Jahr 2003 war der höchste Ertrag für P30 gegenüber allen anderen Varianten nachzuweisen.

Viele Autoren berichten über ähnliche Ergebnisse bei *S. cereale* (DEBRUCK, 2001; KAINZ et al., 2003; DITTMANN & ZIMMER, 2010; REINICKE et al., 2010), wobei die Ertragsdifferenzen oft so gering sind, dass sie als nicht signifikant ausgewiesen werden.

VAKALI & KÖPKE (2001) erklären ihre Ergebnisse mit erhöhten Wurzeldichten von *S. cereale* in der Bodenbearbeitungsvariante „konventioneller Pflug“. Sie schließen daraus auf eine verbesserte Nährstoffaufnahme bei intensiverer Lockerung des Bodens.

Analog zu den Ergebnissen auf dem Gladbacherhof berichten KAINZ et al. (2003) und PAFFRATH & STUMM (2010), dass der Minderertrag der pfluglosen Variante bei *S. cereale* geringer ausfällt als bei *T. aestivum*.

4.1.2.2 Fruchtfolgeleistungen

Hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme bietet die Quantifizierung der Fruchtfolgeleistungen den Vorteil, dass nicht nur Einzeljahre bewertet werden, sondern eine längere Periode mit allen angebauten Feldfrüchten.

Die Gesamtsprossmasse (s. Abb. 3-1) ist wiederum eine Kenngröße, die das Potential der unterschiedlichen Systeme zur Erzeugung oberirdischer Phytomasse zum Ausdruck bringt.

Das pfluglose System SR30/15 (490 dt TM ha⁻¹) weist einen signifikant niedrigeren Wert auf als die Systeme mit Bodenwendung, die im Mittel 533 dt TM ha⁻¹ erreichen. Mindererträge werden besonders bei den Halmfrüchten *A. sativa* (2004), *T. aestivum* (2006) und *S. cereale* (2009) deutlich, und zwar sowohl im Korn- als auch im Strohertrag.

DITTMANN & ZIMMER (2010) ermittelten keine Unterschiede zwischen wendender und pflugloser Bodenbearbeitung. Sie summierten ebenfalls alle Trockenmasse-Erträge, inklusive Haupt- und Koppelprodukte, über eine gesamte Rotation. Geringere Erträge geben sie aber auch für Wintergetreide an, hier für Winterroggen und Wintertriticale. Mehrererträge der pfluglosen Variante in einzelnen Trockenjahren begründen sie mit einer längeren Wasserverfügbarkeit auf dem leichten Standort.

Bei der Separierung der Gesamtprossmasse in Leguminosen und Nicht-Leguminosen (s. Tab. 3-13) wirkten sich die Bodenbearbeitungssysteme nicht differenzierend auf die Fabaceae aus. Bei den Nicht-Leguminosen wurden für P30 und P15 höhere Werte ermittelt als für SR30/15. Dies zeigt, dass Leguminosen in ihrer Ertragsbildung von den Ackerfunktionen unabhängiger sind als Nicht-Leguminosen, was auch bei den Mindererträgen der oben erwähnten Halmfrüchte deutlich wird.

Bei der Betrachtung der Marktfruchterträge der Bodenbearbeitungssysteme gilt: Die Interpretation der Ergebnisse kann unabhängig vom Ackerflächenverhältnis in den 3 Betriebssystemen erfolgen, d. h. unabhängig von der Marktfähigkeit der Ernteprodukte.

In allen Sektionen von Tab. 3-14, beim nichtlegumen Marktfruchtertrag (s. Tab. 3-15) und auch bei der Bewertung in Getreideeinheiten (s. Tab. 3-16), weist das pfluglose System SR30/15 niedrigere Werte als die Varianten mit Bodenwendung auf. Es wird aber auch deutlich, dass die abnehmende Eingriffsintensität für die Marktfruchterträge nicht nachteilig ist, solange sie noch eine Bodenwendung beinhaltet. Erst bei völligem Verzicht auf die Pflugarbeit muss, über die gesamte Rotation gesehen, mit einem Minderertrag von ca. 10 % gerechnet werden (vgl. SCHULZ et al., 2011).

Zu vergleichbaren Resultaten kommen auch PAFFRATH & STUMM (2010) und REINICKE & CHRISTEN (2007).

Obwohl das pfluglose System SR30/15 bei den bisher erörterten Parametern der Marktfruchterträge stets die niedrigsten Werte aufweist, schlägt sich dies nicht so deutlich wie erwartet in der monetären Fruchtfolgeleistung nieder (s. Tab. 3-17). Signifikante Unterschiede der 4 Bodenbearbeitungssysteme sind nicht festzustellen.

Bei näherer Betrachtung der monetären Leistungen ergibt sich folgender Sachverhalt: In 5 der 6 beschriebenen Versuchsjahre liegt das Produkt aus Naturalertrag und Preis im pfluglosen System mehr oder weniger deutlich unter den Werten der 3 anderen Bodenbearbeitungsvarianten. Lediglich in 2007 ist dies bei *S. tuberosum* nicht der Fall. Obwohl keine signifikanten Ertragsunterschiede auftreten (s. Tab. 3-8), die Differenzen sind also zufällig, wirken sich die unterschiedlichen Mittelwerte deutlich differenzierend auf die Leistungen dieses Jahres aus. Das System SR30/15 liegt fast gleichauf mit P30 und deutlich höher als ZP30/15 und P15.

Aufgrund des gegenüber anderen Marktfrüchten hohen Frischmasse-Ertrages trägt der Verkauf der Kartoffelknollen durchschnittlich alleine mit 45 % zur monetären Fruchtfolgeleistung bei.

Um die Dominanz der Resultate durch die eine Feldfrucht *S. tuberosum* zu vermeiden, erscheint es sinnvoll, die Leistungen alternativ auch ohne die Hackfrucht zu berechnen. Dann wird mit 5202,- € ha⁻¹ ein signifikant niedrigerer Wert für das pfluglose System festgestellt als für die 3 anderen Varianten, die im Mittel 5829,- € ha⁻¹ erreichen. Es ist also mit einer geringeren monetären Leistung des

Systems SR30/15 von 627,- € ha⁻¹ oder ca. 11 % zu rechnen, wenn die Leistungen der Hackfrucht *S. tuberosum* zunächst unberücksichtigt bleiben.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den erörterten monetären Leistungen in keiner Weise um Vollkostenrechnungen handelt. Geringere Aufwendungen in den Varianten mit reduzierter Eingriffsintensität, wie sie z. B. TEBRÜGGE & EICHHORN (1992), KÖLLER (2001), KOŠUTIĆ et al. (2005) oder KLOEPFER (2007) darstellen, sind noch nicht berücksichtigt. Diese weiterführenden Berechnungen werden in der vorliegenden Arbeit nicht ausgeführt, sind aber für abschließende Bewertungen unbedingt erforderlich.

DITTMANN & ZIMMER (2010) schildern ebenfalls das oben erwähnte Problem des hohen Gewinnbeitrags der Kartoffeln. Auch in ihren Versuchen wurde das Gesamtergebnis der Fruchtfolge sehr stark durch einen Mehrertrag bei Kartoffeln in der pfluglosen Variante geprägt, der ebenfalls statistisch als nicht signifikant ausgewiesen wurde.

KAINZ (2010) kommt dagegen zu anderen Resultaten. Er berichtet von Schwierigkeiten beim Aufbau der Kartoffeldämme im pfluglosen Bodenbearbeitungssystem. Daraus resultiert ein relativ geringer Ertrag, was sich durch das hohe Preisniveau besonders negativ bemerkbar macht. Für die gesamte Fruchtfolge folgert KAINZ (2010), dass die pfluglose Variante wirtschaftlich nicht nachhaltig sei. Als bedeutsames Problem der pfluglosen Variante sieht er es an, dass auf dem Standort mit 1100 mm Jahresniederschlag ein Umbruch von Klee gras ohne Pflugeinsatz nicht zufrieden stellend gelingt.

Diese Schwierigkeiten traten auf dem Gladbacherhof mit 650 mm Jahresniederschlag nicht auf.

Der Einfluss der 4 Bodenbearbeitungssysteme auf die Kulturpflanzen und die Erträge lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Die Erträge in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen werden maßgeblich durch die Gehalte an CaCl₂-extrahierbarem mineralischen Stickstoff beeinflusst.

Der Einfluss der Segetalflora auf die Erträge ist von untergeordneter Bedeutung.

Eine abnehmende Eingriffsintensität der Bodenbearbeitung wirkt sich nicht nachteilig auf die Erträge aus, solange sie noch eine Bodenwendung beinhaltet. Erst bei völligem Verzicht auf die Pflugarbeit muss, über die gesamte Rotation gesehen, mit einem Minderertrag von ca. 10 % gerechnet werden. Geringere Erträge des pfluglosen Systems treten besonders bei Halmfrüchten auf, wohingegen die Leguminosen in ihrer Ertragsbildung von den Ackerfunktionen unabhängiger sind.

4.2 Nährstoffeffizienz

Im Ökologischen Landbau, einem Low-Input-System, ist eine verlustarme Nutzung von Nährstoffen besonders wichtig, weil die Gehalte im Boden häufig gering sind. Die Frage der Nährstoffeffizienz soll daher im Folgenden für die 3 Betriebssysteme des Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuchs erörtert werden.

4.2.1 Stickstoffbilanzen

Nährstoffbilanzen sind im Rahmen der Düngeverordnung (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2009) und der Cross Compliance-Regelungen vorgeschrieben. Dabei ist eine hohe Effizienz der Nährstoffkreisläufe ein wichtiger Faktor für die Produktivität, den Humusaufbau und die Umweltwirkungen eines Systems.

Nach STEIN-BACHINGER & BACHINGER (2007) stellen Stickstoffbilanzen ein wichtiges Werkzeug für die mittel- bis langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit dar. Sachgerecht sind sie nur auf der Ebene der Fruchtfolge oder auf höherer Skalenebene durchführbar (CHRISTEN, 2008). Eine besondere Bedeutung kommt dem Stickstoffhaushalt zu, weil N im Ökologischen Landbau oft ertragsbegrenzend ist (LEITHOLD et al., 2007) und systemexterne N-Düngemittel zu vertretbaren Preisen kaum zur Verfügung stehen.

Die berechneten N-Salden im Durchschnitt der Jahre (s. Tab. 3-18) steigen in der Reihenfolge GM-V ($41 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) $\rightarrow$ VL-GB ($66 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) $\rightarrow$ VL-MF ($79 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Dabei ergeben sich die Salden aus der Addition aller N-Zufuhr-Größen abzüglich des N-Entzugs mit den Ernteprodukten sowie abzüglich der Änderungen des Boden-N-Vorrats ΔN_t (s. Formel 2.2 auf S. 28).

HÜLSBERGEN (2003) beschreibt den flächenbezogenen N-Saldo als „das Verlustpotential an reaktiven N-Verbindungen (NO_3^- , NH_4^+ , N_2O , NH_3)“. In der oben angegebenen Reihenfolge nimmt also die Gefahr von unproduktiven und umweltgefährdenden Stickstoffverlusten zu. Dies wird auch in einer sinkenden Systemverwertung ($82 \% \rightarrow 72 \% \rightarrow 64 \%$) über die 3 Betriebssysteme deutlich. In der Reihenfolge GM-V $\rightarrow$ VL-GB $\rightarrow$ VL-MF werden demnach immer geringere Anteile des eingesetzten Stickstoffs ertragswirksam umgesetzt. Deutliche Parallelen ergeben sich auch zu den in Kap. 4.1.1.2 erörterten Fruchtfolgeleistungen.

Wo liegen nun die Ursachen der unterschiedlichen N-Salden? Die Fruchtfolgefelder mit Nicht-Leguminosen tragen nur in sehr geringem Umfang zu diesen Differenzen bei (s. Tab. A-17 bis Tab. A-22 im Anhang), da sich die Erträge der nichtlegumenen Früchte und deren N-Gehalte in den verschiedenen Betriebssystemen nur geringfügig unterscheiden. Dagegen wird die Ungleichheit der N-Salden hauptsächlich durch die angebauten Leguminosen und deren Bewirtschaftung bestimmt.

Im System mit Viehhaltung GM-V werden einerseits mit dem 2-jährigen Luzerne-Klee gras große Mengen an Stickstoff (459 bzw. 229 kg N ha^{-1}) symbiotisch fixiert

(s. Tab. A-17 im Anhang). Andererseits werden mit dem Erntegut 433 bzw. 223 kg N ha⁻¹ von den Parzellen entfernt (s. Tab. A-18 im Anhang). Inklusive der asymbiotischen N-Bindung und der N-Immissionen ergibt sich nur für das 2-jährige schnittgenutzte Luzerne-Kleegras ein N-Saldo von + 73 kg N ha⁻¹, wobei die Änderungen des Boden-N-Vorrats noch nicht berücksichtigt sind.

Im Grünbrachesystem VL-GB berechnet sich der N-Saldo der beiden Fruchtfolgefelder mit den Leguminosen Luzerne-Kleegras (2005) und *P. sativum* (2008) zu + 331 kg N ha⁻¹. Der symbiotisch fixierte Stickstoff ist zwar mit 256 bzw. 154 kg N ha⁻¹ (s. Tab. A-19 im Anhang) deutlich geringer als in GM-V. Der gravierende Unterschied besteht aber darin, dass die Aufwüchse des gemulchten Luzerne-Kleegrases mit 311 kg N ha⁻¹ auf den Parzellen verbleiben.

Im reinen Marktfruchtsystem VL-MF ergibt sich für die beiden Körnerleguminosen *V. faba* (2005) und *P. sativum* (2008) ein N-Saldo von + 91 kg N ha⁻¹. Hier ist bedeutend, dass die symbiotisch fixierten N-Mengen mit 195 bzw. 144 (s. Tab. A-21 im Anhang) relativ gering sind und außerdem mit den Körnern erhebliche N-Mengen exportiert werden.

Im System GM-V fungieren neben den Leguminosen außerdem die Düngungen mit Rottemist im Umfang von 269 bzw. 96 kg N ha⁻¹ als beachtliche N-Input-Größen. Verglichen mit dem N-Export von den Futterbaufeldern ergibt sich damit eine N-Rezyklierungsrate mit dem Rottemist von 56 %. In der 1. Rotation lag diese Rate deutlich niedriger, weil die entsprechenden N-Exporte höher und die Düngermengen geringer waren (vgl. SCHMIDT et al., 2006).

Die oben beschriebenen Konstellationen erklären die abnehmenden N-Umsätze (= Input und Output) in der Reihenfolge GM-V → VL-GB → VL-MF (s. Tab. 3-18). Daraus resultieren zunächst die N-Salden ohne Berücksichtigung der Änderungen des Boden-N-Vorrats. Eine weitere entscheidende Einflussgröße der endgültigen N-Salden stellen die Werte für ΔN_t dar. Sie gehen aus den Trendlinien der Abb. 3-3 hervor und führen schließlich zu den erwähnten N-Salden unter Einbezug der Änderungen des Boden-N-Vorrats.

Die ΔN_t -Berechnungen zeigen eine deutliche Anreicherung an Humus-N, also eine Humusakkumulation, im System mit Viehhaltung (GM-V) und für die beiden viehlosen Systeme eine beachtliche (VL-BG) bzw. gravierende (VL-MF) ersatzlose Bereitstellung von N aus dem Humusfonds, also einen Humusschwund, auf.

Vergleiche von N-Bilanzergebnissen aus der Literatur mit den eigenen Resultaten sind oft problematisch, da die Berechnungsverfahren unterschiedlich sind oder gar nicht angegeben werden.

Zur Bewertung der beschriebenen N-Salden können die Ausführungen in der Düngeverordnung (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2009) nur bedingt herangezogen werden, weil für den Nährstoffvergleich der Verordnung die N-Zufuhren mit Saatgut, Immissio-

nen und asymbiotischer N-Fixierung und die Änderungen des Boden-N-Vorrats (ΔN_t) nicht in Ansatz gebracht werden. Laut Düngeverordnung darf ab 2009 der Stickstoffüberschuss, d. h. N-Input abzüglich N-Output, im Durchschnitt der letzten 3 Düngejahre nicht mehr als 60 kg N ha^{-1} betragen. KOLBE (2010b) empfiehlt, dass eine Spanne des N-Saldos (ohne ΔN_t) von $0 - 40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ weder deutlich über- noch unterschritten werden sollte. Diese Anforderungen werden in allen 3 Betriebssystemen weitestgehend erfüllt (s. Tab. 3-18).

Andere Autoren weisen ebenfalls N-Salden in den vorgestellten Größenordnungen aus. So ermittelte KOLBE (2002) bei einer Literaturlauswertung von Landnutzungsformen des Ökologischen Landbaus in Deutschland durchschnittliche N-Salden von $38 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. HÜLSBERGEN (2003) errechnete für einen Betrieb mit einem Viehbesatz von $0,3 \text{ GV ha}^{-1}$ über mehrere Jahre N-Salden inklusive ΔN_t von 17 bis $43 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Untersuchungen von KÜSTERMANN et al. (2005) ergaben für einen intensiv geführten Betrieb mit $1,3 \text{ GV ha}^{-1}$ berechnete N-Salden von -5 bis $+ 30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Auch hier wurden die Änderungen des Boden-N-Vorrats berücksichtigt. Im Vergleich dazu sind die im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch berechneten N-Salden der beiden viehlosen Systeme deutlich höher.

REINICKE et al. (2010) ermittelten in Feldversuchen um ca. $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ höhere N-Salden in einem System mit Viehhaltung gegenüber einem viehlosen. Allerdings wurden beide Varianten mit einem 1-jährigen Luzerne-Klee-gras-Gemenge bewirtschaftet. Als Ursache für die unterschiedlichen Salden geben die Autoren die höhere N-Fixierleistung des Gemenges im System mit Viehhaltung an.

Aus den diskutierten N-Bilanzen können Optimierungspotentiale für Praxisbetriebe abgeleitet werden. So ist in viehhaltenden Betrieben auf eine verlustarme Rezyklisierung des Stickstoffs über die Kette Futterwerbung – Fütterung – Dunglagerung – Dungausbringung zu achten. Für viehlose Betriebe mit Grünbrache sind möglichst späte Mulchtermine des Luzerne-Klee-grases sinnvoll, weil sich dadurch die N-Fixierleistungen steigern lassen (STEIN-BACHINGER et al., 2004).

4.2.2 Phosphorbilanzen

Sinkende Mengen an CAL-extrahierbarem Phosphor im Boden stellen auf vielen Ökobetrieben mit pH-Werten größer 6,5 ein beachtliches Problem dar, weil in Europa nur noch P-arme Eisenerze verhüttet werden und kein Thomasphosphat aus der Stahlindustrie mehr für die P-Düngung zur Verfügung steht (STEFFENS et al., 2005). Das neue Thomasphosphat (CaHPO_4) ist im Ökologischen Landbau nicht zugelassen. Somit ist die Effizienz der P-Kreisläufe von großer Relevanz.

Die berechneten durchschnittlichen P-Salden pro Jahr variieren zwischen -10 und -13 kg P ha^{-1} (s. Tab. 3-19) und unterscheiden sich hinsichtlich der 3 Betriebssysteme nur geringfügig.

Verglichen mit den Phosphor-Salden des Versuchszeitraums 2004 – 2009 von -71 kg P ha^{-1} im Mittel der 3 Betriebssysteme sind die CAL-extrahierbaren P-Massen zu Versuchsbeginn von im Mittel 323 kg P ha^{-1} relativ gering. Offensichtlich gingen die P-Entzüge seit Versuchsbeginn zum großen Teil zu Lasten der leicht verfügbaren P-Fraktionen im Oberboden. Infolgedessen sanken die Gehalte an CAL-extrahierbarem Phosphat bis zum Jahr 2009 in allen 3 Betriebssystemen deutlich ab, liegen aber immer noch in der anzustrebenden Gehaltsklasse C = mittel.

Die auftretenden Differenzen zwischen P-Salden und P-Gehaltsänderungen sind mit Nährstoffaufnahmen der Pflanzen aus dem Unterboden und mit der Mobilisierung schwerlöslicher P-Formen in CAL-extrahierbare Formen zu erklären.

Im System mit Viehhaltung, GM-V, werden besonders große Mengen an Phosphor mit den Aufwüchsen des Luzerne-Kleegrases exportiert (s. Tab. A-18 im Anhang). Diese 82 kg P ha^{-1} werden jedoch in etwa gleicher Höhe mit dem Rottemist zurückgeführt (s. Tab. A-17 im Anhang). Ein bedeutender P-Input, der bilanzmäßig in dieser Arbeit nicht explizit aufgeführt ist, ist der Zukauf von Mineralfutter in der Tierhaltung. Aus den Erhebungen von SOMMER (2010) ergibt sich z. B. für den Wirtschaftsbetrieb Gladbacherhof eine P-Zufuhr von $4,7 \text{ kg P GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für den Bilanzzeitraum 2002 – 2006.

In den beiden viehlosen Systemen VL-GB und VL-MF sind keine nennenswerten P-Input-Größen zu verzeichnen (s. Tab. A-19 und Tab. A-21 im Anhang). Die wesentlichen P-Export-Größen der beiden viehlosen Systeme sind die Hauptprodukte der 5 (VL-GB) bzw. 6 (VL-MF) Marktfruchtfelder.

Laut Düngeverordnung (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2009) ist ein jährlicher Überschuss von 20 kg P ha^{-1} erlaubt. In dieser Hinsicht zielt die Düngeverordnung eher auf ein Problem vieler konventioneller Betriebe. KOLBE (2010b) sieht für den Ökologischen Landbau eine ausreichende P-Versorgung als gewährleistet, wenn die Salden nicht unter $0 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ liegen.

Neben den Resultaten vom Gladbacherhof berichten aber auch andere Autoren von negativen P-Salden: So ermittelte HÜLSBERGEN (2003) bei der bereits erwähnten Betriebsbilanzierung P-Salden in der Spanne von -6 bis $-12 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

ZIMMER & DITTMANN (2004) berechneten Nährstoffsalden in einer Versuchsanstellung mit einem viehhaltenden und einem viehlosen Bewirtschaftungssystem. Sie berichten ebenfalls von negativen P-Salden des Systems ohne Vieh. In einem 4-jährigen Bilanzzeitraum mit Vorsommertrockenheit waren die Abfuhr von den Kleegrasfeldern im System mit Viehhaltung gering und die P-Salden ausgeglichen. In einem niederschlagsreichen Bilanzjahr mit hohen Nährstoffabfuhr durch das Klee gras errechneten sie dagegen einen negativen P-Saldo.

Auch GRUBER & THAMM (2005) stellten langfristig abnehmende P_2O_5 - und K_2O -Gehalte bei Ökobewirtschaftung mit Viehhaltung fest.

Die angeführten Untersuchungen weisen darauf hin, dass eine bedarfsgerechte Versorgung der Pflanzen mit Phosphor sowohl in Betrieben mit Viehhaltung als auch in viehlosen Betrieben problematisch werden kann. Nach der Auswertung zahlreicher Versuche im Ökologischen Landbau kommt KOLBE (2011) jedoch zu dem Schluss, dass eine mineralische P-Düngung erst sinnvoll ist, wenn die Phosphorgehalte in die Versorgungsklasse A abzusinken drohen.

Auf jeden Fall widersprechen aber dauerhaft negative P-Salden in Verbindung mit sinkenden P-Gehalten im Boden dem Nachhaltigkeitsgedanken des Ökologischen Landbaus.

Welche Lösungsansätze zeichnen sich hier ab?

Der Gesamtvorrat an Phosphor im Boden beträgt auf 2 m Profiltiefe berechnet ca. $6.000 - 24.000 \text{ kg P ha}^{-1}$ je nach Ausgangsmaterial der Bodenbildung (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984). Der jeweilige Phosphatgehalt in der Bodenlösung beträgt aber nur ca. 1 % des Bedarfs der Pflanze während einer Vegetationsperiode. SCHELLER (1988) weist auf die Bedeutung der „aktiven Nährstoffmobilisierung durch die Pflanzen“ bei der Nutzung dieser Vorräte für das Pflanzenwachstum hin. LEPPIN (2007) konnte zeigen, dass sich bestimmte Kulturpflanzen durch ein hohes Aneignungsvermögen für stabile P-Fractionen auszeichnen. Ein Grund für den geringen Beitrag der „aktiven Nährstoffmobilisierung“ zur Lösung des Phosphatproblems dürfte sein, dass die Voraussetzung der „optimalen Bedingungen“ (SCHELLER, 1988) in weiten Phasen des vegetativen Pflanzenwachstums nicht gegeben ist. So konnten KELLER et al. (2009) in einem Dauerfeldversuch mit negativen P-Bilanzen nach 30 Jahren eine Umverteilung von labilen zu stabilen P-Formen feststellen. Letztere sind für die Pflanzen nur schwer verfügbar.

In der EU-Bioverordnung (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2008b) ist weicherdiges Rohphosphat als zugelassenes Düngemittel aufgeführt. Das in Form von fein vermahlenem Rohphosphat gedüngte Apatit ist aber im alkalischen Bereich sehr beständig. Seine Löslichkeit steigt mit sinkendem pH-Wert (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984). Daher zeigt eine Rohphosphat-Düngung auf Böden mit hohem pH-Wert kurzfristig wenig Wirkung.

Ein weiterhin ungelöstes Problem ist der Re-Import von Nährstoffen, die den Betrieb mit den Ernteprodukten verlassen. In diesem Bereich sind Lösungsansätze gefragt, die eine Aufbereitung anthropogener Abfälle und Abwässer und deren unbedenkliche Rückführung in die Landwirtschaft aufzeigen (RÖMER, 2004).

LUX & SCHMIDTKE (2011) sehen in der Zuführung von Grünguthäcksel und Grün-gutkompost eine Möglichkeit für viehlose Betriebe, die mit Verkaufsprodukten exportierten Nährstoffe zu substituieren.

4.2.3 Kaliumbilanzen

Verglichen mit der Phosphorversorgung der Pflanzen ist die Situation bei Kalium im Ökologischen Landbau wesentlich problemloser. Einerseits ist der Gesamtvorrat an K im Boden auf 2 m Profiltiefe mit ca. 60.000 – 990.000 kg K ha⁻¹ je nach Ausgangsmaterial der Bodenbildung (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984) wesentlich höher als bei Phosphor. Andererseits stehen nach EU-Bioverordnung (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2008b) auch für den Ökologischen Landbau schnelllösliche K-Zukaufdüngemittel zur Verfügung.

Da die K-Gehalte der Pflanzen bedeutend höher ausfallen als die P-Gehalte (s. Tab. A-17 bis Tab. A-22 im Anhang), sind auch die Umsätze deutlich höher. Daraus resultieren stark negative K-Salden (s. Tab. 3-20), im viehhaltenden System GM-V deutlich niedriger (– 50 kg K ha⁻¹ a⁻¹) als in den beiden viehlosen Systemen VL-GB (– 33 kg K ha⁻¹ a⁻¹) und VL-MF (– 29 kg K ha⁻¹ a⁻¹).

Die Zufuhren mit dem Rottemist in GM-V (519 kg K ha⁻¹) können die Abfuhren mit den Aufwüchsen des Luzerne-Kleegrases (598 kg K ha⁻¹) und mit dem Stroh der 3 Halmfrüchte (112 kg K ha⁻¹) bei weitem nicht ausgleichen (s. Tab. A-17 und Tab. A-18 im Anhang). Dies verdeutlicht die K-Verluste im Bereich der Tierhaltung. In den beiden viehlosen Systemen sind keine nennenswerten echten Zufuhren zu verzeichnen. Der bedeutende Unterschied zu GM-V besteht darin, dass die gravierenden Exporte bei Luzerne-Kleegras und auch diejenigen mit dem Stroh der Halmfrüchte bei viehloser Bewirtschaftung nicht stattfinden.

Die Berechnungen von HÜLSBERGEN (2003) weisen mit – 19 bis – 37 kg K ha⁻¹ a⁻¹ negative K-Salden in etwas geringerer Höhe aus.

ZIMMER & DITTMANN (2004) berichten für einen 4-jährigen Bilanzzeitraum mit Vorsommertrockenheit von etwa gleich hohen K-Salden in einem System mit Viehhaltung (– 34 kg K ha⁻¹ a⁻¹) und in einem viehlosen System (– 37 kg K ha⁻¹ a⁻¹). Demgegenüber beläuft sich der K-Saldo in einem niederschlagsreichen Jahr mit hohen Erträgen in dem viehhaltenden System auf – 84 kg K ha⁻¹ a⁻¹. Bei der viehlosen Bewirtschaftung wurden nach Angabe der Autoren 60 kg K ha⁻¹ in Form von Patentkali gedüngt, so dass ein positiver Saldo von 37 kg K ha⁻¹ berechnet wurde.

In der Düngeverordnung (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2009) ist keine Begrenzung des K-Überschusses genannt, weil Umweltbelastungen durch atmosphärische und hydrosphärische Verluste wie bei Stickstoff und Phosphor nicht auftreten.

KOLBE (2010b) empfiehlt eine auf Dauer leicht positive K-Bilanz auf leichten Böden. Auf schweren Böden könnten negative K-Salden von – 20 bis – 40 kg K ha⁻¹ a⁻¹ geduldet werden. Eine mineralische Kaliumdüngung sei erst sinnvoll, wenn die Boden-gehalte in die Versorgungsklasse A zu sinken drohen (KOLBE, 2011).

Auch wenn das Problem dauerhaft negativer K-Salden aufgrund der Verfügbarkeit von schnelllöslichen K-Düngemitteln nicht so prekär ist wie bei Phosphor, so sind alternative Lösungsstrategien auch hier angesagt.

ZIMMER & DITTMANN (2004) empfehlen, die Abfuhr von Stroh auf ein für die Viehhaltung unbedingt notwendiges Mindestmaß zu beschränken. Angesichts des hohen K-Gehaltes in den Koppelprodukten der Halmfrüchte (s. Tab. A-18 im Anhang) ist dies einleuchtend.

Im Übrigen gelten auch für Kalium die Aussagen zur Mobilisierung der Reserven im Boden und zur Rezyklierung der Nährstoffe aus Abwässern und Abfällen (s. Kap. 4.2.2).

Die Ausführungen zur Nährstoffeffizienz der 3 Betriebssysteme lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Der niedrigste N-Bilanzsaldo ($+ 41 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und somit die beste N-Verwertungsrate (82 %) erfolgte im System mit Viehhaltung (GM-V). Demgegenüber stieg das N-Verlustpotential (= N-Saldo) bei viehloser Bewirtschaftung mit Rotationsbrache (VL-GB) auf $+ 66 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, während die Verwertungsrate auf 72 % sank. Im reinen Marktfruchtensystem (VL-MF) kam es zu einem weiteren Anstieg des N-Saldos auf $+ 79 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und einem weiteren Abfall der N-Systemverwertung auf 64 %.

Alle 3 Systeme zeigten negative P-Salden zwischen 10 und 13 $\text{kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und negative K-Salden zwischen 29 und 50 $\text{kg K ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei gleichzeitig deutlich gesunkenen Mengen an pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium in der Ackerkrume seit Versuchsbeginn.

4.3 Veränderliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften

Im Folgenden soll die Frage diskutiert werden, wie sich die verschiedenen Bewirtschaftungssysteme auf maßgebliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften auswirken.

4.3.1 Einfluss der 3 Betriebssysteme

4.3.1.1 Humushaushalt

Die vielfältigen Funktionen des Humus im Boden werden von zahlreichen Autoren beschrieben (u. a. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984; HÜLSBERGEN, 2003; LEITHOLD, 2009). Umfassend formuliert es ein Autorenkollektiv (VDLUFA, 2004a): „Die Bedeutung des Humus liegt in der Verbesserung nahezu aller Bodeneigenschaften“. Die große Relevanz manifestiert sich auch in den Bemühungen vieler Forschergruppen zur Erarbeitung und Verbesserung unterschiedlicher Methoden der Humusbilanzierung (RAUHE & SCHÖNMEIER, 1966; ASMUS & HERRMANN, 1977; LEITHOLD et al., 1997; VDLUFA, 2004a; BROCK et al., 2008).

Mit einer Auswertung von 7 Dauerfeldversuchen in Deutschland und der Schweiz konnten BROCK et al. (2011) die Bedeutung des Humusgehalts für die Erträge von Nicht-Leguminosen speziell im Ökologischen Landbau nachweisen. Die Erträge sind positiv mit den aktuellen Gehalten an C_{org} und N_t der jeweiligen Versuchsvarianten korreliert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden keine Humusbilanzen berechnet, sondern die Humusgehalte in den unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen wurden durch Messungen ermittelt. Die Vor- und Nachteile dieser grundsätzlich unterschiedlichen Ansätze, Bilanzierung des Humushaushalts einerseits und direkte Messungen der Humusgehalte andererseits, beschreibt HÜLSBERGEN (2003) ausführlich.

Im Feldversuch Gladbacherhof ergaben sich eindeutige Parallelen zwischen den quantitativen Indikatoren des Humushaushalts C_{org} und N_t (s. Abb. 3-2 und Abb. 3-3). Dieser enge Zusammenhang wird in der Literatur wiederholt durch sehr hohe Korrelationskoeffizienten, meistens $r > 0,9$, beschrieben (SCHMIDT et al., 2007; KUBÁT et al., 2008; CHEN et al., 2009; BROCK, 2009).

HÜLSBERGEN (2003) nennt die Jahresdynamik der Humusgehalte als einen bedeutenden Nachteil der direkten Messungen (s. o.). Dies bestätigte sich auch im Feldversuch Gladbacherhof. HILLEBRECHT et al. (2009) berichten, dass es außerdem zu ausgeprägten saisonalen Schwankungen, hier unter einem Bestand von *T. aestivum*, kommt.

Deutliche Zunahmen konnten im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch Gladbacherhof in der Regel unter oder nach Leguminosen (1999 – 2000, 2002 – 2003, 2005 – 2006), deutliche Abnahmen unter *S. tuberosum* (2001 – 2002, 2007 – 2008) ermittelt werden (s. Abb. 3-2 und 3-3). Die hohe Mistgabe in 2006 dürfte zu dem steilen Anstieg im Betriebssystem mit Viehhaltung beigetragen haben. Die Humusakkumulierende Wirkung von mehrjährigen Futterpflanzen erklären LEITHOLD et al. (2007) mit hohen Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen, den tief reichenden Wurzeln von *M. sativa* und der Unterlassung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Die geschilderten Sachverhalte spiegeln sich auch in den Humusbilanzkoeffizienten für Leguminosen, Hackfrüchte und Rottemist wider, die aus verschiedenen Dauerfeldversuchen abgeleitet wurden (VDLUFA, 2004a).

SCHMIDT et al. (2006) konnten für die 1. Rotation 1998 – 2003 des Dauerfeldversuchs Gladbacherhof noch keine signifikanten Effekte der Betriebssysteme auf den Humusgehalt feststellen. Besonders die Darstellung der C_{org} -Massen (s. Abb. 3-2) veranschaulichen aber, dass eine deutliche Differenzierung durch die Betriebssysteme erst ab 2006, also nach zweimaligem Anbau der Luzerne-Klee-gras-Gemenge 1998/1999 und 2004/2005 stattfindet. Häufig wird sogar eine Zeitspanne von 10 Jahren angegeben, bevor Änderungen im Humusgehalt nach Umstellungen in der Bewirtschaftung messbar sind (HÜLSBERGEN, 2003). LEITHOLD et al. (2007) berichten von einem Feldversuch, in dem dieser Differenzierungsprozess nach 30 Jahren noch nicht abgeschlossen ist.

Im Feldversuch Gladbacherhof wird von einem linearen Verlauf der Humusanreicherung bzw. -abreicherung ausgegangen. Dies ist für die Anfangsjahre von Dauerfeldversuchen durchaus üblich. Später sollten Polynome 2. Grades, Exponentialfunktionen oder e-Funktionen verwendet werden.

Die Regressionslinien in Abb. 3-2 und Abb. 3-3 zeigen eine deutliche Humusakkumulation in GM-V und einen deutlichen (VL-GB) bis gravierenden (VL-MF) Humusabbau in den viehlosen Systemen auf. Bei dem üblichen Umrechnungsfaktor von C_{org} zu Humus von 1,72 (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1984) beläuft sich die Humusmehrung in der Bodenschicht 0 – 30 cm in GM-V auf $0,40 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. In den beiden viehlosen Systemen findet ein Humusabbau von $0,27 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (VL-GB) bzw. $0,70 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (VL-MF) statt.

BROCK (2009) berechnete die Entwicklung der Humusgehalte in dem Feldversuch Gladbacherhof für den Zeitraum 1998 – 2006, also für 8 Jahre unter zweimaligem Einbezug der Luzerne-Klee-gras-Gemenge. Die Resultate zeigen eine positive Entwicklung für GM-V und eine negative für VL-MF. Das viehlose System VL-GB rangiert in der Mitte. Die von BROCK (2009) ermittelten Humusbilanzsalden nach den Methoden HES (LEITHOLD et al., 1997) und HUMOD (BROCK et al., 2008) spiegeln die für den Zeitraum 1998 – 2009 dargestellten gemessenen Ergebnisse

relativ gut wider. Generell werden aber die tatsächlichen Entwicklungen der Humusgehalte durch alle 4 von BROCK (2009) getesteten Bilanzmethoden überschätzt.

Im Jahr 2009 konnten dann die dargestellten Trends der Humusmassen durch die folgenden Unterschiede in den Statusanalysen bestätigt werden:

In Bezug auf die Betriebssysteme beschränken sich die Unterschiede der quantitativen Humus-Indikatoren C_{org} - und N_t -Massen am Ende der 2. Rotation auf die Ackerkrume (s. Tab. 3-21). Das System GM-V mit Viehhaltung weist für beide Parameter sowohl in der Gesamtheit der Krume als auch in den beiden Teilschichten 0 – 12 cm und 17 – 25 cm höhere Werte auf als das reine Marktfruchtsystem VL-MF. Das System VL-GB nimmt jeweils eine Mittelstellung ein.

Gleiche Abstufungen konnten bereits nach 9-jähriger Versuchsdurchführung in 2007 nachgewiesen werden (SCHULZ et al., 2008).

Als Ursachen für die dargestellten Entwicklungen der Humusgehalte kann folgendes konstatiert werden: Im System mit Viehhaltung GM-V findet durch den hohen Anteil an mehrjährigen Futterleguminosen in der Fruchtfolge und die Rottemistdüngung eine Humusmehrung in erheblichem Umfang statt. Im Vergleich zur Vorbewirtschaftung (s. S. 12) sind die Strukturkennziffern Futterleguminosenanteil und Viehbesatz erhöht worden. Im viehlosen System VL-GB gelingt es nicht, den legumen Feldfutterbau durch eine einjährige Grünbrache und die vermehrte Einarbeitung von Koppelprodukten gleichwertig zu ersetzen. Dies ist mittelfristig, aber nicht auf Dauer akzeptabel. Bei völligem Verzicht auf Futterleguminosen und Grünbrache im Marktfruchtsystem VL-MF ist ein Humusabbau in einer Größenordnung feststellbar, der selbst mittelfristig nicht hinnehmbar ist. Im Vergleich zur Vorbewirtschaftung (s. S. 12)) haben sich in den beiden viehlosen Systemen die Voraussetzungen zur Humusreproduktion deutlich verschlechtert (s. AF-Verhältnis auf S. 15 und Tab. A-6 im Anhang). Die Darlegungen aus Kap. 4.1 zeigen darüber hinaus auf, dass die unzureichende Humusreproduktion in VL-MF schon kurzfristig mit geringeren Erträgen und Fruchtfolgeleistungen einhergeht.

Die ermittelten Ergebnisse zur Entwicklung des Humushaushalts werden durch zahlreiche Forschungsarbeiten bestätigt. So berichten LIPAŮSKÝ et al. (2008) und MANOJLOVIĆ et al. (2008) jeweils von höheren Zunahmen der C_{org} -Gehalte in Varianten mit Mistdüngung bzw. organischer Düngung als in Kontrollvarianten ohne diese Zugaben.

MÜLLER et al. (2009) untersuchten 6 unterschiedliche Fruchtfolgen und schildern den positiven Einfluss von gemulchtem Klee gras und von Zwischenfrüchten. Auch die Rückführung von Stroh und der Verzicht auf die Hackfrucht *S. tuberosum* bewirke einen höheren Humusgehalt.

LUDWIG et al. (2009) ermittelten, dass nach Düngung von Mist mehr C und N in stabiler Form, d. h. in einem Humuspool mit langen Umsatzzeiten, gespeichert wird als bei Strohdüngung plus N-Mineraldüngergaben. Die Größe des labilen, sehr schnell umsetzbaren Pools wurde in sehr starkem Maße von der Vorfrucht *Trifolium*

resupinatum (Persischer Klee) beeinflusst. Die Resultate der genannten Autoren liefern wertvolle Hinweise für das hier getestete Betriebssystem mit Viehhaltung (GM-V), in dem höhere Humusmengen, aber oft auch geringere Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Vergleich zum viehlosen System mit Grünbrache (VL-GB) analysiert wurden.

Zur Erreichung hoher Humusgehalte werden oft die beiden Aspekte Stallmistgaben und Leguminosengras-Anbau zusammen genannt (SCHELLER, 2002; KOLBE, 2010a). DRINKWATER et al. (1998) ermittelten nach 15-jähriger Versuchsdurchführung höhere C-Gehalte in zwei Leguminosen basierten Fruchtfolgen mit kleinkörnigen Fabaceae gegenüber einer Mais-Soja-Fruchtfolge. Besonders positiv wirkte sich die Abfuhr der oberirdischen Biomasse, deren Verfütterung und die Rückführung der tierischen Ausscheidungen auf den Humusgehalt aus.

Die Bedeutung von *M. sativa* für die Humusakkumulation ist auch in deren Wurzelmorphologie begründet und lässt in Zukunft weitere Differenzierungen bezüglich der 3 Betriebssysteme auch in tieferen Bodenschichten erwarten. KUTSCHERA (1960) beschreibt für Luzernewurzeln das „große Tiefenstreben der Primärwurzel“ und die „kräftigen, mehrfach verästelten Seitenwurzeln in den tieferen Bodenlagen“.

Dass sich die Bewertung der Bodenfruchtbarkeit nicht nur auf die Ackerkrume beschränken sollte, erwähnen schon DOSPECHOV (1980a) und LEITHOLD (1984).

Nach BECK (1991) hinterlassen die Fruchtfolgegestaltung und eine zusätzliche organische Düngung einen „speziellen Fingerabdruck“ hinsichtlich der Bodenfruchtbarkeit. Änderungen im C_{org} -Gehalt sind aber erst nach längeren Zeiträumen messbar und betreffen fast ausschließlich den umsetzbaren C-Pool (SCHULZ, 2005).

Durch sensitive Indikatoren der organischen Bodensubstanz können Änderungen eher festgestellt werden als durch die träge reagierenden Parameter C_{org} und N_t . In Untersuchungen von LIPAVSKÝ et al. (2008) wurde bestätigt, dass die Gehalte von heißwasserlöslichem Kohlenstoff (C_{hwl}) früher und stärker auf Düngungsvarianten reagieren als diejenigen von C_{org} .

Während die Standortbedingungen einen großen Einfluss auf die C_{org} -Gehalte haben, werden sensitive Parameter wie heißwasserlöslicher Kohlenstoff (C_{hwl}), heißwasserlöslicher Stickstoff (N_{hwl}) und Enzymaktivität eher durch die Bewirtschaftung geprägt (LEITHOLD et al., 2007).

Im Feldversuch Gladbacherhof waren 2006 (tendenziell) und 2007 höhere Dehydrogenase-Aktivitäten im System GM-V gegenüber VL-MF erkennbar (s. Tab. 3-23 und Tab. 3-24). Zu ähnlichen Resultaten kam BROCK (2009) im selben Versuch im Hinblick auf die qualitativen Humus-Parameter C_{hwl} und N_{hwl} . Das Grünbrachesystem VL-GB nahm jeweils eine Mittelstellung ein.

Die verschiedenen Indikatoren des Humusgehalts belegen somit eine abnehmende Bodenfruchtbarkeit in der Reihenfolge GM-V > VL-GB > VL-MF.

4.3.1.2 Bodenphysikalische Parameter

Neben den Indikatoren der organischen Bodensubstanz beeinflussen bodenphysikalische Eigenschaften in bedeutendem Maße die Bodenfruchtbarkeit.

Im Feldversuch Gladbacherhof sind die Trockenrohdichten in den verschiedenen Tiefenstufen im System mit Viehhaltung GM-V tendenziell, z. T. auch signifikant, niedriger als in den beiden viehlosen Systemen (s. Abb. 3-8). Analog verhalten sich die Eindringwiderstände (s. Abb. 3-10). Hier ist die physikalisch geleistete Arbeit beim Eindringen des Penetrologgers in eine Bodentiefe bis 40 cm in GM-V niedriger als in den viehlosen Systemen (s. Tab. 3-26).

Die Trockenrohdichte ist ein Ausdruck für die Kompaktheit des Bodens. KOCH et al. (2007) ermittelten eine enge Korrelation zwischen der Trockenrohdichte und dem Eindringwiderstand, aber weiterhin auch eine enge Beziehung zu den bedeutenden Parametern Luftkapazität und Pneumatische Leitfähigkeit.

Es wird deutlich, dass sich Trockenrohdichte und Eindringwiderstand komparabel zu den quantitativen (s. Tab 3-21) und qualitativen (s. Tab. 3-24) Humus-Indikatoren verhalten.

CAMPBELL & O'SULLIVAN (1991), zitiert von HELBACH et al. (2001), rechnen Bodenfeuchte, Körnung, Trockenrohdichte, C_{org} -Gehalt und Scherfestigkeit zu den starken Einflussfaktoren auf den Eindringwiderstand. Dagegen übten Bodenstruktur, Partikelform, Tonminerale, Oxidgehalt, Steingehalt und die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung lediglich einen schwachen Einfluss auf den Eindringwiderstand aus. LIEBHARD et al. (1995) folgern aus ihren Untersuchungen, dass Messungen des Bodeneindringwiderstandes mit einem Penetrologger zur Charakterisierung des Durchwurzelungswiderstandes geeignet sind. Gleichwohl bestehe ein großer Unterschied zwischen der Bodendurchdringung der Metallspitze eines Penetrologgers und den Verhältnissen beim Wurzelwachstum im Boden.

Nach FRIELINGHAUS et al. (2002) existiert eine enge Korrelation zwischen der Lagerungsdichte, der Wurzelanzahl und der Durchwurzelungstiefe. Angesichts oft niedriger Nährstoffkonzentrationen in ökologisch bewirtschafteten Böden ist hier eine gute Durchwurzelung von besonderer Bedeutung gegenüber solchen Systemen, die die Möglichkeit haben, schnelllösliche Dünger zu verabreichen. Da im Feldversuch Gladbacherhof keine Erhebungen zum Wurzelwachstum durchgeführt wurden, können jedoch keine Aussagen darüber getroffen werden, ob die bodenphysikalischen Parameter unmittelbar Einfluss auf das Pflanzenwachstum genommen haben.

KOCH et al. (2007) berichten, dass von den eng korrelierten Parametern Eindringwiderstand, Lagerungsdichte, Luftkapazität und Pneumatische Leitfähigkeit der Ein-

dringwiderstand die engste Beziehung zum Ertrag aufweist. Die Autoren ermittelten dies allerdings aus Versuchen mit *Beta vulgaris* var. *altissima* (Zuckerrübe), die sehr sensitiv auf bodenphysikalische Bedingungen reagiert.

4.3.1.3 Bodenchemische Parameter

Auf die Bedeutung der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium für die Bodenfruchtbarkeit und welchen Einfluss die 3 Betriebssysteme darauf nehmen, wurde bereits in Kap. 4.2 hingewiesen. Besonders prägend für die Ertragsbildung ist die N-Dynamik bzw. der direkt pflanzenverfügbare CaCl_2 -lösliche Anteil an Stickstoff in Ackerkrume und Unterboden.

Im System GM-V mit Viehhaltung waren die $N_{\min}$ -Gehalte unter und nach dem Luzerne-Klee gras sehr niedrig, in der 2. Hälfte der Rotation dann zunächst sehr hoch (s. Abb. 3-12). Für das viehlose System VL-GB wurden nur kurzfristig im Grünbrachejahr niedrige Werte ermittelt. Im reinen Marktfruchtsystem VL-MF führten die Körnerleguminosen *V. faba* und *P. sativum* nicht zu einer direkten Steigerung der $N_{\min}$ -Gehalte. Im Durchschnitt der 6 Frühjahrsbeprobungen ergab sich die Abstufung $\text{VL-GB} \geq \text{VL-MF} > \text{GM-V}$ (s. Tab. 3-28).

Bestätigt werden diese Resultate durch RUHE et al. (2003), die beim Vergleich mehrerer Fruchtfolgen die höchsten $N_{\min}$ -Gehalte im Frühjahr nach gemulchtem Klee gras, und infolgedessen die höchsten Getreideerträge in diesem System fanden gegenüber einer Variante mit schnittgenutztem Klee gras. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen SCHAUB et al. (2007) bei der Gegenüberstellung dreier Betriebstypen. Diese Autoren führen aber weiter aus, dass das hohe N-Versorgungsniveau nach gemulchtem Klee gras im Verlauf der Fruchtfolge nicht aufrecht erhalten werden kann, da keine Applikation von tierischen Ausscheidungen wie in den Vergleichssystemen mit Viehhaltung stattfindet.

Die hohen $N_{\min}$ -Gehalte nach Grünbrache in den zitierten Versuchen und den eigenen Untersuchungen sind durch das enge C/N-Verhältnis der Mulchmaterialien erklärbar. Im Feldversuch Gladbacherhof wurde hier im Durchschnitt der 4 Mulchtermine ein Verhältnis von 16:1 ermittelt, für das Ackerbohnenstroh in VL-MF 41:1. Mit dem 2-jährigen schnittgenutzten Luzerne-Klee gras werden in Verbindung mit der Rottemistdüngung vermehrt Dauerhumusformen angelegt, die nur sehr zögerlich mineralisierbar sind. ALVERMANN (2010) verweist in diesem Zusammenhang auf die träge N-Dynamik schwerer Böden mit mehr als 25 % Tonanteil.

FREYER et al. (2009) beschreiben ebenfalls eine kurzfristig geringere N-Nachlieferung in einem System mit Stallmistdüngung gegenüber 2 Varianten mit Luzerne-Mulchnutzung. Die Nachfrucht *T. aestivum* erbrachte in der Variante mit Viehhaltung einen deutlich niedrigeren Ertrag. Im Laufe der Rotation glich sich das Ertragsniveau allerdings wieder aus, weil die Erträge folgender Druschfrüchte mit Stallmist-

düngung höher waren. Die Autoren kommen für das System mit Stallmist zu der Bewertung, dass die N-Zufuhr zwar geringer ist, aber dass der Stickstoff optimal ausgenutzt und in Ertrag umgesetzt wird. Der hohe N-Input in den beiden viehlosen Systemen des Versuchs von FREYER et al. (2009) lässt sich dadurch erklären, dass auch die gemulchten Luzernebestände 2-jährig waren, was für viehlose Betriebe unüblich ist.

Im Feldversuch Gladbacherhof wird die unterschiedliche Stickstoffausnutzung in der N-Systemverwertung deutlich, die in folgender Reihenfolge sinkt: GM-V (82 %) > VL-GB (72 %) > VL-MF (64 %) [s. Tab. 3-18]. In Zukunft ist für den Dauerfeldversuch zu erwarten, dass sich mit der Einstellung eines neuen Fließgleichgewichts im Humushaushalt die N-Mineralisierung im System GM-V erhöhen wird. In den beiden viehlosen Systemen ist dagegen eher mit einer geringeren Mineralisierung zu rechnen, wenn die Humusgehalte weiter abgesunken sind.

Die Auswirkungen der 3 Betriebssysteme auf maßgebliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Zum Ende der 2. Rotation, nach 11-jähriger Versuchsdauer, beschränken sich die Unterschiede der quantitativen Humus-Indikatoren auf die Ackerkrume. Im System mit Viehhaltung GM-V finden sich höhere C_{org} -Massen im Umfang von ca. 6.000 kg ha^{-1} und höhere N_t -Massen von etwa 600 kg ha^{-1} gegenüber dem reinen Marktfruchtsystem VL-MF (s. Tab. 3-21). Das entspricht einer größeren Humusmasse von knapp 11 t ha^{-1} . Das Grünbrachesystem VL-GB nimmt eine Mittelstellung ein.

Die niedrigeren Werte der bodenphysikalischen Parameter Trockenrohdichte (s. Abb. 3-8) und Eindringwiderstand (s. Tab. 3-26) im System GM-V belegen eine geringere Kompaktheit des Oberbodens im Vergleich zu den beiden viehlosen Systemen.

Das schnittgenutzte 2-jährige Luzerne-Kleegrass und die Rottemistdüngungen im System GM-V führen zu hohen Mengen relativ langsam mineralisierbarem organisch gebundenem Stickstoff gegenüber dem gemulchten 1-jährigen Luzerne-Kleegrass in VL-GB. Im Mittel führt dies in der Bodenschicht 0 – 90 cm zu einem niedrigeren Gehalt an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff im Frühjahr von 31 kg N ha^{-1} (GM-V) gegenüber 50 kg N ha^{-1} (VL-GB). Mit 42 kg N ha^{-1} nimmt das reine Marktfruchtsystem (VL-MF) eine Mittelstellung ein (s. Tab. 3-28).

4.3.2 Einfluss der 4 Bodenbearbeitungssysteme

4.3.2.1 Humushaushalt

Die Relevanz des Zusammenhangs zwischen Bodenbearbeitung und Humushaushalt wird in der aktuellen Diskussion über die C-Sequestrierung immer wieder deutlich. Schon LEITHOLD & HÜLSBERGEN (1997) halten es für notwendig, die Humusbilanzkoeffizienten an die unterschiedliche Intensität der Bodenbearbeitung anzupassen.

Im Feldversuch Gladbacherhof sind hinsichtlich der Bodenbearbeitungssysteme bei den quantitativen Humus-Indikatoren C_{org} - und N_t -Massen keine Unterschiede in der Gesamtheit der Ackerkrume feststellbar (s. Tab. 3-21). In dem pfluglosen System SR30/15 kommt es jedoch zu einer Anreicherung der organischen Bodensubstanz in der Oberkrume. In der Bodenschicht 30 – 60 cm weist die Variante P30 höhere Humusmengen auf als alle anderen Varianten.

Über die beschriebene vertikale Differenzierung der Humusgehalte in der Krume bei reduzierter Intensität der Bodenbearbeitung herrscht weitgehend Einigkeit unter den Berichterstellern (BÖHM & AHRENS, 1989; HÜTSCH & MENGEL, 1989; GROCHOLL, 1991; SCHMIDT et al., 2006; EMMERLING, 2007; CHEN et al., 2009, SCHMIDT, 2011).

Die Resultate verschiedener Autoren zu Humusmengen in der Gesamtheit der jeweils beprobten Bodenschichten differieren jedoch sehr stark. So ermittelten MANOJLOVIĆ et al. (2008) keine Unterschiede der C_{org} -Massen in der Bodenschicht 0 – 40 cm beim Vergleich von Pflug, Grubber und Scheibenegge. Auch BAI (2008) fand bei der Gegenüberstellung von 5 Bodenbearbeitungssystemen keine signifikanten Abweichungen der C_{org} -Massen für eine Bodentiefe von ca. 60 cm. Ebenso berichten BAKER et al. (2007) nach der Auswertung zahlreicher Versuche, dass es durch reduzierte Bodenbearbeitung nicht zu einer Humusanreicherung komme.

Andere Autoren konstatieren dagegen sehr wohl eine Akkumulation an organischer Bodensubstanz über die Gesamtheit der analysierten Bodenschichten (KAINZ et al., 2005; EMMERLING, 2007; BERNER et al., 2009; CHEN et al., 2009).

SCHMIDT (2010b) schlussfolgert, dass es nicht eindeutig geklärt ist, ob eine reduzierte Bodenbearbeitung insgesamt zu einer steigenden Humusmenge im Boden führt.

BAKER et al. (2007) kommen zu der Auffassung, dass die Untersuchungen tieferer Bodenschichten in vielen Versuchen vernachlässigt würde. Dadurch entstünden Fehlinterpretationen. ELLERT & BETTANY (1995) weisen darauf hin, dass zur Berechnung der Humusmengen unbedingt die Lagerungsdichte hinzugezogen werden sollte. In ihren Untersuchungen verwenden sie außerdem „äquivalente Bodenmassen“, um verschiedene Bodenbearbeitungssysteme zu vergleichen.

APPEL et al. (2008) verwenden in dieser Hinsicht den Begriff der „Referenztiefe“, mit dessen Hilfe die verschiedenen C_{org} -Massen erst berechnet werden könnten. KRAWUTSCHKE (2007) untersuchte 7 Standorte mit Dauerfeldversuchen zur reduzier-

ten Bodenbearbeitung und fand hinsichtlich der Humusanreicherung teilweise Vorteile, aber auch Nachteile der reduzierten Bodenbearbeitung. Den Humushaushalt beeinflussen neben der Bodenbearbeitung außerdem die Standortbedingungen wie Klima und Bodenart und alle Bewirtschaftungsmaßnahmen.

In der 3. Rotation des Dauerfeldversuchs Gladbacherhof soll die Aufmerksamkeit verstärkt auf die Untersuchungen der Bodenschichten unterhalb der Krume gerichtet werden. Dies scheint umso mehr geboten, als der Standort sehr tiefgründig ist und durch den Anbau der tief wurzelnden Luzerne ein großer Einfluss auf diese Bodenschicht anzunehmen ist.

Schon KUNDLER (1984) ist der Ansicht, dass die Schichten unterhalb des Ap-Horizonts mehr Beachtung in Bezug auf Fruchtbarkeit bestimmende Bodeneigenschaften erlangen werden.

Im Feldversuch Gladbacherhof wurde hinsichtlich der qualitativen Indikatoren der organischen Bodensubstanz eine deutliche Analogie zu den Humusgehalten gefunden. Die Messungen der mikrobiellen Biomasse (MBM) (s. Tab. 3-22) und der Dehydrogenase-Aktivität (DHA) (s. Tab. 3-23 und 3-24) weisen in der Oberkrume 0 – 12 cm auf eine höhere biologische Aktivität, besonders in der pfluglosen Variante SR30/15 gegenüber P30, hin. In der Unterkrume 17 – 25 cm wurden umgekehrte Verhältnisse gefunden. Die beiden Systeme ZP30/15 und P15 nahmen Mittelstellungen ein.

Die Relationen verdeutlichen, warum die gewählten Untersuchungsparameter als sensitiv bezeichnet werden. Bei insgesamt sehr großen Schwankungen unterschieden sich die 4 Bodenbearbeitungssysteme teilweise deutlich stärker als bei den quantitativen Parametern C_{org} und N_t .

Eine enge Korrelation zwischen mikrobiellen Parametern und dem Humusgehalt stellen auch HOFMANN et al. (2003) und EMMERLING (2007) heraus.

Eine höhere biologische Aktivität in der obersten Bodenschicht bei reduzierter Bodenbearbeitung ermittelten FERNAU & AHRENS (1992) im Hinblick auf DHA, CO_2 -Entwicklung und Kolonien bildende Bakterien, BERNER et al. (2009) in Bezug auf MBM und DHA und EMMERLING (2007) hinsichtlich MBM, Bodenatmung und Ergosterolgehalt. Nach dem letztgenannten Autor zeigt dies eine Akkumulation des aktiven Pools der organischen Bodensubstanz in der Oberkrume an.

Während einige Autoren (EMMERLING, 2007; BERNER et al., 2006) hinsichtlich der mikrobiellen Aktivität in der Unterkrume keine Unterschiede zwischen verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten feststellen, bestätigen PAFFRATH & STUMM (2010) die Ergebnisse aus dem Feldversuch Gladbacherhof. Auch HOFMANN et al. (2003) berichten in Bezug auf C_{hwl} , MBM, β -Glucosidase und Katalaseaktivität von höheren Werten in der Oberkrume einer Grubbervariante. In der Unterkrume sei deren Quantum dagegen in der Pflugvariante höher.

Im Feldversuch Gladbacherhof führen die günstigen Verhältnisse des pfluglosen Systems SR30/15 bezüglich der quantitativen und qualitativen Indikatoren des Humushaushalts mit Sicherheit zu Vorteilen bei der Aggregatstabilität, der Infiltration, der Infiltration und der Erosionsneigung. Andererseits ist aber auch anzunehmen, dass sich die Konzentration günstiger Wachstumsbedingungen auf die Oberkrume in suboptimalen Phasen, z. B. durch Wassermangel, eher nachteilig für das pfluglose System auswirkt. SCHWEIGER et al. (2009) führen an, dass Pflanzenwurzeln in den oberen Bodenschichten besonders zur Nutzung von Nährstoffen dienen. Tief reichende Wurzeln trügen vor allem zur Wasserversorgung in Phasen mit Trockenstress bei.

Somit dürften sich Vorteile für Systeme mit Bodenwendung bzw. mit günstigen Bedingungen auch in tieferen Schichten, besonders unter Bedingungen mit ausgetrockneter Oberkrume, ergeben. Dies könnte eine Erklärung für die normalerweise geringeren Erträge des pfluglosen Systems sein, während sich im Jahr 2008 mit optimalen Bedingungen ($N_{\min}$ -Gehalte und Witterung) zu *T. aestivum* kein Minderertrag ergab.

4.3.2.2 Bodenphysikalische Parameter

Die Ergebnisse zur Trockenrohdichte (s. Abb. 3-9) weisen einen lockereren Boden der Oberkrume und einen kompakteren in der Unterkrume im pfluglosen System SR30/15 gegenüber den anderen Varianten nach. In der Oberkrume verhalten sich die Trockenrohdichten analog zu den Parametern des Humushaushalts (s. Tab. 3-21, 3-23 und 3-24). Die Eindringwiderstände der Bodenschicht 0 – 40 cm steigen in der Reihenfolge $P30 = ZP30/15 < P15 < SR30/15$ (s. Tab. 3-26).

Zu vergleichbaren Resultaten hinsichtlich der Kompaktheit des Bodens bei reduzierter Bodenbearbeitung kommen u. a. DEBRUCK (2001), KAINZ et al. (2003), EMMERLING (2007) und CHEN et al. (2009).

Besondere Bedeutung haben diese Bodenverhältnisse für das Pflanzen- bzw. Wurzelwachstum in der Jugendphase der Pflanzen. So folgern BERNER et al. (2006), dass das Bodenwasser im Frühjahr in der Pflugvariante besser abfließen kann und dass es zu einer schnelleren Bodenerwärmung kommt. Daraus resultierten größere Wurzellängendichten in 5 – 20 cm Tiefe.

BAKER et al. (2007) sehen die Bodentemperatur als eine Schlüsselfunktion für das Wurzelwachstum an. Schon relativ geringe Temperaturunterschiede könnten Wachstumsunterschiede um ein Vielfaches bewirken.

VAKALI & KÖPKE (2001) ermittelten sehr enge Korrelationen zwischen Eindringwiderstand und Wurzel-dichte. Für eine Pflugvariante maßen sie in der Krume (0–30 cm) und darunter höhere Wurzel-dichten als bei pflugloser Bewirtschaftung. Sie führen

infolgedessen den höheren Kornertag auf eine größere Wurzeloberfläche und eine verbesserte Nährstoffaufnahme zurück.

DEBRUCK (2001) sieht die Ursache für Ertragsabfälle bei reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau in einer höheren Lagerungsdichte und einer daraus resultierenden ungünstigeren Nährstoffdynamik.

Dabei scheint einer lockeren Bodenstruktur im Biolandbau eine größere Bedeutung zuzukommen als im konventionellen Landbau, wo die Möglichkeit der Applikation schnelllöslicher N-Dünger besteht. So stellten WILD et al. (2011) schon bei einer relativ geringen Erhöhung der Trockenrohdichte auf einem Niveau, das noch nicht als Schadverdichtung bezeichnet werden kann, bereits Mindererträge fest.

Bei landwirtschaftlich genutzten Böden kommt es durch die so genannte Sackungsverdichtung, d. h. durch das Eigengewicht des Bodens, und nach dem Befahren mit Maschinen zu einer Zunahme der Lagerungsdichte. Infolgedessen ändert sich das vorwiegend vertikale Porensystem in ein horizontales (BRÜMMER, 2002). Nach HORN (2002) hat die Bildung von Plattengefügen im Boden die Folge, dass die laterale Wasserleitfähigkeit im Vergleich zur vertikalen steigt. Außerdem sei die kapillare Wassernachlieferung aus dem Untergrund vermindert.

Bei der Übertragung der aus dem Feldversuch gewonnenen Erkenntnisse auf Praxis-schläge sollte jedoch beachtet werden, dass in dem Versuch weitgehend auf schwere Erntemaschinen, durch die eine Beeinträchtigung der Bodenstruktur eintreten könnte, verzichtet wurde.

Durch die Einbettung von Bodenblöcken in katalysiertem Polyesterharz und anschließender Herstellung von Bodenschliffen konnte WILKENS (1992) die Bodenporenverteilung bei verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen sehr genau charakterisieren. Bei einer Flügelschar/Rotoregge-Variante traten in der Unterkrume zwar vertikale lange Risse und Spalten auf, verursacht durch den Flügelschargrubber. Die Gesamtporenfläche lag aber nur bei ca. 58 % derjenigen Fläche der Pflugvariante. In der Bodenschicht 30 – 40 cm kam es sogar zu horizontalen Verdichtungsrisen durch Pressen der Flügelschare.

Im Rahmen desselben BMFT-Verbundvorhabens stellen FREDE et al. (1992) fest, dass der höhere Anteil an Luft gefülltem Porenvolumen im Oberboden des Pflugsystems zu besseren Diffusionsbedingungen führt.

Mehrfach wird das Problem der Dichtlagerung bei reduzierter Bodenbearbeitung auf (feinsandigen) Schluffböden, wie sie auch auf dem Versuchsstandort Gladbacherhof vorliegen, erwähnt (u. a. DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, 1994; BRÖCKER & MORITZ, 2010). Welche Lösungsansätze bieten sich nun zur Behebung dieser Dichtlagerungen an?

KÖLLER (2001) führt aus, dass es bei konservierender Bodenbearbeitung nur anfänglich zu einer Erhöhung der Lagerungsdichte komme. Nach dem Anstieg der Humusgehalte nehme diese wieder ab.

Bei der Durchführung von mechanischen Lockerungseingriffen ist unbedingt auf eine ausreichende Abtrocknung des Bodens zu achten. FRIEDRICH et al. (2002) geben in dieser Hinsicht einen Grenzwert von 50 % der nutzbaren Feldkapazität an. BRÖCKER & MORITZ (2010) empfehlen, zur Dichtlagerung neigende Problemböden bei reduzierter Bodenbearbeitung periodisch zu pflügen. In Bezug auf das Vorhaben, dichte Bodenzonen aufzubrechen, folgert SCHMIDT (2011) aus seinen Untersuchungen, dass eine tiefe mechanische Lockerung keine dauerhafte Erhöhung des Porenvolumens bewirkt.

Die Kompaktheit in der Unterkrume bei reduzierter Bodenbearbeitung bedeutet aber auch eine höhere Tragfähigkeit. HARRACH (2011) plädiert sogar dafür, nicht periodisch zu pflügen, um die aufgebauten vertikalen Leitbahnen nicht zu zerstören.

Für den Feldversuch Gladbacherhof kann aus dem verminderten Auftreten von *C. arvensis* (L.) Scop. (Ackerkratzdistel) seit Mitte der 2. Rotation und aus Untersuchungen mithilfe der Spatendiagnose gefolgert werden, dass eine deutliche Neuausrichtung und Verbesserung der Bodenstruktur im pfluglosen System SR30/15 stattgefunden hat. Diese Verhältnisse sollten weiterhin beobachtet und unterstützt werden. Ein weiterer Forschungsbedarf besteht aber auf jeden Fall hinsichtlich der gleichmäßigen Lockerung der Unterkrume bei pflugloser Bodenbearbeitung, die über das Verfahren mit breiten Flügelscharen hinausgeht.

4.3.2.3 Bodenchemische Parameter

Die 4 Bodenbearbeitungssysteme wirken sich nicht differenzierend auf die Höhe der CAL-extrahierbaren Gehalte an den Hauptnährstoffen Phosphor, Kalium und Magnesium aus. Allerdings ist für das pfluglose System SR30/15 bei Kalium eine gewisse Stratifikation in Form einer Anreicherung in der Oberkrume feststellbar.

Für das im Frühjahr einsetzende Pflanzenwachstum sind die Gehalte an mineralischem Stickstoff im Boden besonders wichtig. Im System SR30/15 sind diese oft am niedrigsten (s. Abb. 3-13 bis 3-15), was auch im Mittelwert von 6 Frühjahrsbeprobungen deutlich wird (s. Tab. 3-29).

Über eine Anreicherung der Pflanzennährstoffe, besonders von Kalium, in der Oberkrume berichtet auch SCHMIDT (2010a) nach einer Untersuchung von 15 Betrieben mit reduzierter Bodenbearbeitung. BISCHOFF et al. (2007) ermittelten ein Konzentrationsgefälle von Phosphor in Richtung der Unterkrume bei Pflugverzicht. Allerdings wurde dies in zwei konventionellen Dauerfeldversuchen, in denen Triplesuperphosphat appliziert wurde, festgestellt.

Höhere $N_{\min}$ -Gehalte im Frühjahr fanden auch KRATZSCH et al. (2008), im Durchschnitt 20 % bzw. 19 kg N ha^{-1} , und HARRACH & RICHTER (1992) jeweils in der Pflugvariante. KAHNT (2008) führt allgemein aus, dass die Nährstoffmobilisierung umso höher ist, je tiefer die Bodenbearbeitung durchgeführt wird.

KAINZ et al. (2003) führen die geringere N-Verfügbarkeit bei reduzierter Bodenbearbeitung auf kühlere Böden zurück. SCHLÜTER (2002) begründet die schnellere Erwärmung gepflügten Bodens mit der stärkeren Absorption langwelliger Strahlung aus dem Sonnenlicht. Die von ihm beobachtete Temperaturerhöhung von 0,5 bis 1,0 °C wirkte sich sogar noch in einer Bodentiefe von 25 cm aus und machte sich in einer schnelleren Jugendentwicklung der Kulturpflanzen bemerkbar.

Durch eine N-Düngung, die nur in der Variante reduzierte Bodenbearbeitung, nicht aber bei Pflugeinsatz, zu einer Ertragssteigerung führte, wiesen MÄDER et al. (2011) nach, dass eine verzögerte N-Mineralisierung im Frühjahr die Ursache für geringere Erträge beim Pflugverzicht sein kann.

KÖLLER (2001) zieht aus der Tatsache des ungestörten kapillaren Wasseraufstiegs bei reduzierter Bodenbearbeitung den Schluss, dass diese Böden feuchter und kühler seien und die Mineralisierungsrate infolgedessen verlangsamt sei. KÖPKE (2003) folgert aus einer intensiv lockernden und wendenden Bodenbearbeitung und dem damit einhergehenden hohen Anteil Luft führender Poren, dass es zu einer rascheren Erwärmung der Böden im Frühjahr und zu einer frühzeitigen N-Freisetzung kommt. Und so ermittelten SCHMIDT et al. (2007) eine enge Korrelation zwischen $N_{\min}$ -Gehalten und der Pflugtiefe.

Eine geänderte N-Dynamik bei reduzierter Bodenbearbeitung wird nach KÖLLER (2001) in steigenden Humusgehalten deutlich. Die höhere Menge an organisch gebundenem Stickstoff führe zu niedrigeren $N_{\min}$ -Gehalten. HARRACH & RICHTER (1994) weisen aber darauf hin, dass nach Erreichen eines neuen Humus-Fließgleichgewichts gleiche Nährstoffmengen mineralisiert werden. Bei reduzierter Bodenbearbeitung ergebe sich dies aus geringeren Mineralisierungsraten je Einheit organischer Bodensubstanz, aber höheren Humusgehalten als beim Einsatz des konventionellen Pfluges.

Im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch Gladbacherhof ist nach bisher 11-jähriger Versuchsdauer keine Erhöhung der Humusmenge bei reduzierter Bodenbearbeitung vorzufinden. Daher bleibt festzuhalten, dass sich hinsichtlich des für die Bodenfruchtbarkeit wichtigen Parameters mineralischer Stickstoff im Frühjahr ungünstigere Bedingungen im pfluglosen System SR30/15 gegenüber allen Systemen mit Bodenwendung ergeben haben.

Die Auswirkungen der 4 Bodenbearbeitungssysteme auf maßgebliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die 4 Bodenbearbeitungssysteme wirken sich nicht differenzierend auf die Humusmassen in der Gesamtheit der Ackerkrume aus. Gegenüber den Systemen mit Bodenwendung kommt es jedoch im pfluglosen System SR30/15 zu einer Anreicherung an organischer Substanz in der Oberkrume (s. Tab. 3-21).

Mit der Reduzierung der Eingriffsintensität wird der Boden besonders in der Unterkrume zunehmend kompakter. Dies wird in den bodenphysikalischen Parametern Trockenrohdichte (s. Abb. 3-9) und Eindringwiderstand (s. Tab. 3-26) deutlich.

Durch eine langsamere Bodenerwärmung im Frühjahr ist die Mineralisation im pfluglosen System SR30/15 träge. Im Mittel führt dies in der Bodenschicht 0 – 90 cm zu einem um 25 % niedrigeren Gehalt an CaCl_2 -extrahierbarem mineralischen Stickstoff (s. Tab. 3-29) im Vergleich zu den Systemen mit Bodenwendung. Dies dürfte, in Verbindung mit der oben genannten höheren Lagerungsdichte insbesondere in der Unterkrume, eine maßgebliche Ursache für die geringeren Erträge in der pfluglosen Variante gegenüber den Systemen mit Pflugeinsatz sein.

4.4 Umweltwirkungen

4.4.1 Einfluss der 3 Betriebssysteme

In diesem Kapitel soll die Frage diskutiert werden wie sich die verschiedenen Bewirtschaftungssysteme auf die Umwelt auswirken. Angesichts einer zunehmenden Sensibilisierung der Öffentlichkeit für Umweltprobleme und der Tatsache, dass die Agrarwirtschaft einen flächenmäßig hohen Anteil der Ökosysteme nutzt, ist diese Frage immens wichtig. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit können zu den drei Aspekten N-Dynamik, C-Sequestrierung und Segetalflora Aussagen getroffen werden.

4.4.1.1 N-Dynamik

Stickstoff ist abgesehen von seiner Rolle als bedeutender Pflanzennährstoff ein Risikofaktor, da umweltrelevante hydrosphärische und atmosphärische Verluste auftreten können. Direkte Messungen dieser Verlustwege wurden jedoch nicht vorgenommen.

Die ermittelten N-Salden inklusive ΔN_t im Boden für die gesamte 2. Rotation, also für einen Zeitraum von jeweils 6 Jahren (s. Tab. 3-18), stiegen in der Reihenfolge GM-V (245 kg N ha^{-1}) → VL-BG (393 kg N ha^{-1}) → VL-MF (472 kg N ha^{-1}). Im System GM-V mit Viehhaltung fand eine Akkumulation von Humus-N statt, in den beiden viehlosen Systemen ein Abbau (s. Abb. 3-3). Die mittleren $N_{\min}$ -Gehalte der Bodenschicht 0 – 90 cm im Herbst (s. Tab. 3-28) fallen in der Reihenfolge VL-GB ($35,5 \text{ kg N ha}^{-1}$) → GM-V ($31,9 \text{ kg N ha}^{-1}$) → VL-MF ($24,7 \text{ kg N ha}^{-1}$).

Die Anforderungen der Düngeverordnung (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2009) sind somit für alle 3 Betriebssysteme erfüllt, da die N-Überschüsse $60 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nicht

übersteigen. Zum Vergleich sind die in Tab. 3-18 aufgeführten N-Salden 2004 – 2009 ohne ΔN_t im Boden heranzuziehen.

Nach HEUWINKEL (2007) sind N-Bilanzen und daraus abgeleitete Systembewertungen oft mit großen Fehlern behaftet. Eine Problematik, so auch im Feldversuch Gladbacherhof, ist die Abschätzung der legumen N_2 -Fixierung. Die Haupteinflussfaktoren, Ertrag und Leguminosenertragsanteil (s. Formel 2.4 auf S. 29), wurden zwar exakt bestimmt. Eine größere Genauigkeit, allerdings auch mit unvermeidbar höherem Aufwand, hätte aber mit der N-Differenzmethode oder der Isotopenverdünnungsmethode erreicht werden können. Eine Unsicherheit stellt auch die Bewertung der unterirdischen Pflanzenteile dar. Die ermittelten Ergebnisse sind allerdings sehr stringent, da die N-Bilanzgrößen mit den N_t -Reihen im Einklang stehen (vgl. Abb. 3-3).

Einen großen Einfluss auf die N-Dynamik übt die Wahl der angebauten Leguminosen und deren Bewirtschaftung aus. So stellen LOGES & TAUBE (2007) fest, dass NH_4 - und N_2O -Verluste bei gemulchten Klee-grasbeständen größer sind als bei schnittgenutzten. SCHMIDT (1997) kalkuliert im Rahmen von Stickstoffbilanzen mit gasförmigen N-Verlusten aus dem Klee-grasmulch von 0 – 0,3 % pro Tag.

Eine Alternative zur Grünbrache für viehlose Betriebe könnte die Einrichtung einer Biogasanlage sein. Durch die Abfuhr der Luzerne-Klee-gras-Aufwüchse werden N-Verluste aus dem Mulchmaterial vermieden. Außerdem steht ein flexibler N-Pool zur Düngung von Nicht-Leguminosen zur Verfügung und die N-Fixierleistung der Leguminosen wird erhöht (STINNER, 2011). Auch der Verkauf oder Tausch der Aufwüchse im Rahmen einer Futter-Mist-Kooperation wäre denkbar. Weitere Möglichkeiten zur Integration von kleinkörnigen Leguminosen in Fruchtfolgen viehloser Betriebe wäre der Weitreihen-anbau (BECKER, 2007; LEITHOLD & BECKER, 2011) oder die Saatgutvermehrung von *M. sativa* oder *Trifolium*-Arten.

Für eine Systembewertung hinsichtlich klimarelevanter Gasfreisetzungen müsste weiterhin die Bildung von Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2), die bei dem mikrobiellen Abbau von Kohlenhydraten im Verdauungstrakt der Wiederkäuer entstehen, berücksichtigt werden. Im Rahmen des Feldversuchs Gladbacherhof wurden aber weder diese Begleiterscheinung der Tierhaltung noch die gasförmigen N-Verluste des Ackerlands gemessen. Zur Präzisierung der Bewertungsgrundlagen sind solche Untersuchungen in Zukunft wünschenswert und stellen einen weiteren Forschungsbedarf dar.

Die N_{min} -Gehalte im Herbst sind zwar nur Momentaufnahmen, trotzdem fungieren sie als wichtiger Indikator für das N-Verlustpotential während der Sickerwasserperiode. Hohe Gehalte an mineralischem Stickstoff im Herbst können in Abhängigkeit von den pedologischen Grundlagen zu hohen N-Verlusten führen.

Im Durchschnitt der Jahre 2000, 2001 und 2003 ermittelten schon SCHMIDT et al. (2006) für den Feldversuch Gladbacherhof das niedrigste Verlustpotential für das reine Marktfruchtssystem VL-MF. Die Ursache ist hier offensichtlich der geringe N-Input dieser Wirtschaftsweise (s. Tab. 3-18).

Im System GM-V mit Viehhaltung können die hohen Rottemistgaben 2000 und 2006 mit nachfolgend jeweils geringen Kartoffelerträgen als Ursache für die hohen $N_{\min}$ -Gehalte vor den Sickerwasserperioden angesehen werden. Für das viehlose System VL-GB führen die leicht mineralisierbaren Aufwüchse des gemulchten Luzerne-Kleeegrases zu hohen $N_{\min}$ -Gehalten im Herbst. In einem anderen Feldversuch am Standort Gladbacherhof mit verschiedenen viehlosen Betriebssystemen ermittelte STINNER (2011) ebenfalls sehr hohe Gehalte an mineralischem Stickstoff nach *S. tuberosum*. Zur Vermeidung hoher Nitratverluste würde sich hier für Praxisbetriebe die Wahl früh räumender Kartoffelsorten anbieten. Danach könnten Winterungen mit der Fähigkeit zur Aufnahme hoher N-Mengen noch vor Winter angebaut werden. Um die verschiedenen Betriebssysteme des Feldversuchs Gladbacherhof hinsichtlich der N-Auswaschung genauer zu bewerten, müssten z. B. Messungen der N-Fracht im Sickerwasser mithilfe von Saugkerzen vorgenommen werden.

4.4.1.2 C-Sequestrierung

Aufgrund der anthropogenen Kohlendioxid-Anreicherung in der Erdatmosphäre und des damit einhergehenden globalen Klimawandels gibt es vielfältige Bestrebungen zur Reduzierung der CO_2 -Emissionen. Im Kohlenstoffzyklus könnten neben Wäldern auch landwirtschaftlich genutzte Flächen als CO_2 -Senken fungieren, indem photosynthetisch fixierter Kohlenstoff gespeichert wird.

Im Betriebssystem GM-V mit Viehhaltung wurde in der Bodenschicht 0 – 30 cm eine C-Akkumulation von $233 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ermittelt (s. Abb. 3-2). In den beiden viehlosen Systemen VL-GB ($-158 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und VL-MF ($-407 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) fand hingegen ein Humusabbau statt.

Dass die Zuführung von organischem Dünger eine Steigerung der Mengen an organischer Substanz, bzw. an Kohlenstoff, bewirkt, wird in zahlreichen Versuchen nachgewiesen (DRINKWATER et al., 1998; LIPAVSKÝ et al., 2008; MANOJLOVIĆ et al., 2008; RAUPP et al., 2008). Hohe Humusgehalte finden sich vor allem in Betrieben mit einem hohen Anteil an Futterbau und mit Tierhaltung, niedrige Gehalte dagegen in Marktfruchtbetrieben mit einem hohen Anteil an Hackfrüchten, Gemüse und nachwachsenden Rohstoffen (KOLBE, 2007a).

MCLAUGHLIN et al. (2002) berichten weiterhin, dass hohe Mistgaben zu einer Verbesserung der Bodenstruktur und zu einem reduzierten Energieeinsatz für die Bodenbearbeitung führen. Dadurch wird der Ausstoß von CO_2 gesenkt.

Nach Berechnungen von ENGELMANN (2010) sinken die Humusbilanzsalden verschiedener Betriebstypen in Abhängigkeit von der Tierhaltung in der Reihenfolge Milchviehbetrieb ($1,7 \text{ GV ha}^{-1}$: $797 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) $\rightarrow$ Schweinezuchtbetrieb ($0,5 \text{ GV ha}^{-1}$: $200 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) $\rightarrow$ viehloser Betrieb (18 % Grünbrache: $187 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Ein Fallbeispiel soll das Potential der C-Sequestrierung von Ackerland demonstrieren: Deutschlandweit wurden 2009 CO_2 -Mengen in Höhe von 765 Mio. t emittiert (UMWELTBUNDESAMT, 2010). Wenn von den 12 Mio. ha Ackerland (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011) in Deutschland 10 % in ihrer Bewirtschaftung umgestellt würden und es zu einer Humusanreicherung wie im System GM-V käme, ließen sich dadurch jährlich ca. 1 Mio. t CO_2 sequestrieren. Dies entspräche aber lediglich 0,13 % der jährlichen CO_2 -Emissionen.

Das Beispiel veranschaulicht das geringe Potential der landwirtschaftlichen Böden, als C-Senke zu fungieren. Außerdem muss bedacht werden, dass der Prozess der Humusakkumulation nur so lange anhält, bis sich ein neues Fließgleichgewicht zwischen Aufbau und erneuter Mineralisation eingestellt hat.

Für den Feldversuch Gladbacherhof gelten die bisherigen Ausführungen nur für den Bereich der Krume 0 – 30 cm unter der Annahme, dass in tieferen Schichten keine Änderungen der Humusmengen auftreten. Im weiteren Versuchsablauf sollen auch die tieferen Bodenlagen eine stärkere Berücksichtigung finden.

4.4.1.3 Segetalflora

Aus Sicht des Umweltschutzes ist eine hohe Diversität von Flora & Fauna auch auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wünschenswert. Nach v. ELSSEN et al. (2011) gelten Agrarökosysteme jedoch als die am stärksten vom quantitativen und qualitativen Artenverlust betroffenen Biotoptypen. In diesem Zusammenhang sprechen sie von der „Nektarwüste Getreidefeld“. Infolgedessen sei auch die Tierwelt der Äcker stark zurückgegangen. Für den praktischen Landwirt steht z. B. die direkte negative Ertragswirksamkeit der Segetalflora im Vordergrund.

Im Feldversuch Gladbacherhof wurde in der Regel ein niedriges Niveau der Beikraut-Deckung (s. Tab. 3-31) und der Abundanz der Begleitpflanzen ermittelt (s. Abb. 3-19, 3-20, 3-21). Es traten kaum Differenzierungen durch die Betriebssysteme auf.

Insgesamt kann die „Ackerwildkraut-Vegetation als floristisch stark verarmt“ bezeichnet werden, wie v. ELSSEN & HOTZE (2008) sie für einen intensiv ökologisch bewirtschafteten nordhessischen Standort beschreiben. Dabei ist die Stetigkeit einzelner Arten, z. B. *S. media* L. (Vogelmiere) oder *V. persica* Poir. (Persischer Ehrenpreis), hoch, aber deren Deckungsgrad gering. Mit keinem der untersuchten Be-

triebssysteme gelingt es jedoch Pflanzenarten wie *Agrostemma githago* L. (Kornrade) oder *Buplerurum rotundifolium* L. (Rundblättriges Hasenohr), die von HOFMEISTER & GARVE (1998) als gefährdet oder vom Aussterben bedroht eingestuft werden, zu fördern.

Hier wird ein gewisses Dilemma der Versuchsdurchführung deutlich: Einerseits wird eine intensive Beikrautregulierung durchgeführt, zum Teil exakter als dies in der großflächigen Praxis möglich ist, damit die Wirkungen der Segetalflora andere mögliche Effekte nicht überlagern. Andererseits wird dadurch die Aussagegüte zum Förderungspotential von Flora & Fauna der einzelnen Betriebssysteme stark eingeschränkt.

Innerhalb der einzelnen Fruchtfolgen ist jedoch eine „Fluktuation des Arteninventars der Segetalflora“ (v. ELSEN, 1996) feststellbar. Üblicherweise wird nach Luzerne-Klee gras eine geringere Individuenanzahl an Ackerwildkräutern und weniger blühende Individuen als nach anderen Feldfrüchten erwartet. SPRENGER (2005) begründet dies u. a. mit der allelopathischen Wirkung der Pflanzenrückstände. Auch durch die häufige Schnittnutzung kommen Begleitpflanzen nicht zur Blüte.

Gerade die Gemenge aus *M. sativa* und *Poaceen* in den Betriebssystemen GM-V und VL-GB würden aber die Möglichkeit zur Etablierung seltener Wildpflanzen bieten, deren Samen in die Saatgutmischung aufgenommen werden könnten. Dies würde jedoch seltenere Nutzungstermine bedingen, damit sowohl Nutz- als auch Begleitpflanzen zur Blüte gelangen. Dadurch könnten Invertebraten und Vertebraten, insbesondere Bodenbrüter, gefördert werden. Im System GM-V gehen späte Schnitttermine allerdings mit geringeren Grundfutterqualitäten einher. Hier tritt also ein Zielkonflikt zwischen Ökonomie und Ökologie auf, und es wird deutlich, dass auch intensiver Ökologischer Landbau zu Lasten der Umwelt gehen kann.

Die Auswirkungen der 3 Betriebssysteme auf die Umwelt lassen sich wie folgt zusammenfassen:

In einzelnen Jahren können bei allen 3 Systemen sehr hohe $N_{\min}$ -Gehalte im Herbst auftreten. Im reinen Marktfruchtsystem VL-MF besteht jedoch die geringste Gefahr von hydrosphärischen N-Verlusten in der Sickerwasserperiode im Vergleich zu den beiden anderen Wirtschaftsformen.

Im System GM-V findet eine C-Sequestrierung in Höhe von $+ 233 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ statt. Die beiden viehlosen Systeme führen dagegen zu einem C-Abbau im Boden von $- 158 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (VL-GB) bzw. $- 407 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (VL-MF).

Unterschiedliche Auswirkungen auf die Segetalflora wurden nicht festgestellt.

4.4.2 Einfluss der 4 Bodenbearbeitungssysteme

4.4.2.1 N-Dynamik

Der Einfluss der 4 Bodenbearbeitungssysteme auf den Humushaushalt und die N-Dynamik, besonders die $N_{\min}$ -Gehalte im Frühjahr, wurde schon in Kap. 4.3 erörtert. Spezielle N-Bilanzen wurden hinsichtlich der Bodenbearbeitung nicht berechnet, wohl aber die Trends der Boden- N_t -Gehalte in Form der N_t -Reihen.

Verglichen mit den Auswirkungen der 3 Betriebssysteme auf ΔN_t im Boden (s. Abb. 3-3) sind die Effekte der 4 Bodenbearbeitungssysteme deutlich geringer (s. Abb. 3-6). Der Status der Massen an Gesamtstickstoff in der Krume am Ende der 2. Rotation weist keine Differenzierung durch die Bodenbearbeitung auf (s. Tab. 3-21). Unterschiede im Unterboden sollen in der 3. Rotation intensiver untersucht werden.

Bei den $N_{\min}$ -Gehalten im Herbst, als Indikatoren für die Gefährdung mit Sickerwasser gebundenen N-Verlusten, wurden die niedrigsten Werte im pfluglosen System SR30/15 gefunden (s. Abb. 3-13, 3-14, 3-15). Eine abnehmende Eingriffsintensität in den Boden im Zuge der Grundbodenbearbeitung bewirkte eine signifikante Abnahme der $N_{\min}$ -Gehalte in 0 – 90 cm Bodentiefe (s. Tab. 3-29).

SCHMIDT et al. (2006) berichten schon darüber, dass die Betriebssysteme im Verlauf der 1. Rotation die $N_{\min}$ -Gehalte im Herbst stärker beeinflussen als die Bodenbearbeitung. Dies bestätigte sich ebenfalls für die 2. Rotation.

Die hohen $N_{\min}$ -Gehalte im Herbst im System P30 sind auch dadurch erklärbar, dass dies das einzige System ist, in dem im Herbst eine tiefe Primärbodenbearbeitung durchgeführt wird. In den Systemen ZP30/15 und SR30/15 finden tiefe Eingriffe nur zur Stoppelbearbeitung im Sommer statt. Durch die starke Lockerung in P30 bei der Herbstfurche wird ein Mineralisierungsschub ausgelöst. HARRACH & RICHTER (1992) beschreiben dies speziell für einen ton- und humusreichen Standort in Mittelhessen. Auch dort sank die Nitratkonzentration im Boden mit abnehmender Eingriffsintensität der Bodenbearbeitung.

Analog dazu berichtet KÖLLER (2001), dass bei konservierender Bodenbearbeitung ein höherer Anteil der Nährstoffe organisch gebunden ist und es in gewissem Ausmaß zu einer N-Immobilisierung kommt.

HARRACH & RICHTER (1992) erklären die geringere Nitratfracht aus der Krume reduzierter Bodenbearbeitungsvarianten damit, dass ein Teil des Niederschlagswassers in den biogenen Makroporen an der Bodenmatrix vorbeifließt, ohne sich dabei mit Nitrat zu beladen.

4.4.2.2 C-Sequestrierung

Als Vorteil reduzierter Bodenbearbeitung wird vielfach das Potential zur C-Sequestrierung genannt.

Im Feldversuch Gladbacherhof sind, verglichen mit der Wirkung der Betriebssysteme (s. Abb. 3-2), die Effekte der Bodenbearbeitung auf ΔC_{org} im Boden gering (s. Abb. 3-5). Speziell zwischen den Extremvarianten P30 und SR30/15 finden sich kaum Unterschiede. Somit weisen die C_{org} -Massen in der Krume am Ende der 2. Rotation keine Unterschiede auf (s. Tab. 3-21). Die Differenzen im Unterboden sollen in der 3. Rotation näher untersucht werden.

Zahlreiche Autoren berichten ebenfalls, dass es durch reduzierte Bodenbearbeitung nicht zu einer Humus- bzw. C-Anreicherung kommt (KRAWUTSCHKE, 2007; BAKER et al., 2007; BAI, 2008). Nach KOLBE (2010a) hat reduzierte Bodenbearbeitung nur wenig Effekte auf die Humusgehalte.

Andere Autoren heben dagegen den Anstieg der C_{org} -Gehalte im Boden als bedeutenden Vorteil der geringeren Bearbeitungsintensität hervor (EMMERLING, 2007; CHEN et al., 2009; BERNER et al., 2010).

MANOJLOVIĆ et al. (2008) fanden erst bei Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung, also bei Direktsaat, einen Anstieg der C-Mengen gegenüber der Pflugvariante.

Laut APPEL et al. (2008) hängt die C-Sequestrierung bei verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung von den Erträgen, d. h. vom C-Input in Form von Wurzelmasse, und von der biologischen Aktivität, respektive vom C-Abbau, ab.

Dem Fallbeispiel auf S. 144 folgend kann aber konstatiert werden, dass das Potential der reduzierten Bodenbearbeitung zur C-Sequestrierung im Verhältnis zu den allgemein emittierten CO_2 -Mengen unbedeutend ist, falls es überhaupt zu einer C-Anreicherung kommt.

Andererseits kann durch eine geringere Intensität der Bearbeitung der Verbrauch an fossilem Kraftstoff vermindert und damit der CO_2 -Ausstoß gesenkt werden (MOITZI et al., 2006).

Als weitere positive Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung auf die Umwelt können die geringere Verschlammungsneigung und die verminderte Erodibilität genannt werden (GROß, 1996). Im Rahmen der Cross Compliance-Regelungen (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2009) mit dem Ziel zur Vermeidung von Erosionen kommt der pfluglosen Bodenbearbeitung eine besondere Bedeutung zu.

4.4.2.3 Segetalflora

In den Richtlinien des Anbauverbandes Gää ist aufgeführt, dass „eine harmonische Begleitflora die Entwicklung der Kulturpflanzen und die Entwicklung einer artenreichen Flora & Fauna begünstigen kann“ (Gää, 2009). Trotzdem ist im Ökologischen Landbau der tief wendende Pflug das vorherrschende Gerät der Grundbodenbearbei-

tung, obwohl das Prinzip des „reinen Tisches“ der Förderung von Blühpflanzen entgegensteht.

Im Feldversuch Gladbacherhof wurden keine vollständigen pflanzensoziologischen Aufnahmen der Begleitflora durchgeführt, sondern es wurden lediglich die häufigsten Arten und deren Deckung erfasst. Die Deckungsgrade lagen allgemein auf niedrigem Niveau (s. Tab. 3-31). Falls sich Differenzierungen durch die Bodenbearbeitung ergaben, wies das System P30 in der Regel die niedrigsten, das pfluglose System SR30/15 die höchsten Werte auf. Gleiches gilt für die Anzahl der Beikräuter (s. Abb. 3-19, 3-20, 3-21).

Auch in Untersuchungen von SPRENGER & BELDE (2003) zu differenzierter Primärbodenbearbeitung zählen *G. aparine* L. (Klettenlabkraut) und *V. persica* Poiret (Persischer Ehrenpreis) zu den stetigsten Arten. Einen signifikanten Einfluss auf die populationsbiologischen Parameter Diasporendichte, Individuendichte, Anzahl der blühenden Individuen und oberirdische Phytomasse übte die Bodenbearbeitung nicht aus (SPRENGER, 2005). Allerdings wurde in diesem Versuch lediglich in 2 Jahren der untersuchten 7-feldrigen Fruchtfolge auf die wendende Pflugarbeit verzichtet.

EYSEL et al. (2001) stellen für einen Bodenbearbeitungsversuch in Rheinland-Pfalz fest, dass seltene oder gefährdete Arten der Segetalflora niedrige Frequenzen aufweisen. Die unterschiedlichen Varianten der Bodenbearbeitung hatten hier keinen Einfluss. Aus Sicht des Artenschutzes ergeben sich somit keine Vorteile durch eine reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung.

Im Feldversuch Gladbacherhof überlagern die Auswirkungen einer intensiven mechanischen Beikrautregulierung offensichtlich die Effekte der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme. Nach v. ELSSEN (1996) resultieren diese mechanischen Eingriffe in einer Verarmung und Vereinheitlichung der Ackerwildkraut-Vegetation.

Viele Exemplare der Fauna hängen in starkem Maße von der Flora ab. FRIEBE (1992a) konstatiert, dass eine Bodenbearbeitung einer „Elementarkatastrophe“ für Bodentiere gleichkommt. Aber auch Bodenverdichtungen sind für viele Tiere nachteilig.

Die Förderung von Lumbriciden durch reduzierte Bodenbearbeitung wird vielfach beschrieben (FRIEBE & HENKE, 1992; EYSEL et. al., 2001; KAINZ, 2010).

Nach KÖLLER (2001) treten bei konservierender Bodenbearbeitung unter feuchten Bedingungen vermehrt Schnecken und bei trockenen Verhältnissen mehr Mäuse auf.

Im Feldversuch Gladbacherhof wären detailliertere Untersuchungen der Fauna in der 3. Rotation wünschenswert.

Die Auswirkungen der 4 Bodenbearbeitungssysteme auf die Umwelt lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die $N_{\min}$ -Gehalte der Bodenschicht 0 – 90 cm im Herbst, und damit das Gefährdungspotential für Nitratauswaschungen, sinken mit abnehmender Intensität der

Bodenbearbeitung in der Reihenfolge P30 (35,0 kg N ha⁻¹) → ZP30/15 (31,5 kg N ha⁻¹) → P15 (31,1 kg N ha⁻¹) → SR30/15 (25,2 kg N ha⁻¹). Im Einzelfall sind besonders nach tiefer Herbstfurche deutlich höhere Werte vorzufinden.

Bezüglich einer möglichen C-Sequestrierung unterscheiden sich die verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme in der Bodenschicht 0 – 30 cm nicht. Gleiches gilt im Hinblick auf die Förderung einer hohen Diversität der Ackerwildkraut-Vegetation.

4.5 Wechselwirkungen

Im Folgenden soll die Frage der Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem bzw. Fruchtfolge und Bodenbearbeitung erörtert werden.

Die varianzanalytischen Auswertungen des Feldversuchs Gladbacherhof führen nur selten und bei relativ unbedeutenden Parametern zu signifikanten Wechselwirkungen. Dies ist der Fall bei dem Ertragsparameter „Anzahl Körner pro Ähre“ von *S. cereale* in 2009 (s. Tab. 3-12), der mikrobiellen Biomasse im November 2005 (s. S. 67) und der Biomasse von Beikräutern im Stroh von *T. aestivum* in 2006 und *S. cereale* in 2009 (s. Tab. 3-34).

Für die 1. Rotation 1998 – 2003 stellten SCHMIDT & LEITHOLD (2005) bereits fest, dass hinsichtlich der Parameter Marktrfruchterträge, N_t- und C_t-Gehalte im Boden und Beikrautbesatz keine Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung vorlagen.

Zahlreiche Autoren erwähnen Interaktionen zwischen den erwähnten Faktoren. In weiten vielfältigen Fruchtfolgen mit Blattfrüchten könne eher auf den tief wendenden Pflug verzichtet werden als in engen Wintergetreide betonten Fruchtfolgen (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, 1995; KÖLLER, 2001; BERNER et al., 2006; KLOEPFER, 2007; BRÖKER & MORITZ, 2010). Die Aussagen beruhen aber selten auf konkreten Feldversuchen, sondern geben Beobachtungen aus der Praxis wieder.

PALLUTT (2003) ermittelte dagegen in einen Versuch, dass in aufgelockerten Fruchtfolgen ohne Herbizidanwendung mit Wechsel von Halm- und Blattfrüchten bei Anwendung der Mulchsaat keine Probleme mit *Apera spica-venti* (L.) P. B. (Gemeiner Windhalm) auftraten. In einer Wintergetreide betonten Fruchtfolge zeigte sich diese Problematik gegenüber der Pflugvariante aber sehr wohl.

In einem weiteren Feldversuch an 4 Standorten traten Wechselwirkungen zwischen Fruchtfolge und Bodenbearbeitung hinsichtlich der ökonomischen Effizienz auf. Hier stiegen die Direktkosten, besonders für Pflanzenschutz- und Düngemittel, bei konservierender Bodenbearbeitung gegenüber der Pflugvariante an (FACHHOCHSCHULE SÜDWESTFALEN, 2006). Keine Wechselwirkungen stellte SCHNEIDER (2009) in diesem Versuch allerdings in Bezug auf den Ertrag von *T. aestivum* fest.

ZENTLER (2011) berichtet von einer Umfrage unter Landwirten zur reduzierten Bodenbearbeitung in Österreich. Er fand in diesen Betrieben eine Tendenz zu vielfältigen Fruchtfolgen mit Zwischenfrüchten, Untersaaten und Mischkulturen.

Dass im Feldversuch Gladbacherhof bisher kaum Nachweise für die erwähnten Interaktionen erbracht werden konnten, könnte zwei Ursachen haben:

A) Die Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem/Fruchtfolge und Bodenbearbeitung existieren, konnten aber mit dem gewählten Versuchsdesign noch nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der Tatsache, dass mit Hilfe der Varianzanalyse diese Interaktion nicht zum Ausdruck gebracht werden konnte, sind zum jetzigen Zeitpunkt auch durch weitere Auswertungen mit parameterfreien Tests keine weiterführenden Erkenntnisse zu erwarten.

B) Hinsichtlich der meisten Parameter existieren die Wechselwirkungen nicht. Dafür spricht die Tatsache, dass die Anbausysteme ohne Pflanzenschutzmittel und synthetische Düngemittel sehr extensiv und damit nur wenig anfällig gegenüber biotischen Pathogenen sind. Darüber hinaus ist selbst die Fruchtfolge im reinen Marktfruchtsystem VL-MF recht vielfältig gegenüber den geprüften Varianten konventioneller Vergleichstests.

Es bleibt abzuwarten, ob sich ab der 3. Fruchtfolgerotation signifikante Wechselwirkungen zwischen Betriebssystem und Bodenbearbeitung einstellen werden.

5 Schlussfolgerungen

Hinsichtlich der Gegenüberstellung von ökologischen Betriebssystemen mit und ohne Viehhaltung lassen sich aus dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch Gladbacherhof folgende Schlussfolgerungen ableiten:

Insgesamt zeigt sich die Überlegenheit des Bewirtschaftungssystems mit Viehhaltung (Gemischtbetrieb) in nahezu allen untersuchten Parameter gegenüber viehloser Ökobewirtschaftung. Die Erträge des Systems „Gemischtbetrieb“ werden sich im weiteren Versuchsverlauf zunehmend vom viehlosen System mit Rotationsbrache abheben. Zur Verbesserung der Nährstoffbilanz viehhaltender Betriebe, insbesondere in Bezug auf Phosphor und Kalium, sollte so wenig wie möglich Stroh abgefahren und auf eine verlustarme Rezyklierung geachtet werden.

Hohen residualen $N_{\min}$ -Gehalten nach *Solanum tuberosum* könnte durch frühreife Sorten mit anschließenden früh gesäten Winterungen oder durch Untersaaten in den Kartoffelbeständen begegnet werden. Auf schweren Böden mit träger N-Dynamik könnte mit dem Einsatz einer Hacke zur Beikrautregulierung gegenüber einem Striegel die Mineralisation zusätzlich angeregt werden.

Zur Verbesserung der Humusbilanz viehloser Betriebe sollte der Anbau stark humuszehrender Früchte, z. B. *Solanum tuberosum* oder Feldgemüse, und die Intensität der Grundbodenbearbeitung reduziert werden. Speziell im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch Gladbacherhof konnten allerdings keine höheren Humusgehalte bei reduzierter Bodenbearbeitung nachgewiesen werden.

Für viehlose Betriebe ist die Einordnung einer gemulchten Rotationsbrache in die Fruchtfolge in Verbindung mit einem maximal möglichen Umfang an Körner- und Futterleguminosen in Haupt- und Zwischenfruchtstellung sowie einer maximal möglichen Stroh- und Gründüngung erforderlich. Eine Unterlassung der Rotationsbrache erscheint nicht zulässig.

Als Alternative zu den Sommerformen von *Vicia faba* und *Pisum sativum* bieten sich deren Winterformen oder auf günstigen Standorten auch *Glycine max* an.

Zur Steigerung der N-Fixierleistung sollten Rotationsbrachen spät gemulcht werden. Der Verkauf von Nebenprodukten sollte in viehlosen Betrieben unterbleiben.

In Systemen ohne Viehhaltung bieten sich zur Verwertung von legumem Feldfutter auch Futter-Dünger-Kooperationen oder eine Vergärung in Biogasanlagen an. Außerdem könnte Feldfutter zu Vermehrungszwecken oder zur Herstellung von Grünfuttermehl dienen.

Für marktfreuchtorientierte Betriebe, die sich keine Aufwuchsverwertung des Feldfutters erschließen können, stehen folgende Möglichkeiten zur Ausweitung des Leguminosenanbaus offen: das Weitreihenverfahren mit Untersaaten (LEITHOLD & BECKER, 2011), die Kompostierung von legumen Aufwüchsen, das so genannte Bicrop-

ping (NEUMANN et al., 2005) oder der N-Transfer auf andere Schläge (WELLER, 2011).

Für Systeme ohne Viehhaltung ist eine kontinuierliche Überprüfung der Nachhaltigkeit der Bodennutzung durch Humus- und Nährstoffbilanzen, vornehmlich N-Bilanzen, besonders wichtig.

Als Hauptmotive zur Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität gelten die Einsparung an Arbeit, Zeit und Betriebsmitteln und die Erzielung positiver pedoökologischer Effekte.

In Bezug auf unterschiedliche Intensitätsstufen der Grundbodenbearbeitung lassen sich aus dem Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch folgende Schlüsse ziehen:

Es ist sinnvoll, die Intensität der Grundbodenbearbeitung zurückzunehmen. Dies kann durch die Reduzierung der Pflugtiefe oder den Zweischichtenpflug erfolgen. Ein dauerhafter Verzicht auf den wendenden Pflug unter Einsatz einer Schichten-grubber/Rotoregge-Kombination ist auf dem Lössstandort mit hohem Grobschluffanteil nicht empfehlenswert, es sei denn, die Einsparungen an Betriebsmitteln übersteigen die Verluste, die durch Ertragsrückgänge verursacht werden.

Besondere Aufmerksamkeit ist auf die Ackerwildkrautflora zu legen, um eine zu starke Konkurrenz gegenüber den Kulturpflanzen zu vermeiden.

Auf schweren umsatzträgen Standorten könnte in pfluglosen Systemen durch den Einsatz einer Hacke zur Beikrautregulierung gegenüber einem Striegel die Mineralisation zusätzlich angeregt werden. Auch die Applikation von zusätzlichen Gaben an pumpfähigem Wirtschaftsdung, im Idealfall als Injektion, wären zur Erhöhung der Mengen an direkt pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden denkbar.

Starre Systeme der Bodenbearbeitung wie in dem Feldversuch Gladbacherhof sind für die Praxis nicht zu empfehlen. Gegen einen gelegentlichen Pflugverzicht im Rahmen der Fruchtfolge zu geeigneten Früchten in günstigen Jahren sind keine Einwände zu erheben.

Aus den bisherigen Ausführungen lässt sich ein erheblicher Forschungsbedarf zu viehlosem Öko-Ackerbau und zur reduzierten Bodenbearbeitung ableiten.

Insbesondere sollte der Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch Gladbacherhof fortgeführt werden, um weitere Differenzierungen von Erträgen, Bodenfruchtbarkeitseigenschaften und Umweltwirkungen der unterschiedlichen Bewirtschaftungssysteme zu verfolgen. Ein spezielles Augenmerk verdienen die Veränderungen unterhalb der Ackerkrume.

Anhand der lückenlos vorhandenen Aufzeichnungen zu den einzelnen Produktionsverfahren können betriebswirtschaftliche Bewertungen angestellt werden. Außerdem sind Lösungsansätze zur finanziellen Quantifizierung der positiven Effekte der Humusreproduktion gefragt.

Ein weiteres Problemfeld stellt die Versorgung der Pflanzen mit Phosphor bei langjähriger Ökobewirtschaftung dar.

Vertiefende Untersuchungen sollten zu folgenden Prüfmerkmalen im Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch unternommen werden: Infiltration, Aggregatstabilität, Wurzellängen und -dichten, Beikrautsamenpotential, Abundanz im Bereich Flora & Fauna, N-Fracht im Sickerwasser, N_2 -Fixierung, Bodentemperatur, Emissionen klimarelevanter Gase.

Über den Feldversuch Gladbacherhof hinausgehend sollten folgende Forschungsthemen zum viehlosen Öko-Ackerbau und zur reduzierten Bodenbearbeitung bearbeitet werden:

- Züchtung und Anbau ertragreicher Körnerleguminosen,
- Etablierung bedrohter Wildpflanzen in landwirtschaftlichen Kulturen,
- Management großer Strohmenngen bei reduzierter Bodenbearbeitung,
- Direktsaat im Ökologischen Landbau,
- Gleichmäßige Lockerung der Unterkrume und
- Möglichkeiten zur Steigerung der N-Mineralisierung in Systemen mit pflugloser Bodenbearbeitung

6 Zusammenfassung

Konzentration und Spezialisierung der Produktion sind auch für viele ökologisch wirtschaftende Betriebe zwingende Notwendigkeiten, um im schärfer werdenden Wettbewerb bestehen zu können. Im Zuge dieser Entwicklung entstehen immer mehr viehlos wirtschaftende Ökobetriebe. Gleichzeitig existieren im Interesse einer Einsparung an Kapital und Arbeit Bestrebungen, die betrieblichen Aufwendungen, z. B. zur Grundbodenbearbeitung bis hin zum Pflugverzicht, zu reduzieren.

Vor diesen Hintergrund wurde im Jahr 1998 der zweifaktorielle Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch Gladbacherhof angelegt, um die Langzeitwirkungen einer viehlosen ökologischen Wirtschaftsweise im Vergleich zu einer Produktion mit Rinderhaltung und Stallmistanwendung zu beobachten und zu bewerten. Gleichzeitig wurde der Frage nachgegangen, in welchem Maße sich eine reduzierte Eingriffsintensität in den Boden im Rahmen der Grundbodenbearbeitung auswirkt.

Ziel der Untersuchungen war es, Effekte von 3 Betriebs- und 4 Bodenbearbeitungssystemen auf die Ertragsbildung, die Ausprägung wichtiger veränderlicher Bodenfruchtbarkeitseigenschaften, umweltrelevante Parameter und die Segetalflora zu erforschen. Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit sind die Ergebnisse der 2. Fruchtfolgerotation von 2004–2009, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

1. Ausgehend von den Erträgen der einzelnen Kulturen während des Beobachtungszeitraums spiegeln die Fruchtfolgeleistungen die Gesamtproduktivität der verglichenen Bewirtschaftungssysteme wider (Abb. 3-1).

Mit 98,5 dt TM ha⁻¹ wurde der höchste mittlere jährliche Fruchtfolgeertrag in dem Bewirtschaftungssystem realisiert, das einen ökologischen Gemischtbetrieb repräsentiert. Im Vergleich zu dieser Versuchsvariante (Kontrolle) sank bei viehloser Öko-Bewirtschaftung mit Rotationsbrache der Gesamtsprossmasseertrag um 9 % auf 89,3 dt TM ha⁻¹ a⁻¹. Bei viehloser Bewirtschaftung ohne Rotationsbrache sank der Biomasseertrag der Gesamtfruchtfolge gegenüber dem Kontrollsystem sogar um 26 % auf 73,4 dt TM ha⁻¹ a⁻¹. Eine reduzierte Intensität der Grundbodenbearbeitung wirkte sich nicht negativ auf die Fruchtfolgeerträge aus, so lange der Pflug zum Einsatz kam. Pflugverzicht führte gegenüber den Varianten mit Pflug zu einem Minderertrag von ca. 8 % bzw. etwa 7 dt TM ha⁻¹ a⁻¹.

2. Der mittlere nichtlegume Marktfruchtertrag je Hektar Marktfruchtfläche (Tab. 3-15) kann als Spiegelbild der Ertragsfähigkeit unter dem Einfluss veränderter Bodenfruchtbarkeitseigenschaften betrachtet werden.

Das System viehloser Öko-Landbau mit Rotationsbrache zeigte gegenüber der Kontrolle (Öko-Landbau mit Nutztierhaltung) noch keine signifikanten Unterschiede. Bei viehloser Bewirtschaftung ohne Rotationsbrache fiel der Markt-

fruchtertrag dagegen ab, gegenüber der Kontrolle um ca. 7,0 dt TM ha⁻¹ a⁻¹ bzw. um 17 %. Die dauerhafte Unterlassung der Pflugarbeit bewirkte signifikante Mindererträge gegenüber den tief und flach gepflügten Varianten in Höhe von jeweils 10 % bzw. von 4,0 dt TM ha⁻¹ a⁻¹.

3. Die im Beobachtungszeitraum für die 2. Fruchtfolgerotation und die 3 Bewirtschaftungssysteme errechneten NPK-Bilanzen (Tab. 3-18 bis 3-20) erlauben einen tiefen Einblick in Grundlagen der Ertragsbildung sowie Aussagen zur Nachhaltigkeit. Der niedrigste N-Bilanzsaldo (+ 41 kg ha⁻¹ a⁻¹) und somit die beste Verwertung des verfügbaren Stickstoffs im System Boden-Pflanze (82 %) erfolgte unter Berücksichtigung der Veränderung der Gesamtvorräte an Stickstoff im Boden (ΔN_t) in der Rotation mit Viehhaltung und Stallmistdüngung. Gegenüber dieser Kontrolle sank die Systemverwertung des N bei viehloser Bewirtschaftung mit Rotationsbrache um 10 % (Zunahme des jährlichen Verlustpotentials an reaktiven N-Verbindungen auf 66 kg ha⁻¹). Bei viehloser Bewirtschaftung ohne Rotationsbrache reduzierte sich die N-Systemverwertung um weitere 8 %, d. h. die potentiellen jährlichen N-Verluste stiegen um weitere 13 kg auf 79 kg ha⁻¹ an. Alle drei Systeme zeigten negative P-Salden zwischen 10 – 13 kg ha⁻¹ a⁻¹ sowie negative K-Salden zwischen 29 – 50 kg ha⁻¹ a⁻¹ mit nachweisbar abnehmenden Gehalten an pflanzenverfügbaren Mengen von P und K in der Ackerkrume seit Versuchsbeginn.
4. Gehalt und Masse an Humus bzw. an C_{org} und N_t in der Ackerkrume und dem darunter liegenden durchwurzelbaren Bodenraum sind von zentraler Bedeutung für die Ausprägung maßgeblicher Bodenfunktionen und somit für die Ertragsbildung. Die bewirtschaftungsbedingte Differenzierung dieser Komponente hat sich besonders im Verlauf der 2. Rotation bis zum 12. Versuchsjahr herausgebildet (Abb. 3-2 und 3-3). So stieg in dem Bewirtschaftungssystem mit mehrjährigem Feldfutterbau und Stallmistanwendung (Kontrollvariante, die einen ökologischen Gemischtbetrieb mit Rinderhaltung abbildet) die Masse an organisch gebundenem Kohlenstoff (C_{org}) in der Ackerkrume seit Versuchsbeginn um ca. 5 % auf 54,5 t ha⁻¹ an (jährliche Zunahme 233 kg C_{org} ha⁻¹ bzw. 0,40 t Humus ha⁻¹). Demgegenüber konnte die zu Versuchsbeginn 1998 vorhandene Humusmasse in keiner der Fruchtfolgen, die eine viehlose Ökobewirtschaftung abbilden, aufrechterhalten werden. Bei viehloser Bewirtschaftung mit Rotationsbrache lagen die jährlichen Verluste an C_{org} und Humus bei 158 kg ha⁻¹ bzw. 0,27 t ha⁻¹. Bei viehloser Bewirtschaftung ohne Rotationsbrache gingen seit Versuchsbeginn ca. 8 % der ursprünglich vorhandenen Masse an Humus verloren (– 407 kg C_{org} ha⁻¹ a⁻¹ bzw. – 0,70 t Humus ha⁻¹ a⁻¹).

Die differenzierte Intensität der Grundbodenbearbeitung bewirkte über den 11-jährigen Versuchszeitraum keine signifikante Veränderung der Massen an C_{org}

und N_t in der Ackerkrume (Tab. 3-21). In der pfluglosen Variante erfolgte gegenüber den gepflügten Varianten lediglich eine Umverteilung der Humusmassen zugunsten der Oberkrume (0 – 12 cm). Unterhalb der Ackerkrume wurden noch keine reproduzierbaren Veränderungen der Humusvorräte beobachtet.

5. Nach 11-jähriger Versuchsdurchführung konnten signifikante Effekte der Bewirtschaftung auf bodenphysikalische Parameter, insbesondere in der Ackerkrume, beobachtet werden. Die niedrigeren Werte der Trockenrohdichte (Abb. 3-8) und der Eindringwiderstände (Tab. 3-26) im System mit Viehhaltung belegen eine geringere Kompaktheit des humusreicheren Oberbodens im Vergleich zu den humusärmeren Böden der beiden viehlosen Bewirtschaftungssysteme. Auch die Reduktion der Eingriffsintensität in den Boden im Zuge der Grundbodenbearbeitung bewirkte eine zunehmende Dichtlagerung und wachsende Eindringwiderstände (Abb. 3-9 und Tab. 3-26) besonders in der Unterkrume.
6. Gehalte an N_{min} in 0 – 90 cm Bodentiefe von 25 – 35 kg ha⁻¹ (Mittel von 6 Herbstbeprobungen von 2003 – 2008) und von 31 – 50 kg ha⁻¹ (Mittel von 6 Frühjahrsbeprobungen von 2004 – 2009) zeigen, dass die Gefahr von hydrosphärischen N-Verlusten der getesteten Bewirtschaftungssysteme relativ gering ist (Tab. 3-28 und 3-29).

Hervorzuheben sind die signifikant höheren N_{min} -Gehalte von 50 kg ha⁻¹ im viehlosen System mit Rotationsbrache im Vergleich zum System mit Viehhaltung (31 kg ha⁻¹) im Mittel der 6 Frühjahrsbeprobungen, vermutlich hervorgerufen durch den Verbleib der gemulchten Aufwüchse der Rotationsbrache als Gründüngung auf dem Acker. Signifikant höhere Erträge und höhere Werte bei wichtigen Qualitätsparametern der Nachfrucht *Triticum aestivum* gegenüber dem Kontrollsystem mit Feldfutterbau und Stallmist (Tab. 3-5 und 3-6) sowie ähnlich hohe Marktfruchterträge beider Systeme (Tab. 3-14 und 3-15) dürften eine Folge des hohen Vorfruchtwertes der gemulchten Rotationsbrache sein, der sich u. a. im genannten hohen N_{min} -Gehalt spiegelt. Allerdings besteht auch die Gefahr höherer N-Verluste. Eine Unterlassung der Pflugarbeit führte, möglicherweise durch eine langsamere Erwärmung des Bodens im Frühjahr infolge seiner dichten Lagerung, im Durchschnitt zu signifikant niedrigeren N_{min} -Gehalten gegenüber den gepflügten Varianten (Tab. 3-29). Neben der höheren Dichtlagerung des Bodens dürfte dies ein maßgeblicher Grund für signifikante Mindererträge bei Pflugverzicht sein (Tab. 3-14).

7. Abundanz und Artenspektrum der Segetalflora waren bereits zu Versuchsbeginn relativ gering. Beikrautdeckungsgrade zwischen 1,4 und 3,4 % am Ende des 2. Fruchtfolgeumlaufs unter *Secale cereale* lassen erkennen (max. 7,1 % unter *Triticum aestivum* in der ungepflügten Variante in 2008), dass Beikräuter während der 2. Rotationsperiode vermutlich keine ertragsbeeinflussende Rolle gespielt ha-

ben und die Populationsdichten durch die 11-jährige Bewirtschaftung kaum erhöht wurden (Tab. 3-31). Aus ökologischer Sicht wäre allerdings eine größere Diversität der Ackerwildkraut-Vegetation in allen Bewirtschaftungssystemen wünschenswert.

8. Signifikante Wechselwirkungen zwischen den beiden Prüffaktoren Betriebssysteme und Bodenbearbeitung traten bisher nur selten und bei relativ unbedeutenden Parametern auf.
9. Insgesamt zeigt sich nach zwei Fruchtfolgeumläufen die Überlegenheit des Bewirtschaftungssystems mit Viehhaltung (Gemischtbetrieb) in nahezu allen untersuchten Parametern gegenüber viehloser Ökobewirtschaftung. Sofern eine viehlose Bewirtschaftung nicht vermieden werden kann, ist die Einordnung einer gemulchten Rotationsbrache in die Fruchtfolge in Verbindung mit einem maximal möglichen Umfang an Körner- und Futterleguminosen in Haupt- und Zwischenfruchtstellung sowie eine maximal mögliche Stroh- und Gründüngung erforderlich, um systembedingte Nachteile wenigstens teilweise zu kompensieren. Eine Unterlassung der Rotationsbrache erscheint nicht zulässig.

Eine Reduktion der Intensität der Grundbodenbearbeitung scheint möglich zu sein. Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung, also ständiger Pflugverzicht, ist für den Standort aus Sicht der Erträge nicht zu empfehlen.

Es ist ratsam, den Feldversuch fortzusetzen, um die zu erwartende weitere Differenzierung der Parameter zu verfolgen.

7 Summary

Concentration and specialisation of production are urgent necessities, even for many organically managed agricultural holdings, in order to survive in increasing competition. In the course of this development more and more organic stockless farms are emerging. Simultaneously, ambitions exist to minimise operating costs, especially for capital and expended energy. In this context it is essential to reduce the expenses for primary soil tillage to the point of spurning the use of the mouldboard plough.

Against this background, the long-term field experiment “Gladbacherhof”, with the two factors farm type and tillage intensity, was set up in 1998. The long-term effects of organic stockless farming versus production with cattle and with regard to this, the application of farmyard manure, were to be observed and estimated. Simultaneously, the impact of reduced tillage intensity was investigated.

The intention of the studies was to survey the influence of 3 farm types and 4 different tillage intensities on the formation of cash crop yields, fundamental variable characteristics of soil fertility, environmentally relevant parameters and the segetal flora.

The main focuses of this dissertation are the results of the 2nd cycle of the crop rotations from 2004 to 2009 which lead to the following basic findings:

1. Based on yields of the single crops during the observation period the benefits of the crop rotations reflect the overall productivity of the compared management systems (figure 3-1).

With 9.85 t DM ha⁻¹ highest yield averaged across the 6-yr time frame was achieved in the system which represents an ecological mixed farm type. In comparison to this treatment (control) mean yield decreased by 9 % to 8.93 t DM ha⁻¹ in the stockless system with rotational set-aside. In the second stockless farm type, without rotational set-aside, the yield of biomass even decreased by 26 % to 7.34 t DM ha⁻¹ a⁻¹. A reduced intensity of primary soil tillage does not negatively influence the yield averaged over the whole crop rotation, as long as the plough is applied. A renunciation of the plough results in lower yields by about 8 % approximately 0.70 t DM ha⁻¹ a⁻¹ respectively.

2. The average non-legume yield of cash crops (table 3-15) can be seen as a reflection of productivity under the influence of modified characteristics of soil fertility.

The stockless organic farming system, with rotational set-aside, has still not indicated any significant differences compared to the reference system (organic farming with livestock). Stockless farming without rotational set-aside generated a decreased yield of cash crops, versus the control by about 0.70 t DM ha⁻¹ a⁻¹ or 17 % respectively. When totally avoiding the turning of the soil with a plough, signifi-

cant lower yields result, typically 10 % or 0.40 t DM ha⁻¹ a⁻¹ respectively, compared to the deep and shallow ploughed variant.

3. The NPK balance calculations for each of the 3 farm types in the observation period of the 2nd cycle of the crop rotations (tables 3-18 to 3-20) provide a deep insight into the basics of yield development as well as information regarding sustainability. Taking changes in the total N-pool (ΔN_t) into consideration, lowest nitrogen balance saldo (+ 41 kg ha⁻¹ a⁻¹) and consequently best recovery of available nitrogen in the system soil-plant (82 %) occurred in the crop rotation with cattle farming and application of farmyard manure. Compared to this control the system N recovery decreased by 10 % in the stockless organic farming with rotational set-aside (increase of the annual potential loss of reactive nitrogen compounds up to 66 kg ha⁻¹). In the stockless organic farming, without rotational set-aside, a further decrease of 8 % of the system N recovery was observed, in other words the potential annual N-losses rose by another 13 kg to 79 kg ha⁻¹. All three farm types showed negative P-balance saldi of between 10 – 13 kg ha⁻¹ a⁻¹, as well as negative K-saldi of between 29 – 50 kg ha⁻¹ a⁻¹. These results are associated with verifiably declining contents of plant-available P and K in the topsoil, since the start of the trial.
4. Humus content and humus mass respectively C_{org} and N_t in the top soil and the underlying rootable layers play a key role for the value of decisive soil functions and consequently for the yield development. The differentiation of this component, as a result of cultivation practices, developed in particular during the 2nd cycle of the crop rotations (figures 3-2 and 3-3). Since the initiation of the experiment the mass of total organic carbon (C_{org}) in the topsoil increased by approximately 5 % to 54.5 t ha⁻¹ (annual increase of 233 kg C_{org} ha⁻¹ respectively 0.40 t humus ha⁻¹) in the farm type with multi-annual field forage cultivation and with the application of farmyard manure (control treatment representing an ecological mixed farm type with cattle). In contrast, none of the crop rotations which indicate stockless organic farming could sustain the humus mass that existed at the beginning of the trial in 1998. In the stockless system with rotational set-aside the annual losses of C_{org} and humus amounts to 158 kg ha⁻¹ and 0.27 t ha⁻¹ respectively. In the stockless system without rotational set-aside about 8 % of the humus mass originally present in the topsoil was lost over the time period of the experiment (– 407 kg C_{org} ha⁻¹ a⁻¹ and – 0.70 t humus ha⁻¹ a⁻¹ respectively).

The differentiated intensity of primary soil tillage did not bring about any significant changes in the masses of C_{org} and N_t in the topsoil (table 3-21). With regard to the ploughless treatment a vertical redistribution of humus mass, in favour of the upper topsoil (0 – 12 cm), took place. No reproducible modifications of humus stocks below the topsoil have been observed to date.

5. After 11 years of performing the trial a significant impact of the treatments on soil-physical parameters could be found, notably in the topsoil. Lower values of bulk density (figure 3-8) and penetration resistance (table 3-26), in the farm type with cattle, demonstrate a lower compactness of the topsoil which has a higher humus content compared to those soils of the two stockless farming systems. The reduced interference with the soil in the course of primary soil tillage caused an increasing bulk density (figure 3-9) and higher values of penetration resistance (table 3-26), especially in the sublayer 20–30 cm.
6. The $N_{\min}$ -contents in the soil depth 0–90 cm ranged from 25–35 kg ha⁻¹ (mean of 6 samplings in autumn from 2003–2008) and from 31–50 kg ha⁻¹ (mean of 6 samplings in spring from 2004–2009) respectively. These results demonstrate that the risk of hydrospheric N-losses in the tested management systems is relatively low (tables 3-28 and 3-29).

It must be emphasized that the significantly higher $N_{\min}$ -content of 50 kg ha⁻¹ in the stockless system, with rotational set-aside, compared to the farm type with cattle (31 kg ha⁻¹), averaged across the 6 samplings in spring, was probably caused by the mulched growth of the rotational set-aside, which remained on the field as green manure. Significantly higher yields and higher values, of important quality parameters of the subsequent crop *Triticum aestivum* versus the control system with field forage cultivation and with farmyard manure (tables 3-5 and 3-6) as well as similar cash crop yields of both systems (tables 3-14 and 3-15), are probably due to the high preceding crop effect of the mulched rotational set-aside. This high preceding crop effect is reflected amongst others in the high $N_{\min}$ -content mentioned above. However, this involves a higher risk of N-losses. When abstaining from turning the soil with a plough the averaged $N_{\min}$ -contents are significantly lower, compared to the ploughed treatments (table 3-29). This might be an effect of the slower warming-up of the soil in spring as a result of its higher bulk density. The lower $N_{\min}$ -contents and the greater compactness of the soil are probably the decisive reasons for significantly lower yields, when abstaining from turning the soil with a plough (table 3-14).

7. Abundance and the range of species of the segetal flora were already relatively low at the beginning of the trial. Coverage rates of wild arable plants ranged between 1.4 and 3.4 % at the end of the 2nd cycle of the crop rotations when cultivating *Secale cereale* and were highest (7.1 %) in the unploughed treatment when growing *Triticum aestivum* in 2008. This indicates that wild arable plants probably did not have any impact on yields, during the 2nd cycle of the crop rotation. Furthermore, population densities were rarely raised over the period of 11 years, with different management systems. However, from an environmental point of view a greater diversity of wild arable plants in all treatments would be preferable.

8. To date, significant interactions between the two inspection factors farm type and soil tillage have occurred, only rarely and exclusively with regard to relatively marginal parameters.

9. After two cycles of crop rotations it can be determined:

All in all, the superiority of a management system with cattle (mixed farm type) over stockless organic farming is demonstrated, in almost all parameters investigated. Unless stockless farming cannot be avoided a mulched rotational set-aside, in combination with grain- and fodder legumes as main or intermediate crop, should, as far as possible, be included in the crop rotation. Furthermore, as much straw- and green manure as possible is required to compensate, at least partly, for system-immanent disadvantages. The omission of a rotational set-aside does not appear to be advisable.

A reduced intensity of primary soil tillage seems to be possible. As far as yields are concerned however, consistent conservation tillage without ploughing is not to be recommended for the examined location.

A continuation of the long-term field experiment would be advisable in order to monitor the expected further differentiation of parameters.

Danksagungen

Mein herzlicher Dank gilt

Herrn Prof. Dr. Günter Leithold für die Möglichkeit, eine erste umfassende wissenschaftliche Arbeit über den Dauerfeldversuch Gladbacherhof anfertigen zu dürfen, für die vielfältigen Anregungen und zahlreichen Diskussionen im Rahmen von Kolloquien und Einzelgesprächen in angenehmer doktorväterlicher Atmosphäre,

Frau Prof. Dr. Sylvia Schnell für die Übernahme der Zweitbetreuung und die aufwändigen Analysen zur Mikrobiellen Biomasse und Dehydrogenase-Aktivität am Institut für Angewandte Mikrobiologie,

Herrn Prof. Dr. Matthias Frisch für die intensive Beratung zu statistischen Fragen und

Herrn Dr. Christoph Germeier für die zeitaufwändige Einweisung in die Statistiksoftware SAS,

Herrn Dr. Jörg Gottwald, Institut für Angewandte Physik der Justus-Liebig-Universität, für die wertvollen Hinweise im Rahmen der Ergebnisdarstellung der Penetrologermessungen,

Frau Anja Damjanović für Korrekturen am vorliegenden Manuskript,

Mr. Peter Smyth for proofreading the summary,

Herrn Dr. Wolfgang Karalus für die freundschaftliche und erfolgreiche Zusammenarbeit in der Anfangsphase der Versuchsdurchführung,

Herrn Dr. Harald Schmidt für die intensive Zusammenarbeit und die wissenschaftliche Leitung des Versuchs in der 1. Rotation, die zahlreichen Diskussionen und die Bereitstellung des Penetrologgers aus einem Forschungsvorhaben der Stiftung Ökologie & Landbau,

Herrn Prof. Dr. Diedrich Steffens, Institut für Pflanzenernährung, für die Unterstützungen im Rahmen der Messungen mit einem N-Tester,

der ganzen Familie Franz und Herrn Theo De Zeeuw für ihr überaus großes Engagement bei den Feldarbeiten und im Feldlabor unter oft schwierigen Wetterbedingungen (u. a. etwa 20 000 Bodeneinstiche mit Bohrstöcken in 11-jähriger Versuchstätigkeit),

im Besonderen Klaus-Peter Franz, der als Technikgenie und Pflanzenbauspezialist die sehr erfolgreiche Versuchsdurchführung erst ermöglicht hat,

Barbara für vielfältige Anregungen und die liebevolle Verpflegung von wissenschaftlichen Hilfskräften und Besuchergruppen, besonders mit Suppen,

Frau Maria Nägele für die zahllosen Analysen von Pflanzen- und Bodenproben und die Durchsicht des Teils „Material und Methoden“,

Frau Dr. Barbara Leithold für die qualitativen Analysen der Weizenkörner 2006 an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,

Frau Nadine Engert, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, für die Analysen der Rohproteingehalte 2008 und schließlich

den Firmen Gassner, Herrn Benno Gassner, und Lemken, Herrn Böcker, für die Bereitstellung eines 4-Schar-Pfluges und eines Zinkenrotors in der Anfangsphase des Feldversuchs.

Außerdem danke ich Mathilde und Franz Imöhl, Margret, Heinz, Achim und Wolfgang Ester, Udo Becker, Mia und Lothar Stinn, Reinhard Förster und Herrn Prof. Dr. agr. Dr. h. c. mult. Horst Eichhorn, die meine Liebe zu Landwirtschaft, Tieren, Pflanzen, Boden, Maschinen und Forschungsfragen erweckten, förderten und weiterentwickelten.

Zuletzt danke ich besonders meinen Eltern, die mich immer unterstützten, obwohl ich doch eigentlich Lehrer werden sollte.

Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5., verbesserte und erweiterte Auflage. Stuttgart: Schweizerbart.
- Ahrberg, S. (2001): Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung und unterschiedlicher Vorfrüchte auf die Stickstoffdynamik des Bodens sowie auf die Stickstoffaufnahme und Ertragsbildung von Winterweizen im Ökologischen Landbau. Diplomarbeit. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Alef, K. (1995): Dehydrogenase activity. In: Alef, K.; Nannipieri, P. (Hg.): *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, S. 228–231.
- Alef, K.; Nannipieri, P. (Hg.) (1995): *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press.
- Alvermann, G. (2004): Viehloser Ackerbau im Ökologischen Landbau. In: Schmidt, H. (Hg.): *Viehloser Öko-Ackerbau*. 1. Aufl. Berlin: Köster, S. 12–14.
- Alvermann, G. (2010): Strategie für schwere Böden. In: Bioland, H. 7, S. 20.
- Alvermann, G.; Wiggert, M. (2009): Keine Chance für Steinbrand und Fusarium. In: Bioland, H. 8, S. 19–20.
- Appel, T.; Berg, V.; Laufer, O. (2008): Bewirkt die konservierende Bodenbearbeitung eine Sequestrierung von Kohlenstoff im Boden. In: VDLUFA (Hg.): 120. VDLUFA-Kongress vom 16. bis 19. September 2008 in Jena. Kongressband. Darmstadt: VDLUFA-Verlag (VDLUFA-Schriftenreihe, 64), S. 165–166.
- Asmus, F.; Herrmann, V. (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens und Humusreproduktion. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Bd. 15, Heft 11.
- Bai, M. (2008): Carbon Sequestration in an arable Soil as related to the Tillage Intensity. Master Thesis. FH Bingen.
- Baker, J. M.; Ochsner, T. E.; Venterea, R. T.; Griffis, T. J. (2007): Tillage and soil carbon sequestration - What do we really know. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Jg. 118, S. 1–5.
- Beck, T. (1991): Forschungsbedarf im Zusammenhang mit den Zielvorstellungen der Meß- und Voraussagbarkeit von Elementen und Prozessen der Bodenfruchtbarkeit. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.): *Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit*. Hamburg, Berlin: Parey; Berichte über Landwirtschaft, N.F., 203, Bd. 1, S. 85–109.
- Becker, K. (2007): Weitreihenanbau von Winterweizen im Ökologischen Landbau. Dissertation Universität Gießen. Berlin: Logos.
- Berner, A.; Frei, R.; Mäder, P. (2005): Entwicklung von pfluglosen Anbauverfahren im Ökologischen Landbau unter Anwendung verschiedener Hofdüngerformen und biologisch-dynamischer Präparate. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1.–4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 259–260.

- Berner, A.; Hildermann, I.; Thalmann, M.; Hügli, C.; Frei, R.; Mäder, P. (2006): Pflugloser Ökolandbau auf schweren Böden. In: Lebendige Erde, H. 3, S. 40 – 45.
- Berner, A.; Nietlispach, B.; Frei, R.; Niggli, U.; Mäder, P. (2009): Erhöhte Trockenstresstoleranz von Klee gras nach reduzierter Bodenbearbeitung. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, S. 39 – 40.
- Berner, A.; Messmer, M.; Mäder, P. (2010): Gut für den Boden, gut fürs Klima. In: Bioland, H. 1, S. 14 – 15.
- Bioland (2009): Bioland-Richtlinien, vom 24.11.2009.
- Biopark (2009): Biopark-Erzeugerrichtlinien, vom März 2009.
- Bischoff, J.; Hofmann, B.; Christen, O. (2007): Untersuchungen zur P-Verteilung im Boden nach langjährigem Pflugverzicht und Direktsaat. In: Herrmann, A. (Hg.): 50 Jahre Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Bonn, 18. – 20. September 2007. Kiel: Schmidt & Klaunig, Bd. 19, S. 288 – 289.
- Böhm, H.; Ahrens, E. (1989): Protease-Aktivität und N-Mineralisation bei langjährig differenzierter Bodenbearbeitung. In: Institut für Landtechnik (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Symposium Mai 1989, S. 63 – 73.
- Braun, M.; Schmid, H.; Grundler, T. (2008): Vergleich verschiedener Klee gras mischungen im Ökologischen Landbau anhand der Wurzel- und Sprossleistung. In: Hoffmann, S.; Herrmann, A.; Taube, F. (Hg.): Biodiversität in der Pflanzenproduktion. Göttingen, 1. und 2. Oktober 2008. Kiel: Schmidt & Klaunig, S. 3 – 4.
- Brock, C. (2009): Humusdynamik und Humusreproduktion in Ackerbausystemen und deren Bewertung mit Hilfe von Humusindikatoren und Humusbilanzmethoden. Dissertation Universität Gießen, 2009. 1. Aufl. Berlin: Köster (Giesener Schriften zum Ökologischen Landbau, 2).
- Brock, C.; Hoyer, U.; Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J. (2008): Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im Ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum Projekt 03OE084 (Bundesprogramm Ökologischer Landbau). Eigenverlag Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn.
- Brock, C.; Fließbach, A.; Oberholzer, H.-R.; Schulz, F.; Wiesinger, K.; Reinicke, F.; Koch, W.; Pallutt, B.; Dittmann, B.; Zimmer, J.; Hülsbergen, K.-J.; Leithold, G. (2011): Relation between soil organic matter and yield levels of nonlegume crops in organic and conventional farming systems. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science; DOI: 10.1002/jpln.201000272.
- Bröker, M.; Moritz, H. (2010): Wellness-Kur für ihren Boden. In: Top Agrar, H. 4, S. 54 – 60.
- Brümmer, G. W. (2002): Schadverdichtungen in Ackerböden - Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen -. In: Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Universität Bonn (Hg.): Schadverdichtungen in Ackerböden, S. 71 – 74.
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) (Hg.) (2007): Jahresbericht 2007.

- Bundesministerium des Innern (Hg.) (1985): Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. Bundestags-Drucksache 10/2977, vom 7. März 1985.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (1991): Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Hamburg, Berlin: Parey (Berichte über Landwirtschaft, N.F., 203).
- Butler, J. H. A.; Ladd, J. N. (1985): Fixed and soil-derived nitrogen in legumes grown in pots in soil of different available nitrate. In: Soil Biology and Biochemistry, Jg. 17, S. 47 – 55.
- Campbell, D. J.; O'Sullivan, M. F. (1991): The Cone Penetrometer in Relation to Trafficability, Compaction and Tillage. In: Smith, K. A.; Mullins, C. E. (Hg.): Soil Analysis. Physical Methods. Books in Soils, Plants and Environment, S. 399 – 429.
- Chen, H.; Marhan, S.; Billen, N.; Stahr, K. (2009): Soil organic-carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Württemberg (southwest Germany). In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science, S. 32 – 42.
- Christen, O. (2008): Haben Fruchtfolgen noch eine Bedeutung im modernen Pflanzenbau. In: Hoffmann, S.; Herrmann, A.; Taube, F. (Hg.): Biodiversität in der Pflanzenproduktion. Göttingen, 1. und 2. Oktober 2008. Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Debruck, J. (2001): Die Grundbodenbearbeitung im Biologischen Landbau aus kritischer Sicht. In: Reents, H. J. (Hg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 6. – 8. März 2001. Berlin: Köster, S. 199 – 202.
- Debruck, J. (2003): Die Leistung ökologischer Anbausysteme mit und ohne Vieh – Der KA-Versuch Strenzfeld 1994 – 2001. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 461 – 462.
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hg.) (1997): Initiative zum Umweltschutz 5. Osnabrück: Zeller-Verlag.
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Hg.) (1994): Ackerbau ohne Pflug, Merkblatt 281. Frankfurt am Main.
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Hg.) (1995): Direktsaat, Merkblatt 293. Frankfurt am Main.
- Deutscher Bundestag (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. BBSchG, BGBl I 1998/502, vom 17.03.1998.
- Deutscher Bundestag (2000): Verordnung über eine Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. BGBl. I S. 15, vom 06.01.2000.
- Deutscher Bundestag (2009): Düngeverordnung, vom 31.07.2009.

- Diepenbrock, W. (Hg.) (1996): Langzeiteffekte des Ökologischen Landbaus auf Fauna, Flora und Boden. Beiträge der wissenschaftlichen Tagung am 25.04.1996 in Halle/Saale ; Zwischenbericht: Berichtszeitraum 1994/1995 ; ein Projekt der Boco-Stiftung. Halle: Institut für Acker- und Pflanzenbau.
- Dierauer, H.-U.; Ebert, U.; Jorek, B. (2004): Ackerkratzdistel. Erfolgreich regulieren im Ökologischen Landbau; Ausgabe Deutschland. Mainz: Bioland-Verlag (Merkblatt / FiBL, Bioland; KÖN).
- Dittmann, B.; Zimmer, J. (2010): Versuche zu reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischer Landbau. Ökologische Fruchtfolge Güterfelde. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 227 – 231.
- Döhler, H. (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Aufl. Darmstadt: KTBL.
- Dorn, B.; Musa, T.; Krebs, H.; Fried, P. M.; Forrer, H. R. (2009): Kraut- und Knollenfäule im Kartoffelanbau – ist im ökologischen Anbau eine wirksame Bekämpfung ohne Kupfer möglich? In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, S. 322 – 323.
- Dospechov, B. A. (1980a): Einfluss einer geregelten Düngung, der Anwendung von Fruchtfolgen und des Daueranbaus auf die Bodenfruchtbarkeit. In: Dospechov, B. A. (Hg.): Wissenschaftliche Grundlagen des intensiven Ackerbaus. 1. Aufl. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, S. 11 – 64.
- Dospechov, B. A. (Hg.) (1980b): Wissenschaftliche Grundlagen des intensiven Ackerbaus. 1. Aufl. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Dreymann, S. (2005): N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- Dreymann, S.; Loges, R.; Taube, F. (2003): Einfluss der Klee-grasnutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte unter Berücksichtigung einer variierten organischen Düngung. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 89 – 92.
- Dreymann, S.; Loges, R.; Taube, F. (2005): Schnittgutabfuhr oder Gründüngung? Auswirkung der Klee-gras-Nutzung auf Nitrat im Sickerwasser und Folgefrüchte. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 181 – 184.
- Drinkwater, L. E.; Wagoner, P.; Sarrantonio, M. (1998): Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. In: Nature. 396, S. 262 – 265.
- Dufner, J.; Jensen, U.; Schumacher, E. (2004): Statistik mit SAS. 3., überarbeitete Auflage, Stuttgart: Teubner.

- Dupuis, B.; Hebeisen, T.; Reust, W.; Schwärzel, R.; Ballmer, Th; Musa, T. (2009): Kartoffelsorten mit verbesserter Krautfäuleresistenz und geringem Rhizoctoniabefall – entscheidend für die Ertrags- und Qualitätssicherung im biologischen Anbau. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, S. 336 – 339.
- Ellert, B. H.; Bettany, J. R. (1995): Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. In: Canadian Journal of Soil Science, H. 75, S. 529 – 538.
- Elsen van, T. (1996): Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf die Segetalflora. In: Diepenbrock, W. (Hg.): Langzeiteffekte des Ökologischen Landbaus auf Fauna, Flora und Boden. Beiträge der wissenschaftlichen Tagung am 25.04.1996 in Halle/Saale ; Zwischenbericht: Berichtszeitraum 1994/1995 ; ein Projekt der Boco-Stiftung. Halle: Institut für Acker- und Pflanzenbau, S. 143 – 152.
- Elsen van, T.; Hotze, C. (2008): Die Integration autochthoner Ackerwildkräuter und der Kornrade in Blühstreifenmischungen für den Ökologischen Landbau. In: Journal of Plant Diseases and Protection, H. Special Issue XXI, S. 373 – 378.
- Elsen van, T.; Meyer, S.; Gottwald, F.; Wehke, S.; Hotze, C.; Dietrich, M.; Blümlein, B.; Metzner, J.; Leuschner, C. (2011): Ansätze zur nachhaltigen Sicherung der botanischen Artenvielfalt auf Schutzäckern – eine Aufgabe für Biobetriebe. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 173 – 176.
- Emmerling, C. (2007): Reduced and Conservation Tillage Effects on Soil Ecological Properties in an Organic Farming System. In: Biological Agriculture and Horticulture, Jg. 24, S. 363 – 377.
- Engelmann, K. (2010): Ökologisch nachhaltiges Betriebsmanagement mit dem Modell REPRO. Vortrag Naturland Ackerbautagung am 04.02.2010 in Würzburg.
- Europäische Kommission (1988): Durchführungsbestimmungen zur Beihilferegelung für die Extensivierung der Erzeugung. VO (EWG) Nr. 4115/1988, ABL. L 361.
- Europäische Kommission (1992): Verordnung zur Einführung einer Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. VO (EWG) Nr. 1765/1992, ABL. L 181.
- Europäische Kommission (1999a): Verordnung zur Einführung einer Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. VO (EG) Nr. 1251/1999, ABL. L 160/1.
- Europäische Kommission (1999b): Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1251/1999. VO (EG) Nr. 2316/1999, ABL. L 280.
- Europäische Kommission (2003): Verordnung mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik. VO (EWG) Nr. 1782/2003 ABL. L 270.

- Europäische Kommission (2007): Verordnung zur Abweichung von der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003. VO (EG) Nr. 1107/2007, ABL. L 253/1.
- Europäische Kommission (2008a): Mitteilung der Kommission an alle Landwirte betreffend die Abschaffung der Flächenstilllegung ab 2009. C 186/8.
- Europäische Kommission (2008b): Durchführungsvorschriften zur Verordnung des Rates über die ökologische Produktion. VO (EG) Nr. 889/2008, ABL. L 250, S. 35.
- Europäische Kommission (2009): Verordnung mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen. VO (EG) Nr. 73/2009, ABL. L30/16.
- Eysel, G.; Hampl, U.; Karrasch, H. (2001): Vegetationsökologische Effekte wendender und nicht wendender Bodenbearbeitung im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung (PÖB). In: Reents, H. J. (Hg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 6. – 8. März 2001. Berlin: Köster, S. 217 – 220.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2009): Gärrestaufbereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf (FNR), Gülzower Fachgespräche 21. Januar 2009, Gülzow, Bd. 30.
- Fachhochschule Südwestfalen (2006): Bewertung von neuen Systemen der Bodenbewirtschaftung in erweiterten Fruchtfolgen mit Körnerraps und Körnerleguminosen. Abschlussbericht.
- FAO (1982): World Soil Charter - Rome: FAO.
- Fernau, G.; Ahrens, E. (1992): Reaktion mikrobiologischer Parameter auf den Einsatz von Herbiziden in Abhängigkeit von Bodenbearbeitungssystemen. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 165 – 176.
- Fiedler, H. J.; Hoffmann, Fr.; Schmiedel, H. (1964): Die Untersuchung der Böden – Die Untersuchung der physikalischen Bodeneigenschaften im Laboratorium. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff.
- Fischbeck, G. (2007): 50 Jahre Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften – Entwicklungslinien in der Forschung für den Pflanzenbau. In: Herrmann, A. (Hg.): 50 Jahre Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Bonn, 18. – 20. September 2007. Kiel: Schmidt & Klaunig, S. 1 – 5.
- Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweisen (2008): Erzeugungsrichtlinien für die Anerkennung der Demeter-Qualität, vom 15.12.2008.
- Frede, H.-G.; Gäth, S.; Lütkemöller, D.; Beisecker, R. (1992): Differenzierte Porensysteme in ihren Auswirkungen auf Luft- und Wasserhaushalt. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 97 – 106.
- Freyer, B. (2003a): Fruchtfolgen – konventionell, integriert, biologisch. 116 Tabellen. Stuttgart: Ulmer.

- Freyer, B. (Hg.) (2003b): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau.
- Freyer, B.; Friedel, K.; Pietsch, G. (2007): Das System viehloser Betriebe. In: Lebendige Erde, H. 3, S. 12 – 14.
- Freyer, B.; Surböck, A.; Heinzinger, M.; Friedel, J. K. (2009): Monitoring der Auswirkungen einer Umstellung auf den Biologischen Landbau (MUBIL II). Abschlussbericht Forschungsprojekt Nr. 100040. Universität für Bodenkultur Wien.
- Friebe, B. (1992a): Entwicklung der Makro- und Mesofauna unter dem Einfluss langfristig differenzierter Bodenbearbeitung. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 117 – 130.
- Friebe, B. (Hg.) (1992b): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck.
- Friebe, B.; Henke, W. (1992): Regenwürmer und deren Abbauleistung bei abnehmender Bearbeitungsintensität. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 139 – 145.
- Friedrich, G.; Sadowski, S.; Cramer, B.; Franken, H. (2002): Penetrologermessungen zur Erfassung von Bodenverdichtungen, Befragungen über Bodenverdichtungen und Bodenschutz in ausgewählten Regionen in NRW. In: Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Universität Bonn (Hg.): Schadverdichtungen in Ackerböden, S. 114 – 124.
- Frielinghaus, M.; Petelkau, H.; Seidel, K. (2002): Die Grundzüge des Schad-Verdichtungs-Gefährdungs-Konzeptes (SVGK) und ein Anwendungsbeispiel. In: Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Universität Bonn (Hg.): Schadverdichtungen in Ackerböden, S. 86 – 100.
- Gäa (2009): Gäa-Richtlinien.
- Gabler Verlag (Hg.) (2010): Wirtschaftslexikon.
- Gerhards, R. (2010): Konkurrenz zwischen Unkraut und Kulturpflanzen. Online verfügbar unter: https://turbo.uni-hohenheim.de/other/lehre0910/Gerhards_Konkurrenz.pdf, zuletzt geprüft am 26.11.2010.
- Gerowitt, B.; Heitefuss, R. (1990): Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. In: Crop Protection, Jg. 9, S. 323 – 331.
- Gisi, U. (1997): Bodenökologie. 51 Tabellen. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart: Thieme (Bücher Biowissenschaften).

- Graß, G. (2008): Körnerleguminosen – zeitgemäß. Vortrag vom 24.06.2008. Homberg/Efze. Veranstalter: Vereinigung Ökologischer Landbau in Hessen und Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft.
- Grocholl, J. (1991): Der Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf den mikrobiologischen Status von Böden verschiedener Standorte unter besonderer Berücksichtigung der C-Umsetzung. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Groß, U. (1992): Dynamik der Bodenoberfläche nach langjährig differenzierter Bodenbearbeitung. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Neukirchen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 31 – 42.
- Groß, U. (1996): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Ver-
schlammungsneigung und Aggregatstabilität verschiedener Böden.
Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Gruber, H.; Thamm, U. (2005): Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in einem schwach lehmigen Sandboden Nordostdeutschlands nach langjähriger ökologischer Bewirtschaftung. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 201 – 202.
- Gruber, S.; Pekrun, C.; Claupein, W. (2010): 10 Jahre Feldversuche zu Unkrautauflkommen bei reduzierter Stoppel- und Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 267 – 271.
- Gutser, R.; Vilsmeier, K. (1985): N-Umsatz von verschiedenem Pflanzenmaterial im Boden in Gefäß- und Feldversuchen. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science 148, H. 6, S. 595 – 606.
- Hampl, U. (2005): 10 Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau – Methoden und Ergebnisse. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 13 – 14.
- Hampl, U. (2010): Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung – ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt der Stiftung Ökologie & Landbau. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 262 – 266.
- Hänsel, M. (2010): Flaches Pflügen im Ökologischen Landbau. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 247 – 251.
- Harder, H. (Hg.) (2003): Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau. KTBL-Tagung und Workshop vom 13. – 14. November 2002 in Kassel. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (KTBL-Schrift, 416).

- Harrach, T. (1999): Persönliche Mitteilung: Naturräumliche Grundlagen. Gießen. Telefon an F. Schulz.
- Harrach, T. (2011): Workshop reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau am 17.03.2011. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen.
- Harrach, T.; Richter, U. (1992): Wirkung von Bodenbearbeitungsverfahren auf den Stickstoffhaushalt im System Boden-Pflanze. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 81 – 96.
- Harrach, T.; Richter, U. (1994): Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitungssysteme auf die Durchwurzelbarkeit des Bodens und die Stickstoffverlagerung mit dem Sickerwasser. In: Tebrügge, F.; Dreier, M. (Hg.): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden. Gießen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 129 – 176.
- Haug, H. M. (1974): Probleme der Umstellung von Konventioneller auf Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise unter besonderer Berücksichtigung ackerbaulicher Maßnahmen. Darmstadt: Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise.
- Helbach, C.; Rinklebe, J.; Neue, H. U. (2001): Der Eindringwiderstand in Auenböden als Indikator der Bodenfeuchte. In: Scholz, M.; Stab, S.; Henle, K. (Hg.): UFZ-Bericht Nr. 8/2001 "Indikation in Auen", S. 140 – 141.
- Herrmann, A. (Hg.) (2007): 50 Jahre Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Bonn, 18. – 20. September 2007. Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Heß, J. (Hg.) (2005): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press.
- Heuwinkel, H. (2007): Symbiontische N₂-Fixierung im Ökologischen Landbau: Ansätze zur Verbesserung der Schätzwerte. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift 458), S. 70 – 83.
- Hillebrecht, B.; Brock, C.; Leithold, G. (2009): Saisonale Dynamik von C_t und N_t im Boden unter Winterweizen mit nachfolgender Zwischenfrucht. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 89 – 92.
- Hoffmann, S.; Herrmann, A.; Taube, F. (Hg.) (2008): Biodiversität in der Pflanzenproduktion. 51. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Göttingen, 1. und 2. Oktober 2008. Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Hofmann, B.; Tischer, S.; Christen, O. (2003): Einfluss langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Humusgehalt und biologische Bodeneigenschaften. In: Kauter, D. (Hg.): Kurzfassungen der Vorträge und Poster, 46. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften vom 25. bis 27. September 2003 in Gießen. Stuttgart: Heimbach, S. 288 – 289.
- Hofmeister, H.; Garve, E. (1998): Lebensraum Acker. Berlin: Parey Buch Verlag.

- Horn, R. (2002): Die Verformung der Böden – Ursachen und Folgen für eine nachhaltige Landnutzung. In: Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Universität Bonn (Hg.): Schadverdichtungen in Ackerböden, S. 75 – 85.
- Hoyer, U.; Papaja, S.; Lammer, C.; Reents, H. J.; Hülsbergen, K. J. (2007): Wirkungen pflugloser Grundbodenbearbeitung in einem ökologischen Ackerbausystem. In: Herrmann, A. (Hg.): 50 Jahre Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Bonn, 18. – 20. September 2007. Kiel: Schmidt & Klaunig, S. 292 – 293.
- Hülsbergen, K.–J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift, Universität Halle. Aachen: Shaker.
- Hütsch, B.; Mengel, K. (1989): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Stickstoffumsatz im Boden und Nitratverlagerung. In: Institut für Landtechnik (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Symposium Mai 1989, S. 119 – 133.
- Institut für Landtechnik (Hg.) (1989): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Symposium Mai 1989.
- Jäger, M. (2004): Gedanken zum viehlosen Ackerbau aus süddeutscher Sicht. In: Schmidt, H. (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau. 1. Aufl. Berlin: Köster, S. 15 – 17.
- Jørgensen, R. G. (1996): The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the K_{EN} value. In: Soil Biology and Biochemistry, Jg. 28, S. 25 – 31.
- Kahnt, G. (2008): Reduzierte Bodenbearbeitung und praktische Maschinenvorstellung. Veranstaltung vom 02.09.2008. Alsfeld. Veranstalter: Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen.
- Kainz, M. (2010): Wirkungen differenzierter Bodenbearbeitungssysteme im Dauerversuch Scheyern. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 272 – 276.
- Kainz, M.; Kimmelman, S.; Reents, H. J. (2003): Bodenbearbeitung im Ökolandbau – Ergebnisse und Erfahrungen aus einem langjährigen Feldversuch. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 33 – 36.
- Kainz, M.; Gerl, G.; Lemnitzer, B.; Bauchenß, J.; Hülsbergen, K.–J. (2005): Wirkungen differenzierter Bodenbearbeitungssysteme im Dauerversuch Scheyern. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 1 – 4.
- Kauter, D. (Hg.) (2003): Kurzfassungen der Vorträge und Poster, 46. Jahrestagung vom 25. bis 27. September 2003 in Gießen. Stuttgart: Heimbach (Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 15).

- Keller, M.; Oberson, A.; Frossard, E.; Mäder, P.; Mayer, J.; Bünemann, E. K. (2009): Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsverfahren auf P-Formen und P-Dynamik im Boden. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 73 – 74.
- Kloepfer, F. (2007): Grundboden- und Stoppelbearbeitung im Ökologischen Landbau. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL-Heft 73).
- Koch, H.-J.; Dieckmann, J.; Heuer, H. (2007): Bodenstruktur und Zuckerrübenwachstum – Ergebnisse aus Dauerversuchen mit differenzierter Bodenbearbeitung. In: Herrmann, A. (Hg.): 50 Jahre Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Bonn, 18. – 20. September 2007. Kiel: Schmidt & Klaunig, Bd. 19, S. 138 – 139.
- Koch, W.; Gaberle, K. (2010): Extensivierung der Grundbodenbearbeitung in einer auf Marktfruchtbau orientierten Vierfelder-Fruchtfolge. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 232 – 236.
- Köhler, B.; Kolbe, H. (2007): Nährstoffgehalte der Fruchtarten im Ökologischen Landbau. In: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Leipzig) (Hg.): Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau (9), Bd. 9, S. 1 – 21.
- Kolbe, H. (2002): Wasserbelastung in Abhängigkeit von der Landnutzung. In: Ökologie & Landbau, H. 2, S. 34 – 35.
- Kolbe, H. (2007a): Ökologischer Ackerbau – Fruchtfolgegestaltung und Düngungsplan. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Online verfügbar unter: http://orgprints.org/11013/1/Schwaeb_Gmuend-Vortrag_07-1.pdf, zuletzt geprüft am 05.04.2011.
- Kolbe, H. (2007b): Designing crop rotations in organic and low-input agriculture: Evaluation of pre-crop effects. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Leipzig). Online verfügbar unter <http://www.orgprints.org/10469/>, zuletzt aktualisiert am 20.08.2009.
- Kolbe, H. (2010a): Bio, Humus und Klimawandel. In: Bioland, H. 4, S. 9 – 10.
- Kolbe, H. (2010b): Die Bodenfruchtbarkeit im Blick. In: Bioland, H. 9, S. 7 – 8.
- Kolbe, H. (2011): Möglichkeiten der Grunddüngung im Ökologischen Landbau. Vortrag am 05.05.2011. Villmar. Veranstalter: Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
- Kolbe, H.; Beckmann, U.; Model, A. (2003): Einfluss von Futterbau- und Marktfruchtssystemen auf Leistungen der Fruchtfolge, Bodenfruchtbarkeit und Umwelt. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 53 – 56.
- Köller, K. (1993): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Wissenschaftliche Ergebnisse – praktische Erfahrungen. Frankfurt (Main): DLG-Verlag.

- Köller, K. (2001): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Wissenschaftliche Ergebnisse – praktische Erfahrungen. 2., neu überarbeitete und erweiterte Auflage Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- Köpke, U. (2003): Spezifika der Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau aus Sicht der Wissenschaft und der Praxis. In: Harder, H. (Hg.): Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau. KTBL-Tagung und Workshop vom 13. – 14. November 2002 in Kassel. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (KTBL-Schrift 416), S. 7 – 22.
- Košutić, S.; Filipović, D.; Gospodarić, Z.; Husnjak, S.; Kovačev, I.; Čopeć, K. (2005): Effects of different Soil Tillage Systems on Yield of Maize, Winter Wheat and Soybean on Albic Luvisol in North-West Slavonia. In: Journal of Central European Agriculture, Jg. 6, H. 3, S. 241 – 248.
- Kratzsch, G.; Hofmann, B.; Christen, O. (2008): Zum Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die Erträge einer Löss-Schwarzerde bei variierter Anbauintensität. In: Hoffmann, S.; Herrmann, A.; Taube, F. (Hg.): Biodiversität in der Pflanzenproduktion. Göttingen, 1. und 2. Oktober 2008. Kiel: Schmidt & Klaunig, S. 25 – 26.
- Krawutschke, M. (2007): Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung auf Gehalt und Dynamik der organischen Bodensubstanz in Ackerböden sowie deren Bedeutung für die Humusbilanzierung. Masterarbeit. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Kubát, J.; Novakova, J.; Friedlova, M.; Frydova, B.; Cerhanova, D.; Šimon, T. (2008): Relationship between the content and quality of the soil organic matter in arable soils. In: Archives of Agronomy and Soil Science, Jg. 54, H. 4, S. 343 – 351.
- Kundler, P. (1984): Anforderungen an die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit unter besonderer Berücksichtigung der Bodenbearbeitung und Unterbodenerschließung. In: Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. 227.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hg.) (2007): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Darmstadt: KTBL (KTBL-Schrift, 458).
- Küstermann, B.; Hofmann, M.; Schmid, H.; Gerl, G.; Kainz, M.; Hülsbergen, K.-J. (2005): Langzeituntersuchung der Stickstoff- und Kohlenstoffkreisläufe eines intensiven ökologischen Betriebssystems – am Beispiel des Versuchsgutes Scheyern. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 203 – 204.
- Kutschera, L. (1960): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. Frankfurt (Main): DLG-Verlags-GmbH.
- Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Universität Bonn (Hg.) (2002): Schadverdichtungen in Ackerböden.
- Leithold, G. (1982): Die Verwertung des gedüngten Stickstoffs im System Boden-Pflanze als Grundlage zur Erstellung von Stickstoffbilanzen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift Universität Halle, Jg. 31, H. 1, S. 61 – 66.

- Leithold, G. (1984): Untersuchung der Beziehung zwischen ackerbaulichen Maßnahmen, Ertrag und Humusreproduktion sowie Erarbeitung einer Methode zur Berechnung des Bedarfs des Bodens an organischer Primärsubstanz. Habilitationsschrift. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Leithold, G. (2009): Bedeutung von Gärsubstraten aus der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung für die Humusbilanz. In: Gärrestaufbereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf (FNR), Gülzower Fachgespräche 21. Januar 2009, Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 30, S. 134–146.
- Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J. (1997): Verfahren der Humusbilanzierung – methodische Grundlagen und Anwendung in verschiedenen Bewirtschaftungssystemen. In: VDLUFA (Hg.): VDLUFA-Schriftenreihe 46/1997 Kongressband. Saarbrücken, S. 383–386.
- Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J.; Michel, D.; Schönmeier, H. (1997): Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hg.): Initiative zum Umweltschutz 5. Osnabrück: Zeller-Verlag, S. 43–54.
- Leithold, G.; Schulz, F.; Franz, K. P. (2003): Eignung von Sojabohnensorten mit kurzer Vegetationszeit für einen Anbau auf einem ökologisch bewirtschafteten Grenzstandort unter Berücksichtigung unterschiedlicher Reihenweiten. In: Pflanzenbauwissenschaften, Jg. 7, H. 1, S. 21–28.
- Leithold G.; Brock C.; Hoyer, U.; Hülsbergen, K.-J. (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Darmstadt: KTBL-Schrift 458, S. 24–50.
- Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.) (2011): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16.–18. März 2011. Berlin: Köster.
- Leithold, G.; Becker, K. (2011): Das Anbauverfahren Weite Reihe für Winterweizen im Ökologischen Landbau: Möglichkeiten zur Verbesserung der Backqualität unter stickstofflimitierten Bedingungen. In: Archives of Agronomy and Soil Science, DOI: 10.1080/03650341003694689.
- Leppin, T. (2007): Mobilisierungspotential unterschiedlicher Pflanzen für stabile Phosphatformen im Boden. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Liebhart, P.; Eitzinger, J.; Klaghofer, E. (1995): Einfluss der Primärbodenbearbeitung auf Aggregatstabilität und Eindringwiderstand im oberösterreichischen Zentralraum. In: Die Bodenkunde, Jg. 46, S. 1–18.
- Lindenthal, T.; Klingbacher, E.; Kranzler, A.; Hanz, K. (2008): Schwerpunktthema Körnerleguminosen und Mischfruchtanbau. Herausgegeben von: Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich. Wien.
- Lipavský, J.; Kubát, J.; Zobac, J. (2008): Long-term effects of straw and farmyard manure on crop yields and soil properties. In: Archives of Agronomy and Soil Science, Jg. 54, H. 4, S. 369–379.

- Loges, R.; Heuwinkel, H. (2004): Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras – Auswirkung der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt der Fruchtfolgen. In: Schmidt, H. (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau. 1. Aufl. Berlin: Köster, S. 21 – 25.
- Loges, R.; Taube F. (2007): Stickstoffflüsse im ökologischen Futterbaubetrieb. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Darmstadt: KTBL-Schrift 458, S. 84 – 94.
- Loges, R.; Thaysen J. (2003): Siliereignung und Silagequalität von Luzerne- bzw. Rotklee gras in Abhängigkeit vom Begleitgrasanteil. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 181 – 184.
- Ludwig, B.; Raupp, J.; Heitkamp, F. (2009): Die Wirkung von Düngerart und Düngermenge auf die Partitionierung von Kohlenstoff und Stickstoff in Pools mit unterschiedlichem Umsatz. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 61 – 64.
- Lux, G.; Schmidtke, K. (2011): Kurzfristige Wirkungen organischer Düngemittel mit unterschiedlichem C/N-Verhältnis auf den Ertrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.) und nachfolgender Kultur Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) sowie Unkrautwachstum. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 185 – 188.
- Mäder, P.; Berner, A.; Dierauer, H. -U; Messmer, M. (2011): Langjährige Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung auf unterschiedlichen Standorten. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 30 – 31.
- Manojlović, M.; Aćin, V.; Šeremešić, S. (2008): Long-term effects of agronomic practices on soil organic carbon sequestration in Chernozem. In: Archives of Agronomy and Soil Science, Jg. 54, H. 4, S. 353 – 367.
- Massucati, L.; Geib, B.; Köpke, U. (2011): Effekte temporärer Direktsaat von Ackerbohnen (*V. faba* sp.) auf die Segetalflora im Ökologischen Landbau. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 294 – 297.
- Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.) (2009): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster.
- McLaughlin, N. B.; Gregorich, E. G.; Dwyer, L. M.; Ma, B. L. (2002): Effects of organic and inorganic soil nitrogen amendments on mouldboard plow draft. In: Soil and Tillage Research, Jg. 64, S. 211 – 219.

- Miersch, M. (2010): Direktsaat von Sojabohnen in der Poebene. Persönliche Mitteilung an F. Schulz.
- Moitzi, G.; Boxberger, J. (2009): Kraftstoffverbrauch und Reduktionspotentiale. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, S. 394 – 397.
- Moitzi, G.; Weingartmann, H.; Boxberger, J. (2006): Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption. In: The Union of Scientists (Hg.): Energy Efficiency and Agricultural Engineering. Rousse, Bulgaria: 07. – 09.6.2006, S. 237 – 242.
- Müller, C.; Siebrecht, N.; Reents, H. J.; Brandhuber, R.; Kainz, M. (2009): Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion – Beitrag 2: Einfluss des Leguminosenmanagements auf Merkmale der Bodenerodibilität. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 57 – 60.
- Naturland (2009): Naturland Richtlinien Erzeugung, vom November 2009.
- Neuerburg, W.; Padel, S. (1992): Organisch-biologischer Landbau in der Praxis. Umstellung, Betriebs- und Arbeitswirtschaft, Vermarktung, Pflanzenbau und Tierhaltung. München: BLV-Verlags-Gesellschaft.
- Neuhoff, D.; Halberg, N.; Alföldi, T. (Hg.) (2008): Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR). 18 – 20 June 2008 in Modena, Italy (1).
- Neumann, H.; Loges, R.; Taube, F. (2005): Entwicklung eines pfluglosen Getreideanbausystems für den Ökologischen Landbau: "Bicropping" von Winterweizen und Weißklee. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 29 – 32.
- Paffrath, A. (2005): Systemvergleich wendende und nicht-wendende Bodenbearbeitung unter Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Landwirtschaftskammer NRW. Online verfügbar unter <http://www.oekolandbau.nrw.de>.
- Paffrath, A.; Stumm, C. (2010): Systemvergleich wendende und nicht-wendende Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 252 – 256.
- Pallutt, B. (2003): Mulchsaat – Grenzen des Systems. In: DLG-Mitteilungen, H. 1, S. 44.
- Pekrun, C.; Schneider, N.; Wüst, C.; Jauss, F.; Claupein, W. (2003): Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung auf Ertragsbildung, Unkrautdynamik und Regenwurmpopulationen im Ökologischen Landbau. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 21 – 24.

- Peter, M.; Harrach, T. (1991): Bewertung der potentiellen Nitratauswaschungsfährdung in Wasserschutzgebieten. In: *Feldwirtschaft*, Jg. 32, S. 453–455.
- Peyker, W.; Degner, J.; Götz, R.; Farack, M. (2004): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von feinkörnigen Leguminosen und deren Grasgemengen. Herausgegeben von: Thüringische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Piepho, H. P.; Büchse, A.; Emrich, K. (2003): A Hitchhiker's Guide to the Mixed Model Analysis of Randomized Experiments. In: *Journal of Agronomy and Crop Science*, H. 189, S. 310–322.
- Popp, A.; Lotze-Campen, H.; Bodirsky, B. (2010): Food consumption, diet shifts and associated non-CO₂ greenhouse gases from agricultural production. In: *Global Environmental Change*, Jg. 20, H. 3, S. 451–462.
- Ramharter, R.; Besenhofer, G.; Boxberger, J. (2001): Vergleich konventioneller Pflug mit Zweischichtenpflug im Hinblick auf Zugkraft- und Energiebedarf. In: Reents, H. J. (Hg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 6.–8. März 2001. Berlin: Köster, S. 361–363.
- Rauhe, K.; Schönmeier, H. (1966): Über die Bedeutung des Humusersatzes beim Übergang zu industriemäßigen Pflanzenproduktionsmethoden. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig*, S. Math.-Nat. Reihe 15: 1–5.
- Raupp, J. (Hg.) (2006): Long-term field experiments in organic farming. Berlin: Köster (Scientific series / ISOFAR).
- Raupp, J.; Jarosch, A.-M.; Oltmanns, M. (2008): Der Vorteil von Stallmist gegenüber pflanzlichem organischem Dünger für den Ertrag von Rotklee und den Humusgehalt des Bodens. In: Hoffmann, S.; Herrmann, A.; Taube, F. (Hg.): Biodiversität in der Pflanzenproduktion. Göttingen, 1. und 2. Oktober 2008. Kiel: Schmidt & Klaunig, S. 35–36.
- Reents, H. J. (Hg.) (2001): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 6.–8. März 2001. Berlin: Köster.
- Reinicke, F.; Christen, O. (2007): Leistung und langfristige Wirkung auf Humus- und Nährstoffhaushalt verschiedener Anbausysteme des Ökologischen Landbau – Ergebnisse der 1. Rotation eines Dauerfeldversuchs. In: Zikeli, S. (Hg.): Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Hohenheim, 20.–23. März 2007. Berlin: Köster, S. 97–100.
- Reinicke, F.; Hülsbergen, K.-J.; Warnstorff, K.; Christen, O. (2003): Der Dauerversuch "Ökologische Anbausysteme" auf einem Schwarzerdestandort – Versuchsaufbau und erste Ergebnisse. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24.–26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 57–60.
- Reinicke, F.; Heyer, W.; Christen, O. (2010): Langfristige Wirkungen differenzierter Anbausysteme des Ökologischen Landbaus. In: Schmidt, H. (Hg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6), S. 242–246.

- Röhricht, C.; Freydank, S.; Schröder, S. (2009): Energiefruchtfolgen für D-Südstandorte. Herausgegeben von Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Römer, W. (2004): Vergleichende Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat aus verschiedenen P-Recycling-Produkten im Keimpflanzenversuch. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169, H. 6, S. 826–832.
- Ruhe, I.; Loges, R.; Taube, F. (2003): Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof. In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24. – 26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 97–100.
- Rühlemann, L.; Schmidtke, K. (2010): Direktsaat kommt besser durch den Winter. In: *Bioland*, H. 7, S. 9–10.
- Rusch, H. P. (2004): Bodenfruchtbarkeit. Eine Studie des biologischen Denkens; mit 29 Tabellen. 7. Auflage Xanten: OLV Organischer Landbau-Verlag Lau.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Leipzig (Hg.) (2007): Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau (9).
- SAS Institute Inc. (2008): SAS/STAT 9.2 User's Guide. Cary NC: SAS Institute Inc.
- Sattler, F.; Wistinghausen, E. v. (1985): Der landwirtschaftliche Betrieb. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (Ökologie im Landbau).
- Schaub, D.; Paulsen, H. M.; Böhm, H. (2007): Dauermonitoring Boden: Entwicklung der N_{min} -Gehalte im Verlauf verschiedener Fruchtfolgen. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) (Hg.): Jahresbericht 2007, S. 17–18.
- Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Auflage Stuttgart: Enke.
- Scheller, E. (1988): Aktive Nährstoffmobilisierung durch die Pflanzen: Selbstverlag Edwin Scheller.
- Scheller, E. (2002): Eiweißstoffwechsel im Boden und Humusaufbau. In: *Lebendige Erde*, H. 3, S. 40–43.
- Schlüter, K. (2002): Vergleich von Fruchtfolge- und Bodenbearbeitungssystemen im schleswig-holsteinischen Ackerbau auf dem Versuchsstandort Ostfeld der FH Kiel. Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt. Fachhochschule Kiel.
- Schmidt, H. (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau. Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. Dissertation. Universität Gesamthochschule Kassel.
- Schmidt, H. (Hg.) (2004): Viehloser Öko-Ackerbau. 1. Aufl. Berlin: Köster.
- Schmidt, H. (2010a): Es geht auch ohne tiefes Pflügen. In: *Ökologie & Landbau*, H. 4, S. 36–39.
- Schmidt, H. (Hg.) (2010b): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse. 1. Aufl. Berlin: Köster (Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau, 6).

- Schmidt, H. (2011): Effekte reduzierter Bodenbearbeitung auf Bodeneigenschaften in der Praxis des ökologischen Ackerbaus. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 18 – 21.
- Schmidt, H.; Leithold, G. (2005): Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof – Effekte von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung in der ersten Rotation. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 255 – 258.
- Schmidt, H.; Schulz, F.; Leithold, G. (2006): Organic Farming Trial Gladbacherhof. Effects of different crop rotations and tillage systems. In: Raupp, J. (Hg.): Long-term field experiments in organic farming. Berlin: Köster (Scientific series / ISO FAR), S. 165 – 182.
- Schmidt, H.; Schüler, C.; Jörgensen, R. G. (2007): Organische Substanz in ökologisch bewirtschafteten Böden, Quantität, Qualität und ihr Einfluss auf Getreideerträge. In: Zikeli, S. (Hg.): Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Hohenheim, 20. – 23. März 2007. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 65 – 68.
- Schmidtke, K. (1997): Einfluss von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiontische N₂-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl₂-extrahierbare N-Fractionen im Boden. Dissertation Universität Gießen, 1997. Gießen: Eigenverlag Schmidtke.
- Schmidtke, K. (2004): Stickstoffwirkungen von Körnerleguminosen als Druschfrucht und von Zwischenfrucht-Leguminosen. In: Schmidt, H. (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau. 1. Aufl. Berlin: Köster, S. 26 – 29.
- Schmidtke, K. (2009): Masterplan erfolgreicher Körnerleguminosenanbau. Vortrag am 02.07.2009. Villmar. Veranstalter: Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Schmücker, M. (1997): Persönliche Mitteilung: Die Böden des Gladbacherhofes. Brief an F. Schulz.
- Schneider, M. (2009): Fruchtfolgegestaltung und konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat – Eine pflanzenbaulich/ökonomische Analyse. Dissertation. Technische Universität München.
- Scholz, M.; Stab, S.; Henle, K. (Hg.) (2001): UFZ-Bericht Nr. 8/2001 "Indikation in Auen".
- Schubert, A. (2001): Bodenbiologische Untersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. München.
- Schubert, R.; Jäger, E.; Werner, K.; Rothmaler, W. (1988): Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und der BRD. 3: Atlas der Gefäßpflanzen. 7. Aufl. Berlin: Volk und Wissen.
- Schulz, E. (2005): Bestimmung von Humusgehalt und Humusqualität. Vortrag vom 24.11.2005. Braunschweig. Veranstalter: FAL.

- Schulz, F.; Brock, C.; Leithold, G. (2008): Effects of Farm Type and Different Intensities of Soil Tillage on Cash Crop Yields and Soil Organic Matter. In: Neu-hoff, D.; Halberg, N.; Alföldi, T. (Hg.): Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR). 18–20 June 2008 in Modena, Italy, Bd. 1, S. 580–583.
- Schulz, F.; Brock, C.; Leithold, G. (2009a): Pflanzenenerträge und Beikrautaufkommen unter dem Einfluss unterschiedlicher Systeme der Grundbodenbearbeitung im ökologischen Dauerfeldversuch Gladbacherhof. In: VDLUFA (Hg.): 121. VDLUFA-Kongress am 15./16. September 2009 in Karlsruhe. Kongressband. Darmstadt: VDLUFA-Verlag (VDLUFA-Schriftenreihe, 65), S. 180–186.
- Schulz, F.; Brock, C.; Leithold, G. (2009b): Effekte unterschiedlicher Systeme der Grundbodenbearbeitung auf Erträge und Beikraut im Dauerfeldversuch Gladbacherhof. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11.–13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 22–25.
- Schulz, F.; Brock, C.; Leithold, G. (2011): Einfluss reduzierter Grundbodenbearbeitung auf Erträge und Bodenparameter im Dauerfeldversuch Gladbacherhof. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16.–18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 22–25.
- Schweiger, P.; Petrasek, R.; Ableidinger, C.; Hartl, W. (2009): Tiefenverteilung von Wurzeln bei Winterweizen. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11.–13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 119–122.
- Seibel, W.; Botterbrodt, S. (2005): Warenkunde Getreide. Inhaltsstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung. Bergen/Dumme: Agrimedia.
- Siebeneicher, G. E. (1993): Handbuch für den Biologischen Landbau. Das Standardwerk für alle Richtungen und Gebiete. Augsburg: Naturbuch-Verlag.
- Smith, K. A.; Mullins, C. E. (Hg.) (1991): Soil Analysis. Physical Methods. Books in Soils, Plants and Environment.
- Sommer, H. (2010): Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im Ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation Universität Gießen, 2009. Berlin: Köster (Giessener Schriften zum Ökologischen Landbau, 3).
- Sprenger, B. (2005): Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung und Vorfrucht auf die Unkrautvegetation. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1.–4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 23–26.
- Sprenger, B.; Belde, M. (2003): Auflaufraten von Ackerwildpflanzen auf ökologisch bewirtschafteten Flächen des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM). In: Freyer, B. (Hg.): Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Wien, 24.–26. Februar 2003. Wien: Universität für Bodenkultur Institut für Ökologischen Landbau, S. 533–534.

- Statistisches Bundesamt (2011): Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung. Online verfügbar unter <http://www.destatis.de>.
- Steffens, D.; Stamm, R.; Yan, F.; Leithold, G.; Schubert, S. (2005): Rohphosphatmobilisierung von Sommerweizen, Weißer Lupine und Ackerbohne in einer Fruchtfolge. In: Heß, J. (Hg.): Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1. – 4. März 2005. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 213 – 216.
- Stein-Bachinger, K.; Bachinger, J. (2007): Stickstoffbilanz: Datengrundlagen und Bilanzierungsansätze für Betriebe des Ökologischen Landbaus. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Darmstadt: KTBL-Schrift 458, S. 62 – 69.
- Stein-Bachinger, K.; Bachinger, J.; Schmitt, L. (2004): Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. Ein Handbuch für Beratung und Praxis ; Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen; Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff. Münster: Landwirtschaftsverlag (KTBL-Schrift 423).
- Steiner, R. (1996): Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft. Landwirtschaftlicher Kurs, Koberwitz bei Breslau 1924. Dornach/Schweiz: Steiner
- Steinert, K. (2010): Pfluglos seit fast 30 Jahren. In: Bioland, H. 1, S. 16 – 17.
- Stinner, P. W. (2011): Auswirkungen der Biogaserzeugung in einem ökologischen Marktfruchtbetrieb auf Ertragsbildung und Umweltparameter. Dissertation Universität Gießen. 1. Aufl. Berlin: Köster (Gießener Schriften zum Ökologischen Landbau, 4).
- Tebrügge, F.; Dreier, M. (Hg.) (1994): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden. Gießen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck.
- Tebrügge, F.; Eichhorn, H. (1992): Die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystemen. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 7 – 20.
- The Union of Scientists (Hg.) (2006): Energy Efficiency and Agricultural Engineering. Rousse, Bulgaria: 07. – 09.6.2006.
- UFOP (2008): Positionspapier des UFOP-Vorstandes zur Förderung heimischer Körnerleguminosen. Herausgegeben von UFOP e. V. Berlin.
- Umweltbundesamt (2010): Emissionen von Kohlendioxid in Deutschland im Jahr 2009. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>.
- Urbatzka, P.; Graß, R.; Schüler, C.; Trautz, D.; Heß, J. (2009): Bestimmung der N-Fixierung unterschiedlicher Wintererbsengenotypen im Vergleich zu einer Sommererbse in Rein- und Gemengesaat. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, S. 99 – 102.

- Vakali, C.; Köpke, U. (2001): Spross- und Wurzelentwicklung von Getreide bei reduzierter Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. In: Reents, H. J. (Hg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Freising, 6. – 8. März 2001. Berlin: Köster, S. 225 – 228.
- VDLUFA (Hg.) (1997): VDLUFA-Schriftenreihe 46/1997, Kongressband. Saarbrücken.
- VDLUFA (Hg.) (2004a): VDLUFA-Standpunkt: Humusbilanzierung - Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Speyer: VDLUFA-Verlag.
- VDLUFA (Hg.) (2004b): VDLUFA-Schriftenreihe 59/2004, Kongressband. Saarbrücken.
- VDLUFA (Hg.) (2008): 120. VDLUFA-Kongress vom 16. – 19. September 2008 in Jena. Kongressband. Darmstadt: VDLUFA-Verlag (VDLUFA-Schriftenreihe, 64).
- VDLUFA (Hg.) (2009): 121. VDLUFA-Kongress am 15./16. September 2009 in Karlsruhe. Kongressband. Darmstadt: VDLUFA-Verlag (VDLUFA-Schriftenreihe, 65).
- Vogt-Kaute, W. (2004): Viehloser Ackerbau aus Sicht eines Beraters. In: Schmidt, H. (Hg.): Viehloser Öko-Ackerbau. 1. Aufl. Berlin: Köster, S. 18 – 20.
- Wagner, F.; Prediger, G.; Tiggemann, B.; Schmidt, I. (Hg.). (2007): Der Feldversuch. Durchführung und Technik. 3. Auflage Bad Hersfeld: Selbstverlag.
- Weber, J. (2010): Stichwort: Koppelprodukte. In: Gabler Verlag (Hg.): Wirtschaftslexikon .
- Weiler, V. (2009): Die Kuh eine "Klimabombe". In: Bauernstimme, H. 9, S. 12.
- Weise, G. (1992): Untersuchungen zur energetischen und ackerbaulichen Optimierung von Bodenbearbeitungskombinationen. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 51 – 56.
- Weller, S. (2011): Gründüngung einmal anders. In: Bioland, H. 2, S. 16 – 17.
- Wild, M.; Demmer, M.; Brandhuber, R.; Gronle, A.; Böhm, H.; Lux, G.; Schmidtke, K.; Haase, T. (2011): Auswirkungen differenzierter mechanischer Bodenbelastungen auf die Erträge von Erbse, Hafer und Erbse-Hafer-Gemenge. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 72 – 75.
- Wilhelm, B.; Hensel, O. (2009): Förderung der Mulchsaat im Ökolandbau – das Auflaufverhalten von Zwischenfrüchten. In: Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F. (Hg.): Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich, 11. – 13. Februar 2009. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 384 – 385.

- Wilhelm, B.; Tiedemann, L.; Hensel, O.; Heß, J. (2011): Grundbodenbearbeitung im Ökolandbau – eine Betriebsumfrage. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 40 – 43.
- Wilkins, K. (1992): Kennzeichnung des Makroporensystems des Bodens bei abnehmender Bearbeitungsintensität (P, FR, D) mittels digitaler Bildanalyse. In: Friebe, B. (Hg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium vom 12. – 13. Mai 1992 in Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen. Niederkleen: Wissenschaftlicher Fachverlag Fleck, S. 43 – 49.
- Wytek, R. (2007): Bio-vegane Landwirtschaft. In: Lebendige Erde, H. 3, S. 14 – 15.
- Zentler, J. (2011): Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökolandbau – Erfahrungswissenschaftliche Analyse österreichischer Ackerbaubetriebe. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Gießen, 16. – 18. März 2011. Berlin: Köster, Bd. 1, S. 26 – 29.
- Zikeli, S. (Hg.) (2007): Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Hohenheim, 20. – 23. März 2007. Berlin: Köster.
- Zimmer, J.; Dittmann, B. (2004): Nährstoffbilanzen im Ökologischen Landbau unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme. In: VDLUFA (Hg.): VDLUFA-Schriftenreihe 59/2004, Kongressband. Saarbrücken, S. 75 – 83.

Anhang

Tab. A-1: Gehalte an Mikronährstoffen [mg kg^{-1}] und Gehaltsklassen in der Bodenschicht 0–30 cm im Jahr 1998

Parzelle	Eisen (Fe)	Kupfer (Cu)	Zink (Zn)	Mangan (Mn)	Bor (B)	Molybdän (Mo)
3	243	4,66 E	4,44 E	303 E	0,42 C	0,034 C
11	378	5,64 E	3,43 E	344 E	0,53 C	0,003 A
18	243	5,17 E	3,56 E	312 E	0,38 C	0,018 C
27	77,1	3,87 E	2,85 E	126 E	0,30 A	0,061 C
35	53,6	2,63 E	2,51 E	71,3 E	0,26 A	0,052 C
44	288	5,20 E	3,97 E	315 E	0,41 C	0,014 A

Prüfverfahren: VDLUFA-Methodenhandbuch I, 1997, A 7.6.1

A = sehr niedrig, C = mittel, E = sehr hoch

Tab. A-2: Gehalte an C_{org} , N_t und Humus [%] sowie C_{org}/N_t -Verhältnis in 3 Bodenschichten im Jahr 1998

Bodenschicht	C_{org} in %	N_t in %	Humusgehalt in %	C_{org}/N_t
0–30 cm	1,256	0,142	2,2	8,9 : 1
30–60 cm	0,544	0,060	0,9	9,0 : 1
60–90 cm	0,506	0,047	0,9	10,7 : 1

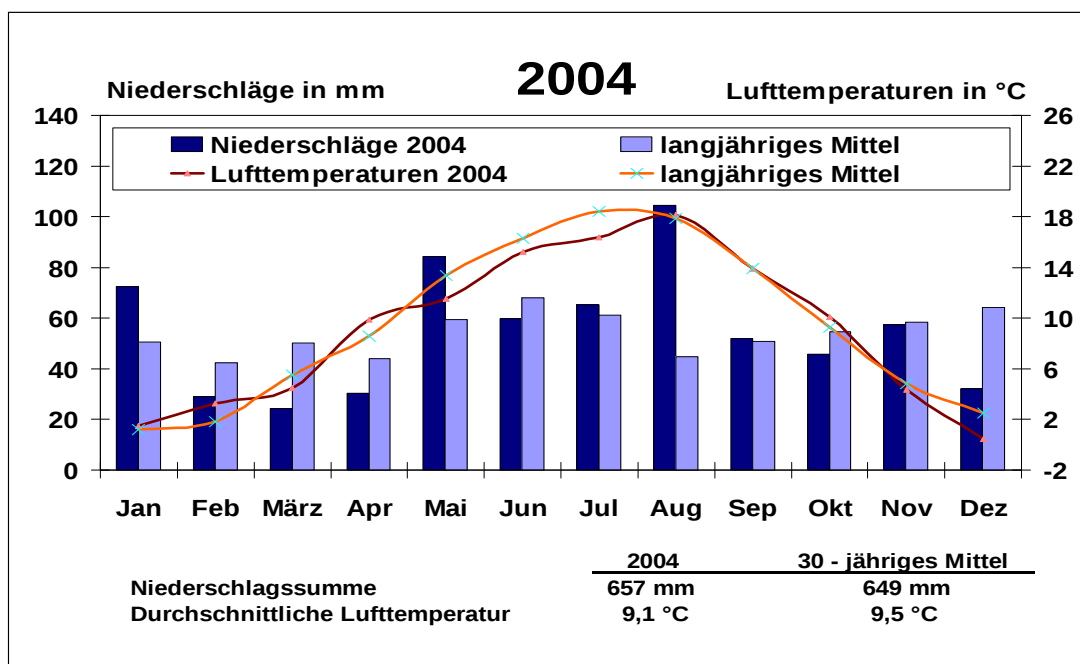


Abb. A-1: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2004 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim

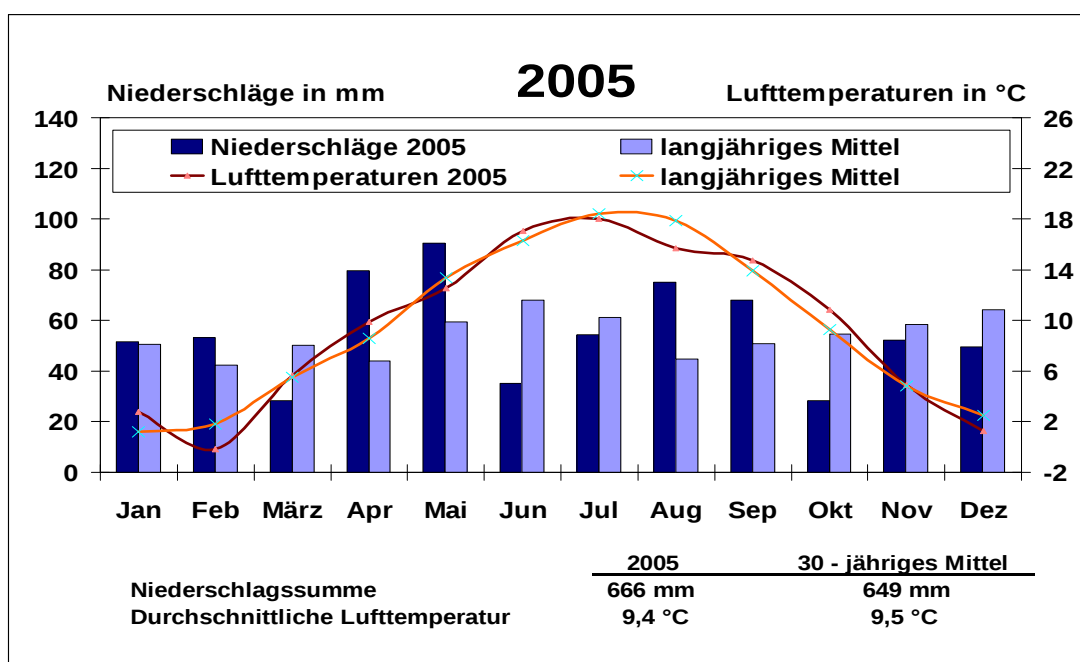


Abb. A-2: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2005 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim

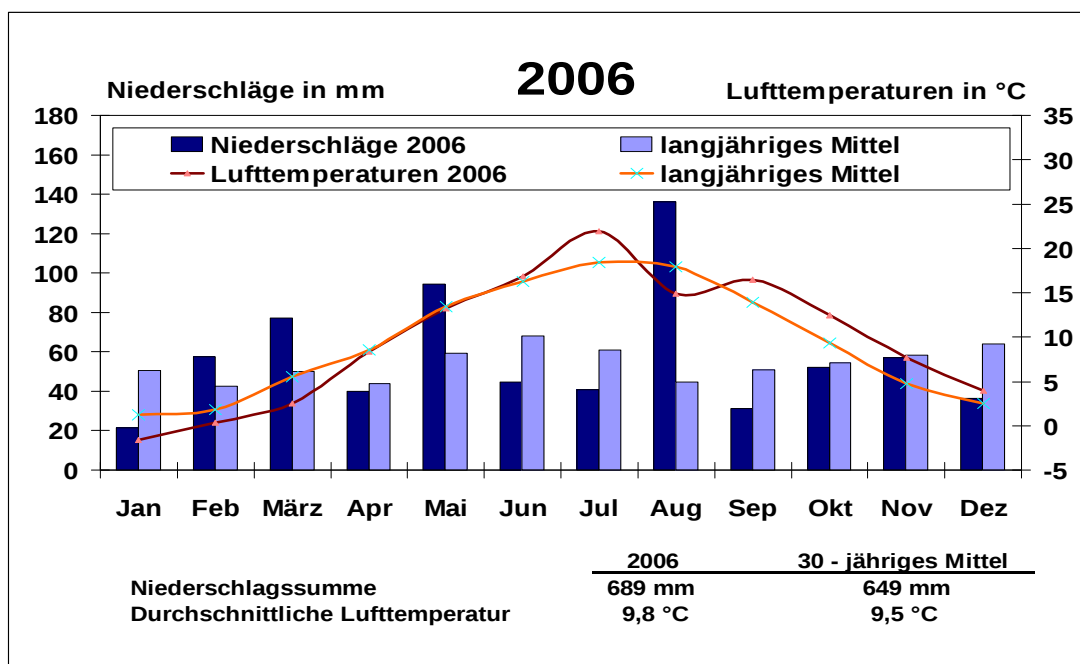


Abb. A-3: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2006 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim

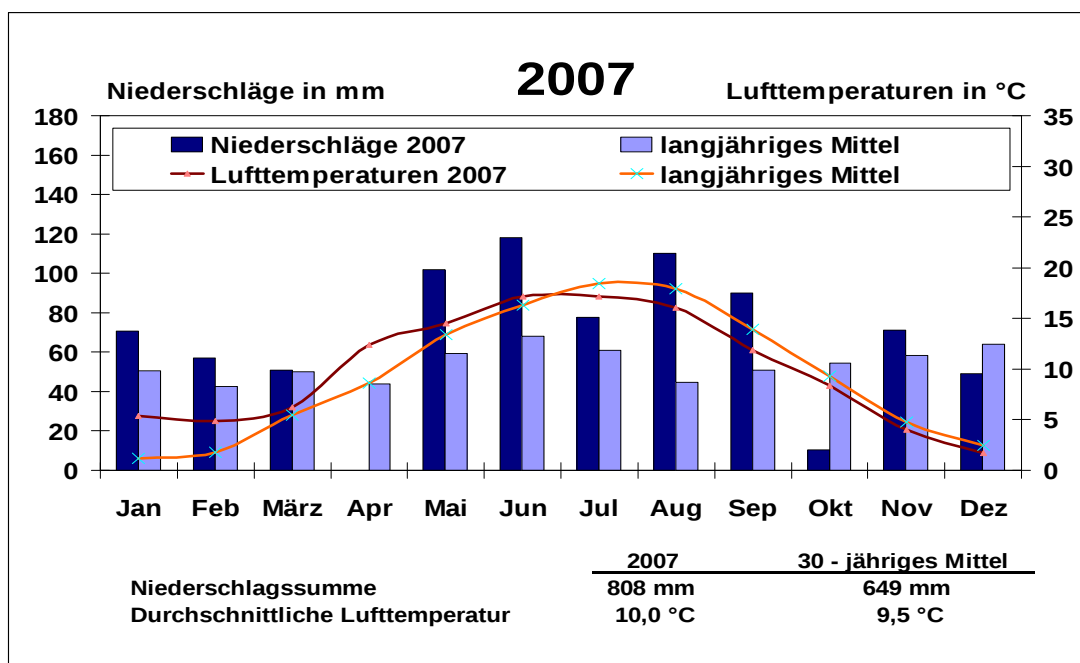


Abb. A-4: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2007 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim

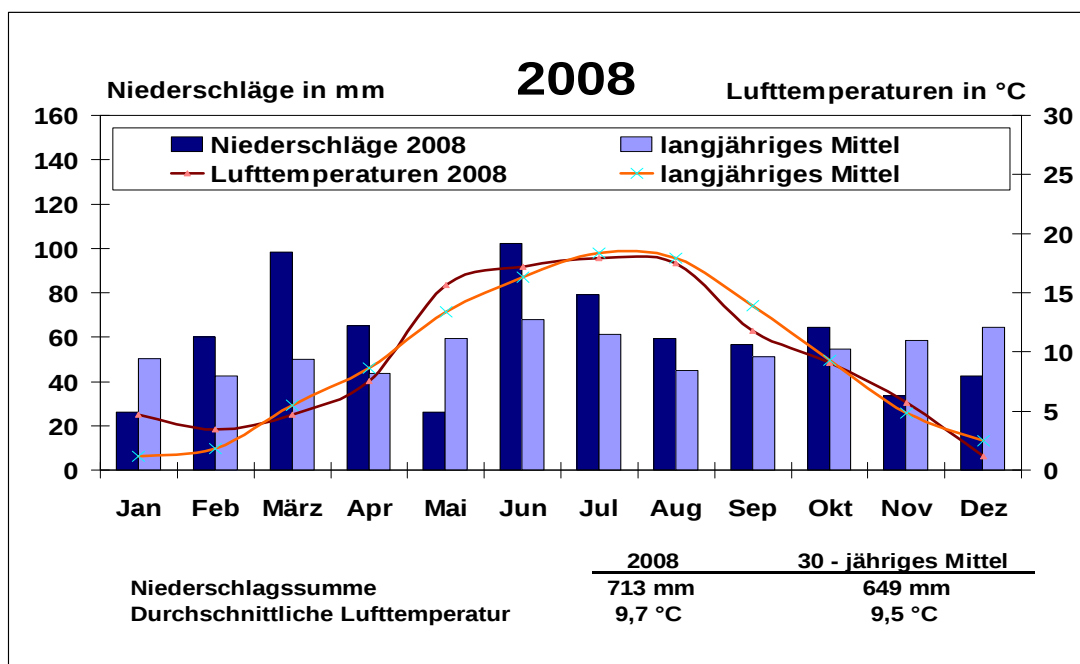


Abb. A-5: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2008 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim

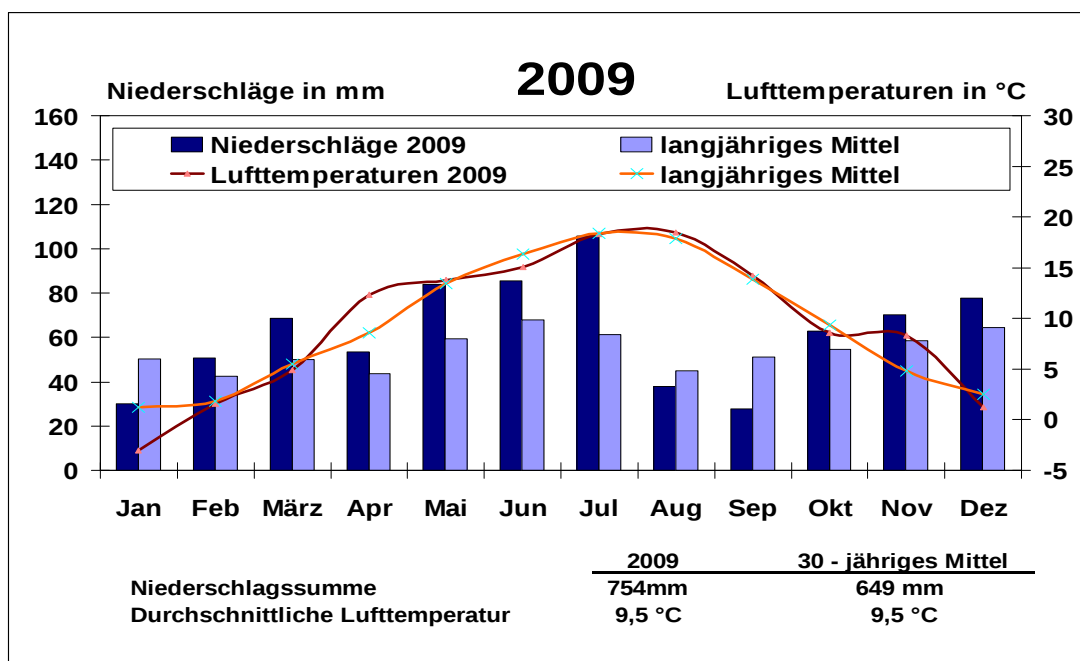
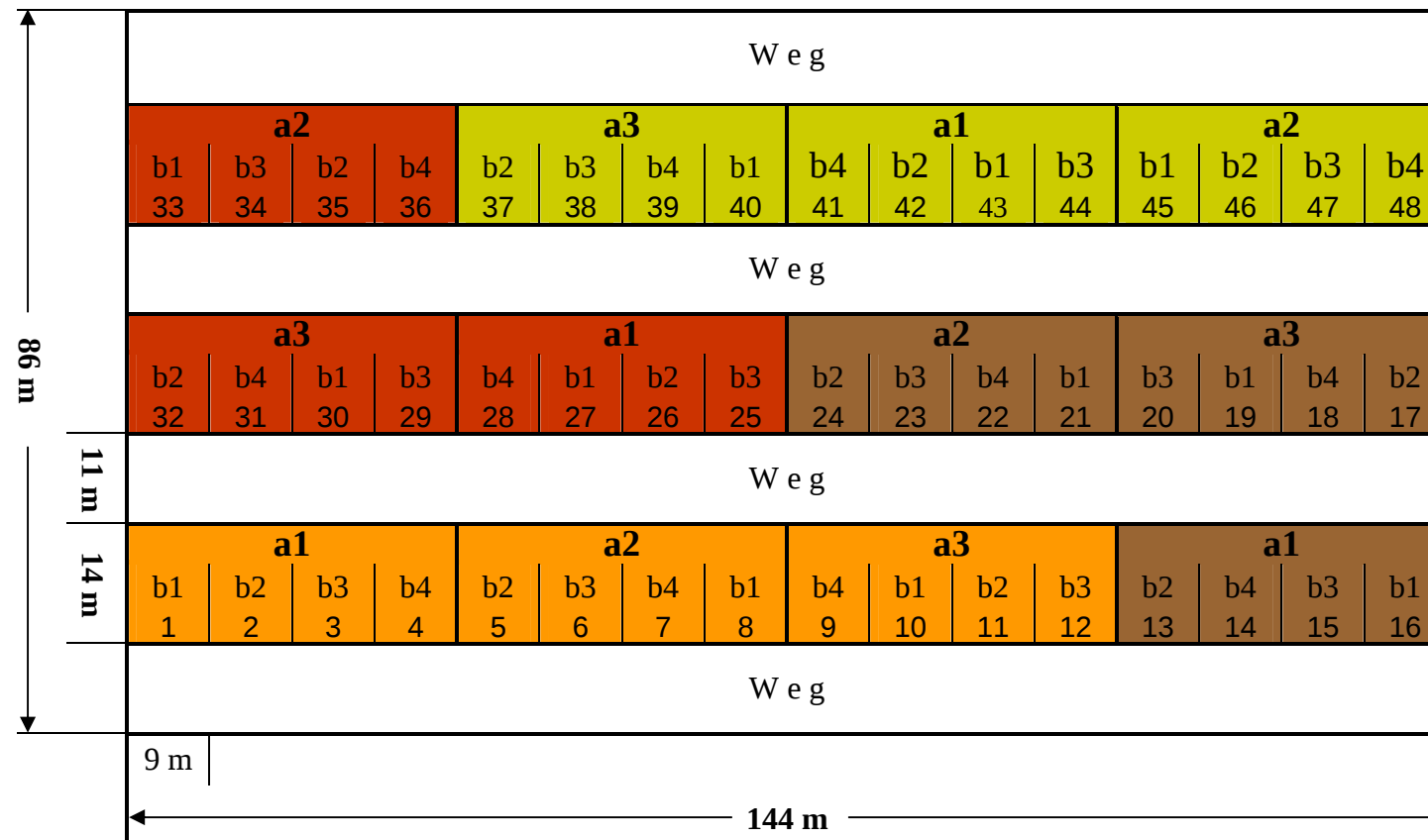


Abb. A-6: Monatliche Niederschlagssummen [mm] und monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] 2009 am Gladbacherhof im Vergleich zu langjährigen Durchschnittswerten der Wetterstation Limburg-Offheim



a1 – a3 = Betriebssysteme
a1 = GM-V
a2 = VL-GB
a3 = VL-MF

b1 – b4 = Bodenbearbeitungssysteme
b1 = P30
b2 = ZP30/15
b3 = P15
b4 = SR30/15

I II III IV = Wiederholungen (Blöcke)

1 – 48 = Parzellen-Nummern

Abb. A-7: Parzellenplan

Tab. A-3: Beschreibung der eingesetzten Maschinen

Nr.	Hersteller	Maschinenart	Typ	Arbeitsbreite in m	Gewicht in kg	Leistungsbedarf in KW	Beschreibung
1	Gassner	2-Schichten-Pflug	VA 1280/GU 400	1,20 – 2,00	1890	96	4 Schare; 2-Schicht-Ausführung, Vario
2	Kuhn	Schichtengrubber	DC 300	3,00	508		4 Schare, 0,66 m breit; Anstellwinkel 22 °
3	Lemken	Zinkenrotor (Rotoregge)	Granit 7/300	3,00	1550	60 – 90	Zinkenrotor oder Fräswelle
4	Lemken	Schwergrubber	Smaragd 9	3,00	1160		2 Balken Flügelschare, 1 Balken Scheiben, 2 Krümelwalzen
5	Lemken	Saatbettkombination	Korund 450L	4,50	1570		3 Felder mit Federzinken in 4 Reihen
6	Knoche	Scheibenegge	VS	2,50	1900		2 Wellen, Scheiben-Ø 0,66 m
7	Lemken	Kreiselegge	Zirkon 7/300	3,00	1475	50 – 100	
8	Lemken	Drillmaschine	Saphir 7	3,00	1000		24 Doppelscheibenschare
9	Amazone	Drillmaschine	D7 „Super-S“	3,00	590		25 Schleppschare; Bereifung 6.00-16 4PR
10	Cramer	Kartoffellegegerät	Junior	3,00			Vollautomat
11	Einböck	Hackstriegel	FZHE 900 H	9,00	810		Zinkendurchmesser 7 mm, 6 Reihen, 60 Zinken pro Reihe
12	Hatzenbichler	Hackstriegel	Federzahnhackegge	3,00	244		Zinkendurchmesser 6 mm, 6 Reihen, 16 Zinken pro Reihe
13	Schmotzer	Zwischenachshacke		3,00	212		Mehrzweck-Parallelogr., Gänsefußhackschare
14	Gruse	Kartoffelhäufelgerät	LB	3,00	396		Frontanbau
15	Gruse	Kartoffelhäufelgerät	KP LBV	3,00	508		Heckanbau, mit Striegel möglich
16	Holder	Pflanzenschutzspritze	Regina R2				Rückentragegerät, 17 l
17	Kuxmann	Siebkettenroder	Goliath	1,50	527		mit Fallstufe
18	Kuhn	Schlegelmulcher	VKM 305	3,00	927		
19	Remprodex	Kartoffelsortieranlage	M 616/M				Verschiedene Sortiersiebe
20	Unbekannt	Walze		4,50	1012		Cambridgewalze
21	Kuhn	Tiefenlockerer	DC	3,00	480		4 Schare jeweils 0,35 m breit
22	Kverneland	Frontpacker	FP/300/16-90	3,00	1500		16 Ringe, Ring-Ø 0,90 m
23	Güttler	Frontegge + Walze	Duplex	3,00	1110		
24	Fendt	Frontgewicht			870		

Tab. A-4: Beschreibung der eingesetzten Traktoren

Nr.	Hersteller	Typ	Antrieb	Bau-jahr	Motorleistung in KW bei Um- drehungen min ⁻¹	Leergewicht in kg	Zul. Gesamt- gewicht in kg	Zul. Achslast in kg	
								vorne	hinten
1	Fendt	Favorit 515C	Allrad	1997	110/2300	5540	7500	3700	6350
2	John Deere	6810	Allrad	1997	99/2100	5000	7650	2500	5150
3	Fendt	380 GTA	Allrad	2002	72/2200	4480	8000	3500	5800
4	Fendt	250 GT	Hinterrad	1972	33/2300	2505	3750	1250	3100

Tab. A-5: Bereifung der eingesetzten Traktoren

Nr.	Hersteller	Typ	Bereifung				Reifeninnendruck in bar			
			vorne		hinten		vorne		hinten	
1	Fendt	Favorit 515C	Taurus point 65 480/65 R 28		Taurus point 65 600/65 R 38		1,2		1,0	
2	John Deere	6810	Taurus point 65 16.9 R 28		Taurus point 65 20.8 R 38		1,5		1,2	
3	Fendt	380 GTA	Kleber 420/70 R 24	Alliance 9.5 R 32	Kleber 480/70 R 38	Alliance 9.5 R 48	1,0	2,4	1,0	2,4
4	Fendt	250 GT	Pirelli 7.50L – 15 AS Front		Trelleborg 12.4 – 32	Continental 9.5 – 36	2,0		1,5	1,5

Tab. A-6: Fruchtfolgegestaltung in der 1. Rotation 1998 – 2003

Fruchtfolgefeld	Jahr	GM-V	VL-GB	VL-MF
1	1998	<i>Medicago sativa</i> <i>Trifolium pratense</i> 3 Poaceen	<i>Triticum aestivum</i> Untersaat	<i>Triticum aestivum</i> ZF-Stoppelsaat
2	1999	<i>Medicago sativa</i> <i>Trifolium pratense</i> 3 Poaceen	Grünbrache Luzerne-Klee gras	<i>Vicia faba</i> Untersaat
3	2000	<u><i>Triticum aestivum</i></u> ZF-Stoppelsaat	<u><i>Triticum aestivum</i></u> ZF-Stoppelsaat	<u><i>Triticum aestivum</i></u> ZF-Stoppelsaat
4	2001	<u><i>Solanum tuberosum</i></u>	<u><i>Solanum tuberosum</i></u>	<u><i>Solanum tuberosum</i></u>
5	2002	Hafer-Erbesen-GPS ZF-Stoppelsaat	<i>Pisum sativum</i>	<i>Pisum sativum</i>
6	2003	<u><i>Secale cereale</i></u> Untersaat	<u><i>Secale cereale</i></u> ZF-Stoppelsaat	<u><i>Secale cereale</i></u> ZF-Stoppelsaat
AF-Verhältnis (%)				
- Getreide		33,3	50,0	50,0
- Hackfrucht		16,7	16,7	16,7
- Futterleg.		33,3		
- Stilllegung			16,7	
- Körnerleg.			16,7	33,3
- Gemenge		16,7		
Untersaaten		16,7	16,7	16,7
ZF-Stoppelsaaten		33,3	33,3	50,0
insgesamt		50,0	50,0	66,7
Organische Düngung		- im Jahresmittel 67 dt ha⁻¹ Rottemist - keine Strohdüngung	- Aufwuchs der Grünbrache gemulcht - Strohdüngung auf 66,7 % der AF	Strohdüngung auf 83,3 % der AF

GPS = Ganzpflanzensilage; AF = Ackerfläche; ZF = Zwischenfrucht

Tab. A-7: Aussaatdaten der angebauten Früchte

Wirt- schafts- jahr	Betriebs- systeme	Nut- zungs- art	Datum der Aussaat	Pflanzenart	Cultivar	Aussaatmenge		TKM in g	Keim- fähigkeit in %
						in Körner m ⁻² bzw. Knollen ha ⁻¹	in kg ha ⁻¹		
2003/2004	GM-V	HF	25.03.03	<i>Medicago sativa</i>	Planet		12,0		
				<i>Trifolium pratense</i>	Maro		4,0		
				<i>Lolium perenne</i>	Sponsor		4,0		
	VL-GB + VL-MF	ZF	04.08.03	<i>Festuca pratensis</i>	Lifara		3,5		
				<i>Phleum pratense</i>	Lirocco		4,5		
	VL-GB + VL-MF	HF	01.04.04	<i>Vicia sativa</i>	Berninova		90,0		
				<i>Raphanus sativus</i>	Siletta		5,0		
2004/2005	VL-GB	HF	28.04.04	<i>Avena sativa</i>	Flämingsprofi	340		40,4	98
				<i>Medicago sativa</i>	Plato		12,0		
				<i>Trifolium pratense</i>	Maro		4,0		
	VL-MF	ZF	08.09.04	<i>Lolium perenne</i>	Feeder, Vincent, Lipondo		4,0		
				<i>Festuca pratensis</i>	Lifara		4,0		
				<i>Phleum pratense</i>	Liglory		4,0		
	VL-MF	HF	24.03.05	<i>Raphanus sativus</i>	Siletta		25,0		
				<i>Vicia faba</i>	Divine	35		503,0	81
2005/2006	alle	ZF	09.06.05	<i>Lolium multiflorum</i>	Primora		79,0		
2006/2007	alle	HF	18.10.05	<i>Triticum aestivum</i>	Achat (E-Weizen)	400		51,0	98
	alle	ZF	03.08.06	<i>Vicia sativa</i>	Berninova		80,0		
				<i>Raphanus sativus</i>	Reform		5,0		
2007/2008	GM-V	HF	17.04.07	<i>Solanum tuberosum</i>	Princess (Reifegr. früh)	53.333			
	VL-GB + VL-MF	HF	13.10.07	<i>Triticum aestivum</i>	Akratos (A-Weizen)	400		53,0	95
				<i>Pisum sativum</i>	Respect (halbblattlos)	80		337,0	91
2008/2009	GM-V	ZF	27.04.08	<i>Vicia sativa</i>	Mery		80,0		
				<i>Raphanus sativus</i>	Rego		5,0		
	alle	HF	03.08.08	<i>Secale cereale</i>	Amilo	330		28,0	94

HF = Hauptfrucht; ZF = Zwischenfrucht

Tab. A-8: Beschreibung der eingesetzten Versuchsmaschinen

Nr.	Maschinenart	Hersteller	Typ	Leistung in KW	Beschreibung
1	Parzellenmähdrescher	Wintersteiger	Nurserymaster Elite	40,00	Schnittbreite 1,50 m
2	Einachstraktor mit Doppelmessermähbalken	Agria	3400	5,00	Schnittbreite 1,50 m
3	Laborhäcksler	Hege	Hege 44		
4	Kleinsaatgutreiniger	Röber	Mini-Petkus	1,50	verschiedene Siebe
5	Körnerzählgerät	Pfeuffer	Contador E		
6	Pflanzenschneidmühle	Retsch	SM1	1,50	Siebgröße 2,0 mm
7	Ultrazentrifugalmühle	Retsch	ZM1	0,60	Siebgröße 0,2 mm
8	Stechzylinderset	Eijkelkamp	Model C		zur Entnahme von ungestörten Bodenproben; Ring-Ø 53 mm
9	Überkopfschüttler	Guwina-Hofmann	214/12Kz PM1	0,05	24 Schüttelflaschen
10	Fliehkraftkugelmühle	Retsch	S100	0,10	
11	Penetrologger	Eijkelkamp			
12	CN-Analysengerät	Elementar	Vario EL		Quantitative Gesamt-C- und Gesamt-N-Analyse
13	N-Tester	Yara			Messmethode wie bei Chlorophyll Meter SPAD-502 der Firma Minolta
14	Autoanalysengerät	Alpkem, Bran Lübbe	RFA		Rapid continous flow analyser

Tab. A-9: Ackerbauliche Maßnahmen im Betriebssystem GM-V

Wirt- schafts- jahr	Datum	Maßnahme	Verwendete Maschinen bzw. Aussaatdaten
2003/2004	25.03.03	Untersaat in Deckfrucht <i>S. cereale</i>	Tab. A-4/4, Tab. A-3/9, Tab. A-7
	29.07.03	Ernte Deckfrucht <i>S. cereale</i>	Tab. A-8/1
	25.09.03	Schröpschnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
	15.05.04	1. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
	30.06.04	2. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
	10.08.04	3. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
	15.09.04	4. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
2004/2005	18.05.05	1. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
	06.07.05	2. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
	03.08.05	3. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
	10.10.05	4. Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-8/2
2005/2006	13.10.05	Bodenbearbeitung mit Fräse	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	14.10.05	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	18.10.05	Saat <i>T. aestivum</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/22+7+8, Tab. A-7
	10.04.06	Striegel <i>T. aestivum</i> ; BBCH 26	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	22.07.06	Ernte <i>T. aestivum</i>	Tab. A-8/1
2006/2007	31.07.06	Tiefenlockerung, 50 cm	Tab. A-4/1, Tab. A-3/21
	01.08.06	Rottemistdüngung 450 dt FM ha ⁻¹	von Hand
	02.08.06	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	03.08.06	Saat ZF	Tab. A-4/1, Tab. A-3/22+3+8, Tab. A-7
	25.01.07	Differenzierte Bodenbearbeitung	Tab. A-13
	15.04.07	1. Pflanzbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	16.04.07	2. Pflanzbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	17.04.07	Pflanzung <i>S. tuberosum</i>	Tab. A-4/3, Tab. A-3/10, Tab. A-7
	19.04.07	1. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 01	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	08.05.07	2. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 08	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	22.05.07	3. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 24	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	05.06.07	4. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 40	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	12.06.07	5. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 43	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	13.06.07	Pflanzenschutz Neem Azal-T/S	Tab. A-3/16
	12.09.07	Ernte <i>S. tuberosum</i>	Tab. A-4/4, Tab. A-3/17
2007/2008	22.09.07	Bodenbearbeitung	Tab. A-4/2, Tab. A-3/24+4
	09.10.07	Differenzierte Bodenbearbeitung	Tab. A-13
	12.10.07	Differenzierte Saatbettbereitung	Tab. A-13
	13.10.07	Saat <i>T. aestivum</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/22+7+8, Tab. A-7
	26.04.08	Striegel <i>T. aestivum</i> ; BBCH 30	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	26.07.08	Ernte <i>T. aestivum</i>	Tab. A-8/1
2008/2009	02.08.08	Rottemistdüngung 150 dt FM ha ⁻¹	von Hand
	02.08.08	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	03.08.08	Saat ZF	Tab. A-4/1, Tab. A-3/23+3+8, Tab. A-7
	26.09.08	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	28.09.08	Differenzierte Saatbettbereitung	Tab. A-13
	28.09.08	Saat <i>S. cereale</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/23+7+8, Tab. A-7
	03.04.09	Striegel <i>S. cereale</i> ; BBCH 30	Tab. A-4/3, Tab. A-3/11
	04.04.09	Untersaat in Deckfrucht <i>S. cereale</i>	Tab. A-4/4, Tab. A-3/9, Tab. A-7
	29.07.09	Ernte <i>S. cereale</i>	Tab. A-8/1

LKG = Luzerne-Kleegras

Tab. A-10: Ackerbauliche Maßnahmen im Betriebssystem VL-GB

Wirt- schafts- jahr	Datum	Maßnahme	Verwendete Maschinen bzw. Aussaatdaten
2003/2004	29.07.03	Ernte <i>S. cereale</i>	Tab. A-8/1
	03.08.03	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	04.08.03	Saat ZF	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+3+8, Tab. A-7
	22.10.03	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	30.03.04	Saatbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/5
	01.04.04	Saat <i>A. sativa</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+7+8, Tab. A-7
	27.04.04	Striegel <i>A. sativa</i> ; BBCH 14	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	28.04.04	US LKG	Tab. A-4/4, Tab. A-3/9, Tab. A-7
	03.09.04	Ernte <i>A. sativa</i>	Tab. A-8/1
2004/2005	18.05.05	1. Mulch-Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-4/3, Tab. A-3/18
	05.07.05	2. Mulch-Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-4/3, Tab. A-3/18
	03.08.05	3. Mulch-Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-4/3, Tab. A-3/18
	10.10.05	4. Mulch-Schnitt LKG-Gemenge	Tab. A-4/3, Tab. A-3/18
2005/2006	13.10.05	Bodenbearbeitung mit Fräse	Tab. A-4/1; Tab. A-3/3
	14.10.05	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	18.10.05	Saat <i>T. aestivum</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/22+7+8, Tab. A-7
	10.04.06	Striegel <i>T. aestivum</i> ; BBCH 26	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	22.07.06	Ernte <i>T. aestivum</i>	Tab. A-8/1
2006/2007	31.07.06	Tiefenlockerung, 50 cm	Tab. A-4/1, Tab. A-3/21
	02.08.06	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	03.08.06	Saat ZF	Tab. A-4/1, Tab. A-3/22+3+8, Tab. A-7
	25.01.07	Differenzierte Bodenbearbeitung	Tab. A-13
	15.04.07	1. Pflanzbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	16.04.07	2. Pflanzbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	17.04.07	Pflanzung <i>S. tuberosum</i>	Tab. A-4/3, Tab. A-3/10, Tab. A-7
	19.04.07	1. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 01	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	08.05.07	2. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 08	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	22.05.07	3. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 24	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	05.06.07	4. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 40	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	12.06.07	5. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 43	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	13.06.07	Pflanzenschutz Neem Azal-T/S	Tab. A-3/16
	12.09.07	Ernte <i>S. tuberosum</i>	Tab. A-4/4, Tab. A-3/17
2007/2008	22.09.07	Bodenbearbeitung	Tab. A-4/2, Tab. A-3/24+4
	17.12.07	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	24.04.08	Differenzierte Saatbettbereitung	Tab. A-13
	27.04.08	Saat <i>P. sativum</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/23+7+8, Tab. A-7
	02.05.08	Blindstriegeln <i>P. sativum</i> , BBCH 07	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	14.05.08	1. Maschinenhacke <i>P. sativum</i> , BBCH 13	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13+12
	21.05.08	2. Maschinenhacke <i>P. sativum</i> , BBCH 14	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13
	30.05.08	3. Maschinenhacke <i>P. sativum</i> , BBCH 35	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13
	06.08.08	Ernte <i>P. sativum</i>	Tab. A-8/1
2008/2009	11.08.08	Stoppelbearbeitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+4
	26.09.08	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	28.09.08	Differenzierte Saatbettbereitung	Tab. A-13
	28.09.08	Saat <i>S. cereale</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/23+7+8, Tab. A-7
	03.04.09	Striegel <i>S. cereale</i> ; BBCH 30	Tab. A-4/3, Tab. A-3/11
	29.07.09	Ernte <i>S. cereale</i>	Tab. A-8/1

US = Untersaat

LKG = Luzerne-Kleegrass

Tab. A-11: Ackerbauliche Maßnahmen im Betriebssystem VL-MF

Wirt- schafts- jahr	Datum	Maßnahme	Verwendete Maschinen bzw. Saatdaten
2003/2004	29.07.03	Ernte <i>S. cereale</i>	Tab. A-8/1
	03.08.03	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	04.08.03	Saat ZF	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+3+8, Tab. A-7
	22.10.03	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	30.03.04	Saatbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/5
	01.04.04	Saat <i>A. sativa</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+7+8, Tab. A-7
	27.04.04	Striegel <i>A. sativa</i> ; BBCH 14	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	03.09.04	Ernte <i>A. sativa</i>	Tab. A-8/1
2004/2005	06.09.04	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	08.09.04	Saatbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	08.09.04	Saat ZF	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+3+8, Tab. A-7
	12.12.04	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	24.03.05	Saatbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/5
	24.03.05	Saat <i>V. faba</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+7+8, Tab. A-7
	03.04.05	Blindstriegeln <i>V. faba</i> ; BBCH 07	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	18.04.05	1. Maschinenhacke <i>V. faba</i> ; BBCH 11	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13
	02.05.05	2. Maschinenhacke <i>V. faba</i> ; BBCH 14	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13+12
	13.05.05	3. Maschinenhacke <i>V. faba</i> ; BBCH 31	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13+12
	25.05.05	4. Maschinenhacke <i>V. faba</i> ; BBCH 51	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13
	09.06.05	US <i>L. multiflorum</i>	Kleegeige, Tab. A-7
	24.08.05	Ernte <i>V. faba</i>	Tab. A-8/1
2005/2006	10.10.05	Mulch-Schnitt <i>L. multiflorum</i>	Tab. A-4/3, Tab. A-3/18
	13.10.05	Bodenbearbeitung mit Fräse	Tab. A-4/1; Tab. A-3/3
	14.10.05	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	18.10.05	Saat <i>T. aestivum</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/22+7+8, Tab. A-7
	10.04.06	Striegel <i>T. aestivum</i> ; BBCH 26	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	22.07.06	Ernte <i>T. aestivum</i>	Tab. A-8/1
2006/2007	31.07.06	Tiefenlockerung, 50 cm	Tab. A-4/1, Tab. A-3/21
	02.08.06	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	03.08.06	Saat ZF	Tab. A-4/1, Tab. A-3/22+3+8, Tab. A-7
	25.01.07	Differenzierte Bodenbearbeitung	Tab. A-13
	15.04.07	1. Pflanzbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	16.04.07	2. Pflanzbettbereitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/3
	17.04.07	Pflanzung <i>S. tuberosum</i>	Tab. A-4/3, Tab. A-3/10, Tab. A-7
	19.04.07	1. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 01	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	08.05.07	2. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 08	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	22.05.07	3. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 24	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	05.06.07	4. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 40	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	12.06.07	5. Häufelgang <i>S. tuberosum</i> ; BBCH 43	Tab. A-4/3, Tab. A-3/14+15
	13.06.07	Pflanzenschutz Neem Azal-T/S	Tab. A-3/16
	12.09.07	Ernte <i>S. tuberosum</i>	Tab. A-4/4, Tab. A-3/17
2007/2008	22.09.07	Bodenbearbeitung	Tab. A-4/2, Tab. A-3/24+4
	17.12.07	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	24.04.08	Differenzierte Saatbettbereitung	Tab. A-13
	27.04.08	Saat <i>P. sativum</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/23+7+8, Tab. A-7
	02.05.08	Blindstriegeln <i>P. sativum</i> , BBCH 07	Tab. A-4/4, Tab. A-3/11
	14.05.08	1. Maschinenhacke <i>P. sativum</i> , BBCH 13	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13+12
	21.05.08	2. Maschinenhacke <i>P. sativum</i> , BBCH 14	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13
	30.05.08	3. Maschinenhacke <i>P. sativum</i> , BBCH 35	Tab. A-4/4, Tab. A-3/13
	06.08.08	Ernte <i>P. sativum</i>	Tab. A-8/1
2008/2009	11.08.08	Stoppelbearbeitung	Tab. A-4/1, Tab. A-3/24+4
	26.09.08	Differenzierte Grundbodenbearbeitung	Tab. A-13
	28.09.08	Differenzierte Saatbettbereitung	Tab. A-13
	28.09.08	Saat <i>S. cereale</i>	Tab. A-4/1, Tab. A-3/23+7+8, Tab. A-7
	03.04.09	Striegel <i>S. cereale</i> ; BBCH 30	Tab. A-4/3, Tab. A-3/11
	29.07.09	Ernte <i>S. cereale</i>	Tab. A-8/1

Tab. A-12: Nährstoffgehalte [kg t⁻¹ FM] des gedüngten Rottemists in den Jahren 2006 und 2008

Datum	TM in %	N_t	N wasserlöslich	P	K
01.08.2006	25,1	5,97	1,17	1,50	8,76
02.08.2008	23,1	6,42	1,53	1,29	8,33

Prüfverfahren: DIN EN 12880, DIN EN 13342, DIN 38406-S5, DIN 38414-S7, DIN EN ISO 11885

Tab. A-13: Differenzierte Maßnahmen der Bodenbearbeitung in der 2. Rotation von 2004 – 2009

Wirt- schafts- jahr	Betriebs- system	Datum	Bodenbearbeitungs- system	Gerät/Maschine s. Tab. A-3	Begründung
2003/2004	VL-GB + VL-MF	03.08.03	P30 ZP30/15 + P15 SR30/15	Schwergrubber, 10 cm Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm	zur ZF-Bestellung
	VL-GB + VL-MF	22.10.03	P30 + ZP30/15 + P15	Scheibenegge 8 cm	ZF einarbeiten
			P30 ZP30/15 P15 SR30/15	Pflug 30 cm Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm Pflug 15 cm Scheibenegge 15 cm	Herbstfurche vor <i>A. sativa</i>
2004/2005	VL-MF	06.09.04	P30 ZP30/15 P15 SR30/15	Schwergrubber, 15 cm Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm Schwergrubber 15 cm Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm	zur ZF-Bestellung
	VL-MF	12.12.04	P30 ZP30/15 P15 SR30/15	Pflug 30 cm Pflug 15 cm Pflug 15 cm Schwergrubber 15 cm	Winterfurche vor <i>V. faba</i>
2005/2006	alle	14.10.05	P30 ZP30/15 P15 SR30/15	Pflug 30 cm Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm Pflug 15 cm Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm	zur Herbstbestellung von <i>T. aestivum</i>

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tab. A-13: Differenzierte Maßnahmen der Bodenbearbeitung in der 2. Rotation von 2004 – 2009

Wirt- schafts- jahr	Betriebs- system	Datum	Bodenbearbeitungs- system	Gerät/Maschine s. Tab. A-3	Begründung
2006/2007	alle	02.08.06	P30 ZP30/15 P15 SR30/15	Schwergrubber, 15 cm Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm Schwergrubber, 15 cm Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm	zur ZF-Bestellung
	alle	25.01.07	P30 ZP30/15 + P15	Pflug 30 cm Pflug 15 cm	späte Winterfurche vor <i>S. tuberosum</i>
2007/2008	GM-V	09.10.07	P30 ZP30/15 + P15	Pflug 30 cm Pflug 15 cm	zur Herbstbestellung von <i>T. aestivum</i>
		12.10.07	P30 + ZP30/15 + P15	Frontpacker + Kreiselegge	
	VL-GB + VL-MF	17.12.07	P30 ZP30/15 + P15 SR30/15	Pflug 30 cm Pflug 15 cm Schwergrubber 15 cm	Winterfurche vor <i>P. sativum</i>
		24.04.08	SR30/15 alle	Schwergrubber 15 cm Saatbettkombination 12 cm	Saatbettbereitung für <i>P. sativum</i>
2008/2009	GM-V	02.08.08	P30 ZP30/15 P15 SR30/15	Schwergrubber 15 cm Zweischichtenpflug 30 cm/15 cm Pflug 15 cm Schichtengrubber + Rotoregge 30 cm/15 cm	zur ZF-Bestellung
	alle	26.09.08	P30 ZP30/15 + P15 SR30/15	Pflug 30 cm Pflug 15 cm Rotoregge 15 cm	zur Herbstbestellung von <i>S. cereale</i>
		28.09.08	P30 + ZP30/15 + P15	Frontpacker + Rotoregge	Saatbettbereitung für <i>S. cereale</i>

ZF = Zwischenfrucht

Tab. A-14: Sprossmasseerträge und Ertragsanteile [dt TM ha⁻¹] der Einzelschnitte von Luzerne-Kleegras im Betriebssystem GM-V im Versuchsjahr 2003/2004 in Abhängigkeit von den Bodenbearbeitungssystemen

	Bodenbearbeitungssysteme			
	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
Schröpschnitt am 25.09.2003				
Gesamt-Sprossmasseertrag	18,0 a	19,2 a	18,0 a	18,6 a
Leguminosen-Sprossmasseertrag	14,9 a	16,8 a	15,4 a	14,8 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	2,3 a	2,2 a	2,0 a	2,9 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,8 a	0,2 a	0,6 a	0,9 a
1. Schnitt am 15.05.2004				
Gesamt-Sprossmasseertrag	45,0 a	46,1 a	47,1 a	46,8 a
Leguminosen-Sprossmasseertrag	39,6 a	40,4 a	39,3 a	40,1 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	4,6 a	4,5 a	6,4 a	6,2 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,8 a	1,2 a	1,4 a	0,5 a
2. Schnitt am 30.06.2004				
Gesamt-Sprossmasseertrag	39,3 a	40,4 a	39,3 a	41,4 a
Leguminosen-Sprossmasseertrag	36,4 a	37,0 a	35,7 a	37,3 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	2,8 a	2,9 a	2,8 a	3,7 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,1 b	0,4 ab	0,8 a	0,4 ab
3. Schnitt am 10.08.2004				
Gesamt-Sprossmasseertrag	29,5 a	31,5 a	28,3 a	28,0 a
Leguminosen-Sprossmasseertrag	28,5 a	30,6 a	27,4 a	27,0 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	0,9 a	0,7 a	0,8 a	0,5 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,1 a	0,2 a	0,2 a	0,5 a
4. Schnitt am 15.09.2004				
Gesamt-Sprossmasseertrag	14,4 a	14,9 a	14,5 a	15,4 a
Leguminosen-Sprossmasseertrag	11,3 a	11,8 a	11,4 a	12,1 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	2,6 a	2,6 a	2,7 a	2,8 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,5 a	0,5 a	0,4 a	0,5 a
Summe der 5 Schnitte				
Gesamt-Sprossmasseertrag	146,1 a	152,1 a	147,2 a	150,1 a
Leguminosen-Sprossmasseertrag	130,6 a	136,7 a	129,3 a	131,2 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	13,1 a	12,9 a	14,6 a	16,2 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	2,4 a	2,5 a	3,3 a	2,7 a

Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

ZP30/15 = Zweischiichtenpflug

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Tab. A-15: Sprossmasseerträge und Ertragsanteile [dt TM ha⁻¹] der Einzelschnitte von Luzerne-Kleegras im Versuchsjahr 2005 in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

	Betriebs-systeme		Bodenbearbeitungssysteme			
	GM-V	VL-GB	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
1. Schnitt am 18.05.2005						
Gesamt-Sprossmasseertrag	39,9 a	40,7 a	38,7 a	39,9 a	40,2 a	42,3 a
Leg.-Sprossmasseertrag	24,7 a	28,2 a	26,9 a	26,5 a	23,7 a	28,5 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	13,7 a	11,7 a	10,4 a	12,3 a	15,3 a	12,9 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	1,5 a	0,8 a	1,4 a	1,1 a	1,2 a	0,9 a
2. Schnitt am 06.07.2005						
Gesamt-Sprossmasseertrag	35,4 a	42,6 a	38,0 a	38,6 a	39,2 a	40,2 a
Leg.-Sprossmasseertrag	32,6 a	39,6 a	35,4 a	35,9 a	36,4 a	36,7 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	2,4 a	2,9 a	2,5 a	2,5 a	2,7 a	3,0 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,4 a	0,1 a	0,1 a	0,2 a	0,1 a	0,5 a
3. Schnitt am 03.08.2005						
Gesamt-Sprossmasseertrag	7,8 a	8,3 a	7,5 ab	9,2 a	8,6 ab	6,9 b
Leg.-Sprossmasseertrag	7,3 a	7,9 a	7,0 a	8,7 a	8,2 a	6,5 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,2 a	0,1 a	0,1 a	0,2 a	0,1 a	0,1 a
4. Schnitt am 10.10.2005						
Gesamt-Sprossmasseertrag	9,4 b	21,7 a	15,7 a	16,3 a	15,5 a	14,7 a
Leg.-Sprossmasseertrag	7,5 b	17,6 a	12,8 a	13,2 a	12,0 a	12,3 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	1,4 b	3,6 a	2,4 a	2,5 a	3,0 a	2,1 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	0,5 a	0,4 a	0,5 a	0,6 a	0,4 a	0,3 a
Summe der 4 Schnitte						
Gesamt-Sprossmasseertrag	92,4 a	113,2 a	99,9 a	103,9 a	103,4 a	104,0 a
Leg.-Sprossmasseertrag	72,1 a	93,3 a	82,1 a	84,3 a	80,3 a	84,0 a
Poaceen-Sprossmasseertrag	17,7 a	18,6 a	15,6 a	17,5 a	21,3 a	18,2 a
Kräuter-Sprossmasseertrag	2,6 a	1,3 a	2,1 a	2,1 a	1,9 a	1,8 a

Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Tab. A-16: Sprossmassebildung [dt TM ha⁻¹] der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Aussaat- datum	Im Betriebssystem	Fruchtart	Betriebssysteme			Bodenbearbeitungssysteme			
			GM-V	VL-GB	VL-MF	P30	ZP30/15	P15	SR30/15
04.08.2003	VL-GB + VL-MF	<i>V. sativa</i> + <i>R. sativus</i>	28,6 a	27,9 a		26,9 a	29,3 a	29,6 a	27,1 a
09.06.2005	VL-MF	<i>L. multiflorum</i>			5,74	5,66 a	4,83 a	6,20 a	6,27 ab
03.08.2006	alle	<i>V. sativa</i> + <i>R. sativus</i>	32,6 a	28,0 b	30,2 ab	32,6 a	29,8 ab	31,0 ab	27,7 b
03.08.2008	GM-V	<i>V. sativa</i> + <i>R. sativus</i>	17,9			16,8 a	18,6 a	16,7 a	19,4 a
11.08.2008	VL-GB + VL-MF	<i>P. sativum</i> (Ausfallkörner)	7,22 a	6,28 a		6,78 a	6,99 a	6,30 a	6,93 a

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

ZP30/15 = Zweischichtenpflug

P15 = Maximale Bearbeitungstiefe 15 cm

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge

Tab. A-17: Detaillierte **Input-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der
2. Rotation für das Betriebssystem **GM-V****

Input	Masse dt ha ⁻¹	N-Gehalt in % N	N-Zufuhr kg N ha ⁻¹	P-Gehalt in % P	P-Zufuhr kg P ha ⁻¹	K-Gehalt in % K	K-Zufuhr kg K ha ⁻¹
2003/2004							
Saatgut US <i>M. sativa</i>	0,16	5,50	0,88	0,64	0,10	1,04	0,17
Saatgut US <i>Poaceen</i>	0,12	1,84	0,22	0,30	0,04	0,46	0,06
Symb. N ₂ -Fixierung LKG			459				
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2004/2005							
Symb. N ₂ -Fixierung LKG			229				
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2005/2006							
Saatgut <i>T. aestivum</i>	2,08	1,68	3,49	0,31	0,64	0,43	0,89
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2006/2007							
Rottemist	450	0,60	269	0,15	67,3	0,88	394
Saatgut ZF	0,85	3,80	3,23	0,40	0,34	0,92	0,78
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			56,3				
Gründüngung ZF	32,6	2,97	96,7	0,29	9,60	2,94	95,8
Pflanzgut <i>S. tuberosum</i>	33,6	0,31	10,4	0,07	2,35	0,45	15,11
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2007/2008							
Saatgut <i>T. aestivum</i>	2,23	1,68	3,75	0,31	0,69	0,43	0,96
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2008/2009							
Rottemist	150	0,64	96,3	0,13	19,4	0,83	125
Saatgut ZF	0,85	3,80	3,23	0,40	0,34	0,92	0,78
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			25,9				
Gründüngung ZF	17,9	3,03	54,0	0,29	5,25	2,94	52,5
Saatgut <i>S. cereale</i>	0,98	1,29	1,26	0,33	0,32	0,41	0,40
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
Summe Input			1433		106		687

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

LKG = Luzerne-Kleegras

US = Untersaat

ZF = Zwischenfrucht

Tab. A-18: Detaillierte **Output-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der
2. Rotation für das Betriebssystem **GM-V****

Output	Masse dt TM ha ⁻¹	N-Gehalt in % N	N-Abfuhr kg N ha ⁻¹	P-Gehalt in % P	P-Abfuhr kg P ha ⁻¹	K-Gehalt in % K	K-Abfuhr kg K ha ⁻¹
2003/2004							
LKG Leg.-Anteil	132	2,96	390	0,34	44,9	2,48	327
LKG Poaceen-Anteil	14,2	2,47	35,2	0,34	4,84	2,48	35,3
LKG Kräuter-Anteil	2,71	2,75	7,46	0,34	0,92	2,48	6,72
2004/2005							
LKG Leg.-Anteil	72,1	2,54	183	0,34	24,5	2,48	179
LKG Poaceen-Anteil	17,7	1,95	34,6	0,34	6,03	2,48	44,0
LKG Kräuter-Anteil	2,58	2,28	5,89	0,34	0,88	2,48	6,39
2005/2006							
Korn <i>T. aestivum</i>	32,7	1,83	59,9	0,36	11,8	0,50	16,4
Stroh <i>T. aestivum</i>	37,5	0,25	9,34	0,09	3,49	0,81	30,5
2006/2007							
Aufwuchs ZF	32,6	2,97	96,7	0,29	9,58	2,94	95,8
Knollen <i>S. tuberosum</i>	32,4	1,89	61,3	0,32	10,31	2,05	66,3
2007/2008							
Korn <i>T. aestivum</i>	59,2	1,88	111	0,36	21,3	0,50	29,6
Stroh <i>T. aestivum</i>	55,3	0,36	20,0	0,09	5,15	0,81	45,0
2008/2009							
Aufwuchs ZF	17,9	3,03	54,0	0,29	5,25	2,94	52,5
Korn <i>S. cereale</i>	35,1	1,51	53,1	0,38	13,5	0,49	17,1
Stroh <i>S. cereale</i>	47,2	0,44	20,9	0,14	6,59	0,78	36,8
Summe Output			1144		169		989

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

LKG = Luzerne-Klee gras

ZF = Zwischenfrucht

**Tab. A-19: Detaillierte Input-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der
2. Rotation für das Betriebssystem VL-GB**

Input	Masse dt ha ⁻¹	N-Gehalt in % N	N-Zufuhr kg N ha ⁻¹	P-Gehalt in % P	P-Zufuhr kg P ha ⁻¹	K-Gehalt in % K	K-Zufuhr kg K ha ⁻¹
2003/2004							
Saatgut ZF	0,95	3,80	3,61	0,40	0,38	0,92	0,87
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			45,2				
Gründüngung ZF	28,6	3,33	95,1	0,29	8,41	2,94	84,1
Saatgut <i>A. sativa</i>	1,40	1,58	2,21	0,32	0,45	0,47	0,66
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2004/2005							
Saatgut US <i>M. sativa</i>	0,16	5,50	0,88	0,64	0,10	1,04	0,17
Saatgut US <i>Poaceen</i>	0,12	1,84	0,22	0,30	0,04	0,46	0,06
Symb. N ₂ -Fixierung LKG			256				
Gründüngung LKG	113	2,75	311	0,34	38,5	2,48	281
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2005/2006							
Saatgut <i>T. aestivum</i>	2,08	1,68	3,49	0,31	0,64	0,43	0,89
Stroh-Düngung <i>T. aestivum</i>	50,8	0,29	14,5	0,09	4,73	0,81	41,4
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2006/2007							
Saatgut ZF	0,85	3,80	3,23	0,40	0,34	0,92	0,78
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			52,9				
Gründüngung ZF	28,0	3,07	86,1	0,29	8,25	2,94	82,5
Pflanzgut <i>S. tuberosum</i>	33,6	0,31	10,4	0,07	2,35	0,45	15,1
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2007/2008							
Saatgut <i>P. sativum</i>	2,96	3,50	10,4	0,43	1,27	1,06	3,14
Symb. N ₂ -Fixierung <i>P. sativum</i>			154				
Stroh-Düngung <i>P. sativum</i>	26,9	0,79	21,2	0,16	4,38	1,40	37,6
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2008/2009							
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			17,8				
Gründüngung ZF	7,22	4,44	32,1	0,37	2,65	2,67	19,3
Saatgut <i>S. cereale</i>	0,98	1,29	1,26	0,33	0,32	0,41	0,40
Stroh-Düngung <i>S. cereale</i>	60,4	0,40	23,9	0,13	7,73	0,93	56
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
Summe Input			1265		81		624

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache
US = Untersaat

LKG = Luzerne-Klee gras
ZF = Zwischenfrucht

**Tab. A-20: Detaillierte Output-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der
2. Rotation für das Betriebssystem VL-GB**

Output	Masse dt TM ha ⁻¹	N-Gehalt in % N	N-Abfuhr kg N ha ⁻¹	P-Gehalt in % P	P-Abfuhr kg P ha ⁻¹	K-Gehalt in % K	K-Abfuhr kg K ha ⁻¹
2003/2004							
Aufwuchs ZF	28,6	3,33	95,1	0,29	8,41	2,94	84,1
Korn <i>A. sativa</i>	37,3	1,66	61,8	0,37	13,9	0,55	20,4
Stroh <i>A. sativa</i>	32,1	0,43	13,7	0,15	4,85	1,64	52,6
2004/2005							
Aufwuchs LKG	113	2,75	311	0,34	38,5	2,48	281
2005/2006							
Korn <i>T. aestivum</i>	44,5	1,96	87,1	0,36	16,0	0,50	22,2
Stroh <i>T. aestivum</i>	50,8	0,29	14,5	0,09	4,73	0,81	41,4
2006/2007							
Aufwuchs ZF	28,0	3,07	86,1	0,29	8,25	2,94	82,5
Knollen <i>S. tuberosum</i>	29,2	1,83	53,5	0,32	9,29	2,05	59,7
2007/2008							
Korn <i>P. sativum</i>	35,6	3,66	130	0,50	17,8	1,23	43,9
Stroh <i>P. sativum</i>	26,9	0,79	21,2	0,16	4,38	1,40	37,6
2008/2009							
Aufwuchs ZF	7,22	4,44	32,1	0,37	2,65	2,67	19,3
Korn <i>S. cereale</i>	42,3	1,49	63,1	0,38	16,2	0,48	20,2
Stroh <i>S. cereale</i>	60,4	0,40	23,9	0,13	7,73	0,93	56
Summe Output			993		153		821

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache

LKG = Luzerne-Klee gras

ZF = Zwischenfrucht

Tab. A-21: Detaillierte **Input-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der
2. Rotation für das Betriebssystem **VL-MF****

Input	Masse dt ha ⁻¹	N-Gehalt in % N	N-Zufuhr kg N ha ⁻¹	P-Gehalt in % P	P-Zufuhr kg P ha ⁻¹	K-Gehalt in % K	K-Zufuhr kg K ha ⁻¹
2003/2004							
Saatgut ZF	0,95	3,80	3,61	0,40	0,38	0,92	0,87
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			47,8				
Gründüngung ZF	27,9	3,32	92,4	0,29	8,20	2,94	82,0
Saatgut <i>A. sativa</i>	1,40	1,58	2,21	0,32	0,45	0,47	0,66
Stroh-Düngung <i>A. sativa</i>	31,9	0,40	12,8	0,15	4,82	1,64	52,3
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2004/2005							
Saatgut ZF	0,25	3,86	0,97	0,53	0,13	0,80	0,20
Saatgut <i>V. faba</i>	2,17	4,20	9,13	0,47	1,02	1,13	2,46
Symb. N ₂ -Fixierung <i>V. faba</i>			195				
Stroh-Düngung <i>V. faba</i>	21,6	1,16	25,1	0,17	3,78	1,77	38,3
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2005/2006							
Saatgut <i>L. multiflorum</i>	0,79	1,84	1,45	0,30	0,24	0,46	0,36
Symb. N ₂ -Fixierung ZF ¹⁾			0,46				
Gründüngung ZF	5,74	2,71	15,5	0,29	1,69	2,94	16,9
Saatgut <i>T. aestivum</i>	2,08	1,68	3,49	0,31	0,64	0,43	0,89
Stroh-Düngung <i>T. aestivum</i>	36,0	0,25	9,08	0,09	3,35	0,81	29,3
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2006/2007							
Saatgut ZF	0,85	3,80	3,23	0,40	0,34	0,92	0,78
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			81,2				
Gründüngung ZF	30,2	3,42	103	0,29	8,88	2,94	88,8
Pflanzgut <i>S. tuberosum</i>	33,6	0,31	10,4	0,07	2,35	0,45	15,1
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2007/2008							
Saatgut <i>P. sativum</i>	2,96	3,50	10,4	0,43	1,27	1,06	3,14
Symb. N ₂ -Fixierung <i>P. sativum</i>			144				
Stroh-Düngung <i>P. sativum</i>	25,3	0,74	18,6	0,16	4,12	1,40	35,3
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
2008/2009							
Symb. N ₂ -Fixierung ZF			13,1				
Gründüngung ZF	6,3	4,27	26,8	0,37	2,30	2,67	16,7
Saatgut <i>S. cereale</i>	0,98	1,29	1,26	0,33	0,32	0,41	0,40
Stroh-Düngung <i>S. cereale</i>	55,1	0,38	20,9	0,13	7,05	0,93	51
Asymb. N ₂ -Fixierung			5,00				
Immissionen			15,0				
Summe Input			972		51		435

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

ZF = Zwischenfrucht

1) durch Ausfall-Ackerbohnen

Tab. A-22: Detaillierte **Output-Größen der N-, P- und K-Bilanzen in der
2. Rotation für das Betriebssystem **VL-MF****

Output	Masse dt TM ha ⁻¹	N-Gehalt in % N	N-Abfuhr kg N ha ⁻¹	P-Gehalt in % P	P-Abfuhr kg P ha ⁻¹	K-Gehalt in % K	K-Abfuhr kg K ha ⁻¹
2003/2004							
Aufwuchs ZF	27,9	3,32	92,4	0,29	8,20	2,94	82,0
Korn <i>A. sativa</i>	35,0	1,66	58,0	0,37	13,0	0,55	19,1
Stroh <i>A. sativa</i>	31,9	0,40	12,8	0,15	4,82	1,64	52,3
2004/2005							
Korn <i>V. faba</i>	35,1	5,32	187	0,55	19,2	1,31	46,1
Stroh <i>V. faba</i>	21,6	1,16	25,1	0,17	3,78	1,77	38,3
2005/2006							
Aufwuchs ZF	5,74	2,71	15,5	0,29	1,69	2,94	16,9
Korn <i>T. aestivum</i>	29,3	1,71	50,1	0,36	10,6	0,50	14,6
Stroh <i>T. aestivum</i>	36,0	0,25	9,08	0,09	3,35	0,81	29,3
2006/2007							
Aufwuchs ZF	30,2	3,42	103	0,29	8,88	2,94	88,8
Knollen <i>S. tuberosum</i>	29,4	1,61	47,3	0,32	9,37	2,05	60,2
2007/2008							
Korn <i>P. sativum</i>	33,6	3,63	122	0,50	16,8	1,23	41,4
Stroh <i>P. sativum</i>	25,3	0,74	18,6	0,16	4,12	1,40	35,3
2008/2009							
Aufwuchs ZF	6,28	4,27	26,8	0,37	2,30	2,67	16,7
Korn <i>S. cereale</i>	38,0	1,43	54,2	0,38	14,6	0,48	18,1
Stroh <i>S. cereale</i>	55,1	0,38	20,9	0,13	7,05	0,93	51
Summe Output			842		128		610

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

ZF = Zwischenfrucht

Tab. A-23: Trockenrohdichten [g cm^{-3}] im Mai 2006 in verschiedenen Tiefenstufen in Abhängigkeit von Betriebssystem und Bodenbearbeitung

Tiefenstufe	Betriebssysteme		Bodenbearbeitungssysteme	
	GM-V	VL-MF	P30	SR30/15
0 – 12 cm	1,21 a	1,25 a	1,27 a	1,19 b
17 – 25 cm	1,22 a	1,29 a	1,25 a	1,27 a
0 – 30 cm	1,22 a	1,27 a	1,26 a	1,23 a

Innerhalb der Umrandungen unterscheiden sich Mittelwerte mit ungleichen Buchstaben sig. ($\alpha = 0,05$).

GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte

P30 = Krumentiefe Bearbeitung mit Pflug

SR30/15 = Schichtengrubber + Rotoregge