

JUSTUS – LIEBIG – UNIVERSITÄT GIESSEN
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II
- Professur für Organischen Landbau -

Analyse und Bewertung des Humus- und
Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden
des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof

Fachbereich 09
Agrarwissenschaften,
Ökotröphologie und Umweltmanagement

Gestellt von Herrn Professor Dr. G. Leithold

Eingereicht von cand. B. Sc. Agr. Dominik Reeb

Gießen, den 24.09.2004

Gliederung

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis	IV

Inhaltsverzeichnis:

1	Einführung	1
1.1	Motiv.....	1
1.2	Zielsetzung und Bearbeitungsablauf.....	2
2	Material und Methoden.....	4
2.1	Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof.....	4
2.1.1	Lage (Geographie, Klima, Wetter)	4
2.1.2	Bewirtschaftung	5
2.1.2.1	Entwicklung und Produktionsprofil des Gladbacherhofes	5
2.1.2.2	Fruchtfolgen und Fruchtarten	7
2.1.2.3	Viehbesatz und Düngung.....	9
2.2	Dauertestflächen	10
2.2.1	Anlage	10
2.2.2	Anbau von 1999 bis 2001	12
2.2.3	Prüfmerkmalserfassung.....	18
2.2.3.1	Pflanzen.....	18
2.2.3.2	Boden	18
2.3	Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO	19
2.3.1	Grundstruktur	20
2.3.2	Bewertung des Ökologischen Landbaus in REPRO	25
2.4	Beschreibung der Analyseparameter	26
2.4.1	Humus	26
2.4.2	Stickstoff.....	27
2.4.3	Phosphor	29
2.4.4	Kalium.....	30
3	Ergebnisse.....	32
3.1	Bodenfruchtbarkeitseigenschaften.....	33
3.1.1	Humus- und Nährstoffgehalte sowie Bodenreaktion.....	33

3.1.2	Gehalt an löslichem Stickstoff.....	35
3.2	Erträge und Nährstoffentzüge	37
3.3	Bilanzen	39
3.3.1	Humusbilanz	39
3.3.2	Stickstoffbilanz	40
3.3.3	Phosphorbilanz.....	41
3.3.4	Kaliumbilanz.....	44
4	Diskussion.....	45
4.1	Auswertung der Humusbilanz und Vergleich mit den Bodenwerten	45
4.2	Bewertung der Stickstoffdynamik im Boden.....	47
4.3	Betrachtung der Stickstoffbilanz mit Bezug zum Humushaushalt	49
4.4	Bewertung der Phosphorbilanz in Verbindung mit Bodenwerten und Gehaltsklassen der VDLUFA	50
4.5	Betrachtung der Kaliumbilanz hinsichtlich der Wirkung auf das Bodengefüge und die Bodenfruchtbarkeit.....	52
5	Zusammenfassung.....	55
6	Anhang.....	58
6.1	Methode zur Simultanbestimmung von C_t und N_t mit dem Elementaranalysator VARIO EL	58
6.2	pH-Wert Messung.....	59
6.3	CAL-Methode zur Bestimmung von Phosphor- und Kaliumkonzentration	60
7	Literaturverzeichnis	61
8	Danksagung.....	65
9	Eidesstattliche Versicherung.....	66

Abkürzungsverzeichnis:

- 1.HNJ erstes Hauptnutzungsjahr
- 2.HNJ zweites Hauptnutzungsjahr
- AAS Atomabsorbtionsspektrometer
- AF Ackerfläche
- Ak Arbeitskraft
- Akh Arbeitskraftstunde
- DE Dungeinheit
- dt Dezitonne
- EWR Ernte- und Wurzelrückstände
- FM Frischmasse
- GPS Ganzpflanzen Silage
- GV Großvieheinheit
- H₂O Wasser
- ha Hektar
- HE Humuseinheit
- HG Humusgehalt
- K Kalium
- LN Landwirtschaftliche Nutzfläche
- N Stickstoff
- N_{min} mineralischer Stickstoff = Nitrat und Ammonium
- NN Höhenangabe Normal Null
- R organischer Rest
- TM Trockenmasse
- TS Trockensubstanz
- P Phosphor
- US Untersaat
- ZF Zwischenfrucht

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 2.1: Witterungsverlauf auf dem Versuchsstandort in den Monaten August 1999 bis August 2002	4
Abbildung 2.2: Flurkarte Gladbacherhof.....	11
Abbildung 2.3: Startbildschirm REPRO.....	19
Abbildung 2.4: Struktur des Modells REPRO und Vernetzung der Module.....	20
Abbildung 2.5: Humusgleichgewicht im Boden und Bedarf an organischer Substanz.....	23
Abbildung 3.1: Phosphormangel bei Winterroggen	41
Abbildung 3.2: Phosphormangel bei Winterroggen im Detail	42

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 2.1: Betriebsflächen Gladbacherhof in der Übersicht.....	7
Tabelle 2.2: Fruchtfolge Kernbetrieb gegliedert in Fruchtfolgeglieder und Fruchtfolgefelder mit Hauptfrüchten und Zwischenfrüchten.....	8
Tabelle 2.3: Anbauumfang und Ackerflächenverhältnis einzelner Feldfrüchte auf dem Gladbacherhof 2003, getrennt nach Humuszehrer und Humusmehrer.....	9
Tabelle 2.4: Bezeichnung der Versuchsflächen, Größe (ha), Bodenpunkte (nach Reichsbodenschätzung) und Bodentyp der Dauertestschläge.....	11
Tabelle 2.5: Angebaute Fruchtarten 1999 mit Sorte, Saatmenge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Aussaat- und Erntetermin	12
Tabelle 2.6: Angebaute Fruchtarten 2000 mit Sorte, Saatmenge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Aussaat- und Erntetermin	13
Tabelle 2.7: Angebaute Fruchtarten 2001 mit Sorte, Saatmenge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Aussaat- und Erntetermin	13
Tabelle 2.8: Ausgebrachte Wirtschaftsdünger ($\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$) zu den Fruchtarten im Jahr 1999.....	14
Tabelle 2.9: Ausgebrachte Wirtschafts- und Mineraldünger ($\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$) zu den Fruchtarten im Jahr 2000	15

Tabelle 2.10: Ausgebrachte Wirtschafts- und Mineraldünger ($\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$) zu den Fruchtsorten im Jahr 2001	15
Tabelle 2.11: Haupt- und Nebenprodukterträge ($\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$) der Fruchtsorten auf den Schlägen in 1999 mit Sorte und Erntetermin	16
Tabelle 2.12: Haupt- und Nebenprodukterträge ($\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$) der Fruchtsorten auf den Schlägen in 2000 mit Sorte und Erntetermin	17
Tabelle 2.13: Haupt- und Nebenprodukterträge ($\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$) der Fruchtsorten auf den Schlägen in 2001 mit Sorte und Erntetermin	17
Tabelle 2.14: Auszug der Humusbilanzkoeffizienten für den ökologischen Landbau	22
Tabelle 3.1: Fruchtfolge der Dauertestflächen in den Jahren 1999, 2000 und 2001	32
Tabelle 3.2: Relative C_t -, N_t - und Humusgehaltswerte, sowie C/N-Verhältnis aus einer Bodenanalyse vom 07.03.2000 auf den einzelnen Schlägen.	33
Tabelle 3.3: Nährstoffgehalte für P_2O_5 und K_2O ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ Boden) aus einer Bodenanalyse vom 15.11.1999 auf den einzelnen Schlägen. Ebenso sind die Vergleichswerte der VDLUFA für die Versorgungsstufe „B“ dargestellt.	34
Tabelle 3.4: pH-Werte aus einer Bodenanalyse vom 04.12.2001 auf den einzelnen Schlägen der Dauertestflächen	35
Tabelle 3.5: N_{min} -Werte ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) Herbstmessung vom 05.11.1999 in drei verschiedenen Tiefen (0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe) sowie Summe und Rotationsmittel mit der tatsächlich angebauten Fruchtart	36
Tabelle 3.6: N_{min} -Werte ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) Frühjahresmessung vom 07.03.2000 in drei verschiedenen Tiefen (0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe) sowie Summe und Rotationsmittel mit der tatsächlich angebauten Fruchtart. Angaben in Klammern sind Kulturen, die nach der Beprobung gesät wurden	36
Tabelle 3.7: Frischmasse- und Trockenmasseerträge ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$), sowie Nährstoffentzüge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), im Durchschnitt der Jahre 1999, 2000 und 2001	38
Tabelle 3.8: Humusbilanz ($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001, sowie im Mittel der drei Jahre	39
Tabelle 3.9 Stickstoffbilanz ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001 sowie im Mittel der drei Jahre. Geordnet nach Zufuhr zum Boden und Verbrauch.	40
Tabelle 3.10: Phosphorbilanz ($\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001 sowie im Mittel der drei Jahre. Geordnet nach Zufuhr zum Boden und Verbrauch.	43
Tabelle 3.11: Kaliumbilanz ($\text{kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001 sowie im Mittel der drei Jahre. Geordnet nach Zufuhr zum Boden und Verbrauch.	44

Tabelle 4.1: Mittlere Vorwinter-N _{min} -Werte nach Getreideanbau aus der Literatur zum ökologischen Landbau in Abhängigkeit vom Nachbau einer Zwischenfrucht.....	48
Tabelle 4.2: Definition der P-Gehaltsklassen für den leichtlöslichen (pflanzenverfügbaren) Phosphor im Boden und P-Düngeempfehlungen.....	50
Tabelle 4.3: Richtwerten für die P-Gehaltsklassen „A“ bis „E“	51

1 Einführung

1.1 Motiv

Seit dem „Erdgipfel“ 1992 in Rio de Janeiro, der größten Gipfelkonferenz des 20. Jahrhunderts, ist der Begriff „*nachhaltige Entwicklung*“ eine Idee, die als Ziel immer mehr in den Köpfen der Menschen, Verwaltungen und Betrieben Eingang findet. Die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung muss demnach ihren Kurs ändern und mehr Rücksicht auf die Belange der Umwelt nehmen. Ziel ist, die Befriedigung der menschlichen Grundbedürfnisse mit einer qualitativ hochwertigen Umwelt und einer gesunden Wirtschaft für alle Menschen auf der Erde miteinander in Einklang zu bringen. Nachhaltig ist eine Entwicklung dann, so der Brundtland-Report von 1987, „wenn sie den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“ (ANONYMUS, 1987, S. 2; vgl. auch LEITHOLD, 2002, S.3).

Phosphor ist die erste nicht erneuerbare natürliche Ressource, die in einem überschaubaren Zeitraum (50-100 Jahre) knapp werden wird. PRADT (2003, S. 5 ff) gibt die weltweite Menge an Phosphatvorkommen mit 12 Milliarden Tonnen an, die mit heutiger Technik abbauwürdig ist. Dies reiche gerade noch für einen Zeitraum von 90 Jahren.

LEITHOLD (2002, S. 1) beschreibt in einem Vortrag, dass die Umweltverträglichkeit der ökologischen Landbewirtschaftung durch eine vielseitige und kreislauforientierte Produktion mit Verzicht auf externe chemische Betriebsmittel nur noch selten in Frage gestellt wird. Aber auch, dass es hinsichtlich einer nachhaltigen Produktionsweise Zweifler gibt, die behaupten, dass der ökologische Landbau Raubbau hinsichtlich der Nährstoffvorräte im Ackerboden betreibt.

1.2 Zielsetzung und Bearbeitungsablauf

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse und Bewertung des Humus- und Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden am Beispiel des ökologisch wirtschaftenden Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof der Justus-Liebig-Universität Gießen. Der Untersuchungszeitraum umfasst die Jahre 1999, 2000 und 2001. Es wird der Einfluss der praxisüblichen acker- und pflanzenbaulichen Verfahren auf biotische und abiotische Ökosystemelemente anhand von Humus- und Nährstoffbilanzen, innerhalb der jeweiligen Vegetationsperiode sowie über den dreijährigen Vergleich untersucht.

In dieser Analyse werden Aussagen zum Humus-, Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumhaushalt der Ackerböden getroffen, die zu Beginn dieser Untersuchung bereits 17 Jahre lang ökologisch bewirtschaftet wurden.

Des Weiteren findet eine Einschätzung des Phosphor- und Kaliumversorgungssystems, sowie der Bodenreaktion unter zu Hilfenahme der VDLUFA-Versorgungsstufen statt.

Ebenso werden die N_{\min} -Vorräte und -Verlagerung in Bodentiefen von 0 bis 90 cm dargestellt und bewertet.

Die Erträge und damit verbundene Nährstoffentzüge der Einzelkulturen werden ermittelt und im Bezug zur Gesamtertragsfolge demonstriert.

Schließlich findet eine Analyse und Bewertung der Humus- und Nährstoffreproduktion mit Hilfe von Humus- und Nährstoffbilanzen auf Fruchtfolge statt.

Zunächst wird ein Einblick in den Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof in Form des Betriebsspiegels 2003 gegeben und wichtige Aspekte der Anbauverfahren des Bioland-Anbauverbandes am konkreten Beispiel herausgestellt.

Als nächstes wird auf die Methodik zur Anlage von Dauertestflächen eingegangen, sowie die Versuchsflächen des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof vorgestellt, die dieser Untersuchung zu Grunde liegen.

Im folgenden Punkt ist das Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO, welches an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg entwickelt wurde, beschrieben und einige Besonderheiten betont, die den ökologischen Landbau betreffen.

Bevor die Ergebnisse präsentiert werden, ist zunächst beschrieben, warum der jeweilige Untersuchungsparameter (Humus, Stickstoff, Phosphor und Kalium) wichtig für die

Pflanzen ist, wie er in den Boden gelangt und in welchen Formen er dort vorkommt. Des Weiteren wird dargestellt, wie Mangelsituationen für Pflanzen erkannt werden können und wie umweltschädliche Überschüsse vermeiden werden.

Der Ergebnisteil bildet den Punkt drei, es wird ein Einblick in maßgebliche Bodenfruchtbarkeitseigenschaften gegeben, anschließend werden Erträge und Nährstoffentzüge vorgestellt, schließlich werden Bilanzen für Humus, Stickstoff, Phosphor und Kalium präsentiert.

In der Diskussion werden die Ergebnisse aus Punkt drei ausgewertet und kritisch beleuchtet. Es wird ein Vergleich der Bilanzergebnisse mit den Ergebnissen aus Bodenanalysen und Werten aus der Literatur vorgenommen. Positive Aspekte werden ebenso wie Mangelprobleme und Schwachstellen in der Bewirtschaftung angesprochen.

Die für die Untersuchung notwendigen Labor- und Analysemethoden sind im Anhang beschrieben.

2 Material und Methoden

2.1 Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof

2.1.1 Lage (Geographie, Klima, Wetter)

Als Untersuchungsstandort dient der Lehr- und Versuchsbetrieb für organischen Landbau der Justus-Liebig Universität Gießen Gladbacherhof. Der Betrieb liegt ca. 17 km östlich von Limburg im Kreis Limburg-Weilburg, an den nordwestlichen Ausläufern des Taunus in Villmar – Aumenau.

Die arrondierten Flächen werden durch Wald eingegrenzt, sie liegen auf einer Höhenlage zwischen 140 m und 230 m über NN. Die Hangneigung der Ackerflächen beträgt bis zu 20 %, die der Grünlandflächen bis zu 30 %.

Mit einem Niederschlag von 670 mm im langjährigen Mittel und einer Jahresdurchschnittstemperatur von ca. 9°C herrscht ein schwach subkontinentales Klima vor. Der Witterungsverlauf im Untersuchungszeitraum 1999 bis 2001 ist in Abbildung 2.1 dargestellt (KRAWUTSCHKE, 2004, S. 5).

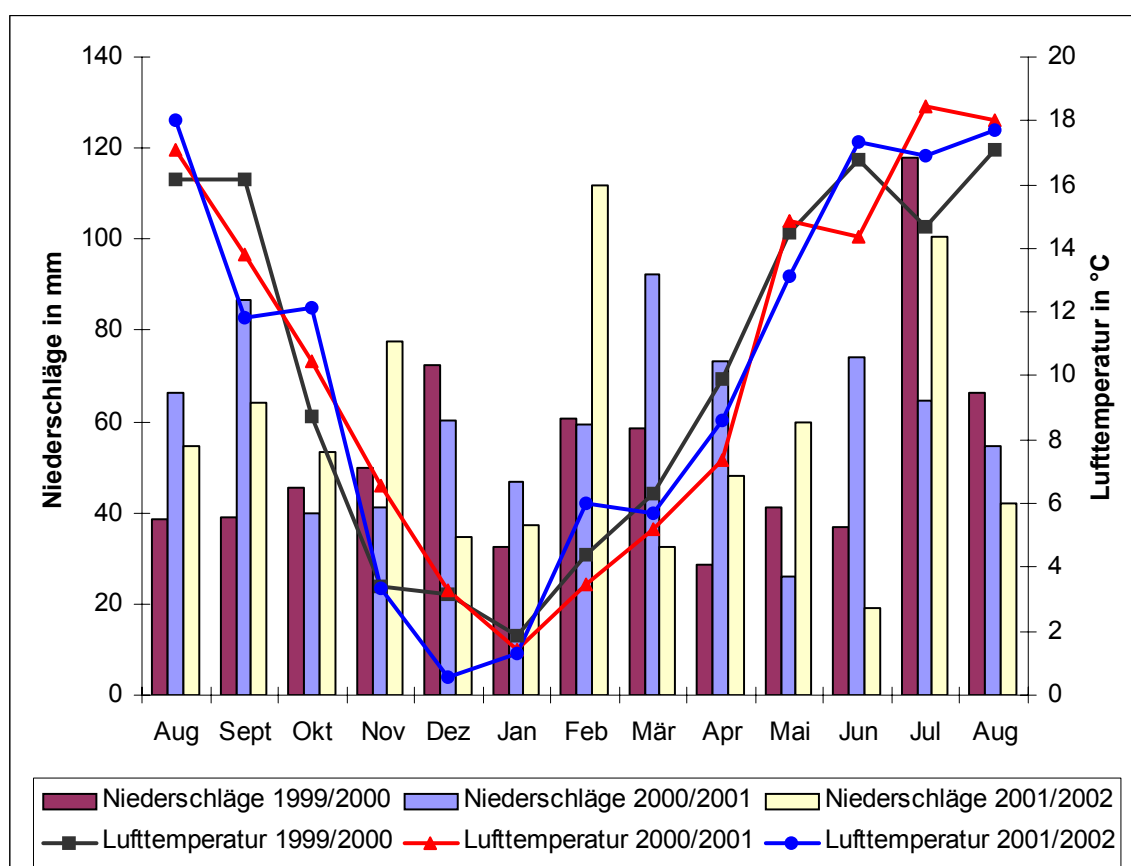


Abbildung 2.1: Witterungsverlauf auf dem Versuchsstandort in den Monaten August 1999 bis August 2002 (Wetterstation Gladbacherhof) (Quelle: Krawutschke, 2004, S. 5)

Vorwiegende Bodentypen sind Parabraunerden, sowie erodierte Parabraunerden, Pararendzinen, Kolluvien am Hangfuß, Pseudogleye, Gleye und Ranker-Braunerden. Die Ackerzahlen liegen zwischen 40 und 80 im Mittel bei 63. Die Bodenarten des Gladbacherhofes sind überwiegend lehmiger Schluff (IU) und toniger Lehm (tL).

2.1.2 Bewirtschaftung

2.1.2.1 Entwicklung und Produktionsprofil des Gladbacherhofes

Der Gladbacherhof wird seit 1983 organisch-biologisch gemäß den Bioland-Richtlinien bewirtschaftet.

In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die erste Bioland-Richtlinie für die Lebensmittelerzeuger verfasst, diese wurde seit dem immer weiterentwickelt und verbessert. So kamen beispielsweise 1979 spezifische Bioland-Verarbeitungsrichtlinien für Brot, Milch und Milchprodukte sowie Wein, Wurst- und Fleischwaren hinzu. Die Bioland-Richtlinien stellen eine rechtsgültige Arbeits- und Handlungsanweisung für Erzeuger und Verarbeiter dar. Die Einhaltung wird vom Bioland-Verband kontinuierlich überprüft, jeder Betrieb wird einmal pro Jahr von einer unabhängigen, staatlich zugelassenen Kontrollstelle begutachtet. Weiterhin finden unangekündigte Stichprobenkontrollen statt. Sollte die Kontrollstelle Mängel oder Verstöße gegen die Bioland-Richtlinie feststellen, so wird der entsprechende Betrieb abgemahnt und mit Sanktionen belegt. Bei schweren Verstößen können die Betriebe ganz aus dem Bioland-Verband ausgeschlossen werden (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 30).

Dem Pflanzenbau liegt das Prinzip des organisch-biologischen Landbaus zu Grunde, Bioland-Betriebe sind bestrebt, Stoffkreisläufe möglichst zu schließen. Das Bodenleben soll mit vielfältigen Fruchtfolgen gefördert werden. Auf eine Konzentration weniger Fruchtarten mit hohen Deckungsbeiträgen muss daher verzichtet werden. Durch den Anbau von stickstofffixierenden Leguminosen kann das Verbot von schnelllöslichen chemisch-synthetischen Mineraldüngern eingehalten werden. Der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist gemäß den Bioland-Richtlinien ebenfalls verboten (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 7 / 36).

Durch vielfältige Fruchtfolgen, eine vernünftige Sortenwahl sowie die Förderung von Nützlingen werden Krankheiten vorgebeugt und der Nachteil durch Schädlinge verringert. Die Artenvielfalt wird durch gezielt angelegte Hecken und Ackerrandstreifen erhöht, somit bildet sich ein stabiles Agrar-Ökosystem heran (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 6).

Auf einem Bioland-Betrieb ist die Viehhaltung an die Fläche gebunden, dies besagt, dass zum einen das Vieh möglichst von hofeigenen Flächen versorgt werden kann, zum anderen aber auch der Dunganfall einen Bezug zur Betriebsfläche hat. Hierfür wurde der Parameter Dungeinheit¹ definiert, er soll verhindern, dass durch zu hohe Applikationsmengen von wirtschaftseigenen Düngern zu viel Stickstoff in Form von Nitrat und andere Nährstoffe ins Grundwasser verfrachtet werden. Die Auswaschung von Nährstoffen hat neben dem Verlust für die Pflanzen den weit gefährlicheren Aspekt der Grundwasserverunreinigung und der Gewässereutrophierung zur Folge. Um diesen geschilderten Problemen zu entgehen, schreiben die Bioland-Richtlinien einen maximalen Viehbesatz von $1,4 \text{ DE} \cdot \text{ha}^{-1} \text{LF}$ vor (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 7 / 9 / 37).

Grundsätzlich gilt, dass 100 % des Futters aus Bioland-Betrieben stammen muss. Zukauffuttermittel aus nicht-ökologischer Herstellung dürfen gemäß den Bioland-Richtlinien nur bis zum 24.08.2005 mit einer Mengenbeschränkung von maximal 10 % für Schweine, Schafe, Ziegen, Dam- und Rotwild, sowie 15 % für Geflügel jeweils bezogen auf die Futtertrockenmasse eingesetzt werden, sofern eine akute Mangelernährung droht und keine Komponenten von anderen Bioland-Betrieben verfügbar sind (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 14 / 38). Für Rinder sind konventionell hergestellte Futtermittel ganz verboten (BIOLAND, 2003, S. 2). In Ausnahmefällen dürfen Medikamente eingesetzt werden, vor allem um den Tieren unnötiges Leiden zu ersparen, wenn diese Krankheiten nicht mit Naturheilverfahren zu behandeln sind. Eine vorbeugende Anwendung ist, genau wie der Einsatz von Leistungsförderern aus Antibiotika, Hormonen oder hormonähnlichen Substanzen, verboten (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 38).

Durch Zusammenlegen des „Untergladbacherhofes“ mit dem „Obergladbacherhof“ im Jahre 1983 und weiterer Flächenzupachtungen in den Jahren 1997, 1999 und 2000 (siehe Tab 2.1), ist der Betrieb bis heute auf 162 ha Gesamtfläche angewachsen. Weiterhin ist aus Tabelle 2.1 zu entnehmen, dass der Gladbacherhof über 155 ha landwirtschaftliche Nutzfläche mit 101 ha Ackerland und 54 ha Dauergrünland verfügt.

¹ 1 Dungeinheit (1 DE) entspricht 80 kg N und 70 kg P₂O₄

Tabelle 2.1: Betriebsflächen Gladbacherhof in der Übersicht.

Bodennutzung	Gladbacher Hof	Pachtung seit 1997	Pachtung seit 1999	Pachtung seit 2000	Gesamt
Landw.Fläche	85,4 ha	52,1 ha	3,4 ha	14,0 ha	154,9 ha
Ackerland	60,00 ha	37,4 ha	3,4 ha		101,1 ha
Dauergrünland	25,3 ha	14,7 ha		14,0 ha	54,0 ha
Forstflächen	4,8 ha				
Sonstige Flächen	0,6 ha				
Hoffläche	1,8 ha				
Gesamtfläche	92,6 ha	52,1 ha	3,4 ha	14,0 ha	162,0 ha

(Quelle: Betriebsspiegel Gladbacherhof 2003)

Seit dem 01. Juli 1989 ist die Justus-Liebig-Universität Gießen Pächter des Gladbacherhofes. Er dient als Lehr- und Versuchsbetrieb für den organischen Landbau.

2.1.2.2 Fruchtfolgen und Fruchtarten

Die Ackerflächen des Gladbacherhofes werden mit unterschiedlichen Fruchtfolgen bewirtschaftet. Die in Tabelle 2.2 dargestellte achtfeldrige Fruchtfolge mit zweijährigem Luzernegrasanbau zeigt den „Kernbetrieb“ mit 41 ha. Daneben gibt es noch die Fruchtfolge „Versuchsstation“ (17 ha), die Fruchtfolge „Elkerhausen“ (41 ha) und Springschläge mit einer Größe von insgesamt 7 ha, die ohne eine feste Fruchtfolge bewirtschaftet werden. Auf diese zuletzt genannten Fruchtfolgen und Springschläge wird im Weiteren nicht näher eingegangen, da sie für diese Arbeit unerheblich sind.

Die Fruchtfolge des Kernbetriebes ist in acht Fruchtfolgefelder mit drei Fruchtfolgegliedern² eingeteilt.

Zu Beginn der achtfeldrigen Fruchtfolge des Kernbetriebes steht als aufbauende Kultur ein zweijähriger Luzerne- bzw. Klee grasbestand. Der Aufwuchs dient den Rindern als Futtergrundlage. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die Knöllchenbakterien der Leguminosen Stickstoff aus der Luft fixiert und den nachfolgenden Kulturen zur Verfügung gestellt wird. Weiterhin trägt der zweijährige Futter-Leguminosenanbau einen wichtigen Beitrag zur Unkrautunterdrückung und zur Stärkung des antiphytopathogenen Potenzials des Bodens bei. Aus den genannten Gründen haben diese Kulturen eine gute Vorfruchtwirkung für die folgende anspruchsvolle Marktfrucht Winterweizen. Nach Winterweizen werden im vierten Fruchtfolgefeld Hackfrüchte angebaut, dies sind

² Ein Fruchtfolgeglied erstreckt sich von der ersten tragenden Blattfrucht bis zur letzten abtragenden Halmfrucht.

Kartoffeln oder Silomais. Durch seine hohe Energiedichte dient Silomais in der Milchviehhaltung als ein wertvolles Grundfuttermittel. Zwischen den Hackfrüchten und den stickstoffsammelnden Körnerleguminosen wird Winterroggen angebaut. Das siebte Fruchtfolgefeld ist wiederum ein Wintergetreide, vorwiegend Dinkel. Der zweijährige Futter-Leguminosenanbau wird als Untersaat im achten Fruchtfolgefeld, einem Sommergetreide bzw. einer Ganzpflanzensilage begründet. Nach jedem Anbau von Getreide wird eine Zwischenfrucht in die Fruchtfolge mit eingebracht.

Tabelle 2.2: Fruchtfolge Kernbetrieb gegliedert in Fruchtfolgeglieder und Fruchtfolgefelder mit Hauptfrüchten und Zwischenfrüchten. Auf grün hinterlegten Feldern werden Leguminosen angebaut.

Fruchtfolgeglied	Fruchtfolgefeld	Fruchtart	
I	1	Luzernegras oder Klee gras	
	2	Luzernegras oder Klee gras	
	3	Winterweizenvermehrung	(Zwischenfrucht)
II	4	Hackfrucht: Silomais oder Kartoffel	
	5	Wintergetreide, überwiegend Roggenvermehrung	(Zwischenfrucht)
III	6	Ackerbohne, Erbse	(Untersaat oder Zwischenfrucht)
	7	Wintergetreide, überwiegend Dinkelvermehrung	
	8	Sommergetreide / Luzernekleegras- bzw. Klee grasuntersaat oder GPS mit Untersaat	

Eine genauere Aussage über das Ackerflächenverhältnis ist in Tabelle 2.3 dargestellt, die Werte beziehen sich auf den gesamten Betrieb für das Jahr 2003.

Aus Tabelle 2.3 wird ersichtlich, dass 60 Prozent der Ackerfläche mit humuszehrenden und 40 Prozent der Ackerfläche mit humusmehrenden Früchten bestellt werden. Aufgrund der wirtschaftlich relativen Vorzüglichkeit nimmt der Getreideanbau mit 46 % eine dominante Stellung in der Fruchtfolge ein. Der von MEIER et al. (2003, S. 21) empfohlene Anteil von mindestens 25 % bis 33 % Leguminosen in Hauptfruchtstellung wird mit 38 % nicht unterschritten. Durch den zweijährigen Luzernekleegrasanbau in der Fruchtfolge (vgl. Tabelle 2.2) wird ein weiterer Empfehlungspunkt nach MEIER et al. eingehalten, dies hat einen positiven Aspekt auf die Unkrautregulierung. Wichtiger ist jedoch die Versorgung der Ackerböden mit Stickstoff, der durch die, mit den Leguminosen in Symbiose lebenden, Knöllchenbakterien fixiert wird.

Tabelle 2.3: Anbauumfang und Ackerflächenverhältnis einzelner Feldfrüchte auf dem Gladbacherhof 2003, getrennt nach Humuszehrer und Humusmehrer:

Fruchtart	Fläche (ha)	Relativ (%)
Winterweizen	10,2 ha	9,4 %
Winterroggen	6,2 ha	5,7 %
Dinkel	6,8 ha	6,3 %
Triticale	11,2 ha	10,3 %
Wechselweizen	5,9 ha	5,4 %
Hafer	5,5 ha	5,1 %
Getreide gesamt	45,8 ha	42,3 %
Kartoffeln	5,6 ha	5,2 %
Silomais	9,2 ha	8,5 %
Hackfrüchte gesamt	14,8 ha	13,7 %
Humuszehrer	60,6 ha	56,0 %
Luzerne/ Klee gras	25,0 ha	23,1 %
Erbsen	5,7 ha	5,3 %
Lupine	2,2 ha	2,0 %
Ackerbohne	5,9 ha	5,4 %
Stilllegung	6,3 ha	5,8 %
Humusmehrer	38,8 ha	41,6 %
Versuch	2,6 ha	2,4 %
Gesamt	102,0 ha	100,0 %

(Quelle: Betriebsspiegel Gladbacherhof 2003)

2.1.2.3 Viehbesatz und Düngung

Im Wirtschaftsjahr 2003 wurde auf dem Gladbacherhof eine 64-köpfige schwarzbunte Milchviehherde mit dem Zuchtziel „Lebensleistung“ gehalten. Im Mai 2003 betrug der gleitende Herdendurchschnitt 8.249 kg Milch mit einem Fettgehalt von 4,3 % und einem Eiweißgehalt von 3,3 %. Die weiblichen Kälber aus der eigenen Nachzucht wurden zur Weiterzucht aufgezogen, überzählige wurden ebenso wie die männlichen Kälber zur Mast verkauft.

Im Sommerhalbjahr wurden zweimal acht Schweine gemästet. Seit Mai 1999 werden 100 Hühner in Auslaufhaltung gehalten, des Weiteren befanden sich zwei Esel auf dem Hof. Somit wurden ca. 108 Großvieheinheiten³ auf dem Gladbacherhof gehalten, dies entspricht einem Viehbesatz von 0,7 Großvieheinheiten je Hektar Landwirtschaftliche Nutzfläche (0,7 GV•ha⁻¹LN). Man erhält umgerechnet auf Dungeinheiten⁴ 75,6 Dungeinheiten bzw. auf die Landwirtschaftliche Nutzfläche bezogen, 0,5 Dungeinheiten

³ eine Großvieheinheit (1 GV) entspricht 500 kg Lebensmasse (LM)

⁴ eine Dungeinheit (1 DE) entspricht 1,4 Großvieheinheiten (GV)

je Hektar Landwirtschaftliche Nutzfläche ($0,5 \text{ DE} \cdot \text{ha}^{-1} \text{LN}$). Die maximale Grenze von $1,4 \text{ DE} \cdot \text{ha}^{-1} \text{LN}$ wird somit nicht überschritten.

2.2 Dauertestflächen

2.2.1 Anlage

Um eine eventuell problematische Entwicklung in der Bewirtschaftung zu erkennen, wurden 1999 auf acht Schlägen des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof Dauertestflächen eingerichtet. Sie orientieren sich an der achtfeldrigen Fruchtfolge des Kernbetriebes und repräsentieren somit den Ackerbau des Betriebes im Kleinstmaßstab. Die Dauertestflächen mit jeweils einer Größe von 10 mal 10 Metern sind in vier quadratische Flächen geteilt. Diese stellen die Vierfachwiederholung eines jeden Versuchstandortes dar. Die Lage der Dauertestflächen ist für den jeweiligen Schlag charakteristisch ausgewählt und mittels GPS (global positioning system) genau eingemessen. Die Messtechnik muss das Wiederherstellen der Parzellen schnellstmöglich und mit einem geringen Arbeitskräftebedarf gestatten, damit eine zeitgleiche Probenahme erfolgen kann (CHUDY, 2000, S. 50-55).

Die Abbildung 2.2 zeigt eine Flurkarte mit den ausgewählten Ackerschlägen. Die gelben Flächen in Abbildung 2.2 zeigen die Ackerflächen des Gladbacherhofes, die roten Quadrate stellen die Dauertestflächen dar, die grünen Flächen sind Wiesen und Weiden.

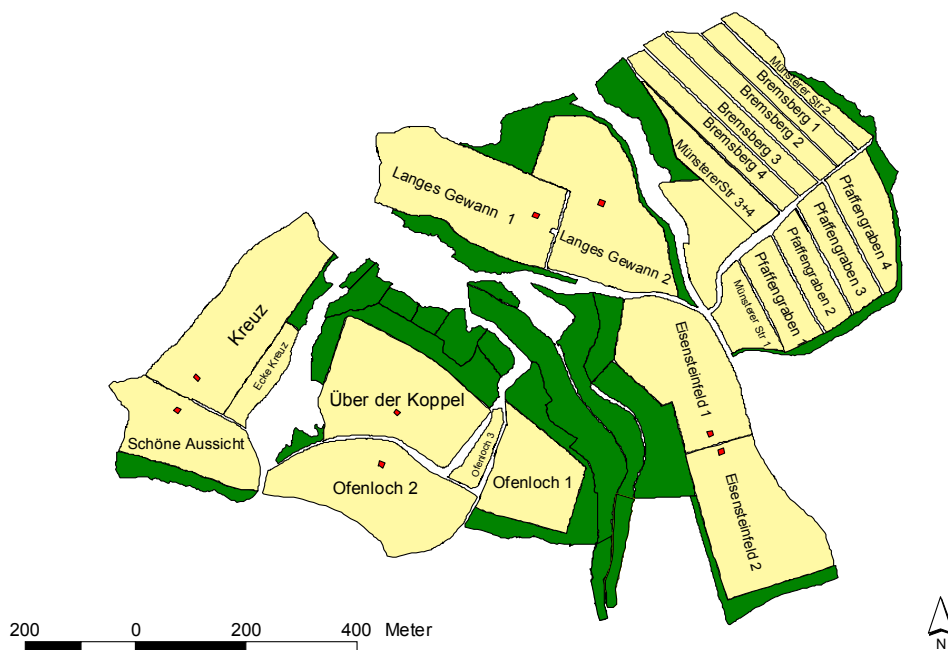


Abbildung 2.2: Flurkarte Gladbacherhof. Rote Quadrate markieren die Dauertestflächen

In Tabelle 2.4 sind die Schläge mit den Dauertestflächen in der vereinbarten Reihenfolge (1 bis 8) mit Name aufgeführt. Hier sind auch die Gesamtfläche der Schläge zu sehen, sowie Bodenpunkte nach der Reichsbodenschätzung und der Bodentyp.

Tabelle 2.4: Bezeichnung der Versuchsflächen, Größe (ha), Bodenpunkte (nach Reichsbodenschätzung) und Bodentyp der Dauertestschläge

Schlag-Nr.	Schlag Name	Schlaggröße	Bodenpunkte	Bodentyp
1	Kreuz	5,3 ha	52	erodierte Parabraunerde
2	Schöne Aussicht	3,3 ha	70	erodierte Parabraunerde
3	Ofenloch 2	4,9 ha	67	erodierte Parabraunerde
4	Über der Koppel	5,0 ha	57	erodierte Parabraunerde
5	Gewann 1	2,3 ha	74	Prarendzina
6	Gewann 2	2,5 ha	69	erodierte Parabraunerde
7	Eisensteinfeld 1	4,4 ha	63	Prarendzina
8	Eisensteinfeld 2	4,7 ha	58	erodierte Parabraunerde

(Quelle: Schlagkarteien Gladbacherhof)

2.2.2 Anbau von 1999 bis 2001

Die Tabellen 2.5, 2.6 und 2.7 zeigen die angebauten Fruchtarten bezogen auf die jeweiligen Jahre. Sie beinhalten die verwendeten Sorten mit der entsprechenden Saatmenge. Der Aussaattermin ist das Datum, an dem der komplette Schlag bestellt wurde, der Erntetermin bezieht sich auf das Datum, an dem die Proben von den Dauertestflächen genommen wurden, dieser hängt mit dem Erntetermin zusammen.

Tabelle 2.5: Angebaute Fruchtarten 1999 mit Sorte, Saatmenge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Aussaat- und Erntetermin

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Sorte	Saatmenge [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Aussaat	Ernte
1	Kreuz	Luzernegras 2.HNJ				
2	Schöne Aussicht	GPS (Sommerweizen + Erbsen)		250	02.04.1999	17.07.1999
		Untersaat				12.10.1999
3	Ofenloch 2	Erbsen	Classic	260	02.04.1999	26.07.1999
4	Über der Koppel	Roggen	Amilo	140	07.11.1998	28.07.1999
5	Gewann 1	Weizen	Alidos	210	17.10.1998	26.07.1999
		Zwischenfrucht (Erbsen, Bohnen, Gras, Wicken)				26.10.1999
6	Gewann 2	Luzernegras 1.HNJ	Verko	30	15.04.1998	
7	Eisensteinfeld 1	Silomais	Helix	200	04.05.1999	11.09.1999
8	Eisensteinfeld 2	Sommerweizen	Thasos	190	02.12.1998	26.07.1999
		Zwischenfrucht (Ölrettich)				26.10.1999

(Quelle: Schlagkarteien Gladbacherhof)

Tabelle 2.6: Angebaute Fruchtarten 2000 mit Sorte, Saatmenge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Aussaat- und Erntetermin

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Sorte	Saatmenge [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Aussaat	Ernte
1	Kreuz	Weizen	Renan	210	19.10.1999	31.07.2000
		Zwischenfrucht (Ölrettich)				13.11.2000
2	Schöne Aussicht	Luzernegras 1.HNJ		30	07.05.1999	
3	Ofenloch 2	Dinkel	Franckenkorn	210	07.10.1999	01.08.2000
4	Über der Koppel	Erbsen	Classic	280	08.04.2000	07.08.2000
5	Gewann 1	Kartoffeln	Agria	4120	27.04.2000	13.09.2000
6	Gewann 2	Luzernegras 2.HNJ		30	25.07.1999	
7	Eisensteinfeld 1	Roggen	Amilo	130	06.10.1999	01.08.2000
8	Eisensteinfeld 2	GPS (Sommerweizen + Erbsen)		200	10.04.2000	20.07.2000
		Untersaat				17.10.2000

(Quelle: Schlagkarteien Gladbacherhof)

Tabelle 2.7: Angebaute Fruchtarten 2001 mit Sorte, Saatmenge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Aussaat- und Erntetermin

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Sorte	Saatmenge [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Aussaat	Ernte
1	Kreuz	Silomais	Helix	200	08.05.2001	27.09.2001
2	Schöne Aussicht	Luzernegras 2.HNJ				
3	Ofenloch 2	GPS (Sommerweizen + Erbsen)		200	14.04.2001	26.07.2001
		Untersaat				14.10.2001
4	Über der Koppel	Dinkel	Franckenkorn	200	26.10.2000	28.07.2001
		Zwischenfrucht	Ölrettich, Erbsen, Sommerwicken			09.11.2001
5	Gewann 1	Roggen	Amilo	1300	05.10.2000	28.07.2001
		Zwischenfrucht (Ölrettich, Erbsen, Sommerwicken)				09.11.2001
6	Gewann 2	Weizen	Renan	226	11.12.2000	28.07.2001
7	Eisensteinfeld 1	Erbsen	Classic	275	09.04.2001	14.08.2001
8	Eisensteinfeld 2	Luzernegras 1.HNJ		28	16.04.2000	

(Quelle: Schlagkarteien Gladbacherhof)

In den Tabellen 2.8, 2.9 und 2.10 sind die zu den Fruchtarten ausgebrachten Wirtschafts- und Mineraldünger ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) dargestellt. Im Jahr 1999 (vgl. Tabelle 2.8) wurden nur Wirtschaftsdünger ausgebracht, in den Jahren 2000 und 2001 (vgl. Tabelle 2.9 und 2.10) wurde zusätzlich das Rohphosphat Gafsa® mit einem Phosphatgehalt von 27 % ausgebracht. Das Datum bezeichnet den Termin, an dem der Dünger auf den Schlag appliziert wurde.

Im Jahr 2001 (vgl. Tabelle 2.10) trat in den gelb hinterlegten Zellen ein Fehler bei der Erfassung der applizierten Düngermenge auf. Hier wurden teilweise nur Teilflächen gedüngt, es kann nicht mehr nachvollzogen werden, wann die Dauertestflächen gedüngt wurden. In Absprache mit dem Agrartechniker der Versuchsstation bezieht sich die applizierte Menge auf die jeweilige Gesamtfläche des Schlages.

Tabelle 2.8: Ausgebrachte Wirtschaftsdünger ($\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$) zu den Fruchtarten im Jahr 1999

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Mittel	Menge [$\text{dtFM}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Datum
1	Kreuz	Luzernegras 2.HNJ			
2	Schöne Aussicht	GPS	Rottemist	92,9	29.08.1998
3	Ofenloch 2	Kartoffeln	Rottemist	409,9	19.08.1998
4	Über der Koppel	Roggen	Gülle	88,0	27.04.1999
4	Über der Koppel	Roggen	Jauche	94,0	09.10.1998
5	Gewann 1	Winterweizen	Gülle	88	27.04.1999
7	Eisensteinfeld 1	Silomais	Gülle	84,8	03.12.1998
7	Eisensteinfeld 1	Silomais	Stallmist	30,1	27.11.1998
7	Eisensteinfeld 1	Silomais	Rottemist	391,9	25.08.1998
8	Eisensteinfeld 2	Sommerweizen	Rottemist	73,5	25.11.1998
8	Eisensteinfeld 2	Sommerweizen	Stallmist	73,5	25.11.1998

(Quelle: Schlagkarteien Gladbacherhof)

Tabelle 2.9: Ausgebrachte Wirtschafts- und Mineraldünger (dtFM•ha⁻¹) zu den Fruchtarten im Jahr 2000

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Mittel	Menge [dtFM•ha ⁻¹]	Datum
1	Kreuz	Weizen	Gafsa 27	3,0	27.01.2000
2	Schöne Aussicht	Luzernegras 1.HNJ	Gafsa 27	3,0	27.01.2000
3	Ofenloch 2	Dinkel	Gafsa 27	3,0	27.01.2000
3	Ofenloch 2	Dinkel	Rottemist	144,1	24.01.2000
4	Über der Koppel	Erbsen			
5	Gewann 1	Kartoffeln	Gülle	75,2	28.10.1999
5	Gewann 1	Kartoffeln	Stallmist	84,6	13.08.1999
5	Gewann 1	Kartoffeln	Rottemist	228,0	09.08.1999
6	Gewann 2	Luzernegras 2.HNJ			
7	Eisensteinfeld 1	Winterroggen			
8	Eisensteinfeld 2	GPS	Gafsa 27	2,4	19.04.2000
8	Eisensteinfeld 2	GPS	Gülle	110,0	11.08.1999

(Quelle: Schlagkarteien Gladbacherhof)

Tabelle 2.10: Ausgebrachte Wirtschafts- und Mineraldünger (dtFM•ha⁻¹) zu den Fruchtarten im Jahr 2001

Nr.	Schlagname	Kultur	Mittel	Menge [dtFM•ha ⁻¹]	Datum
1	Kreuz	Silomais	Gülle	27,3	21.12.2000
1	Kreuz	Silomais	Gülle	92,1	08.11.2000
1	Kreuz	Silomais	Gülle	83,7	24.10.2000
1	Kreuz	Silomais	Gülle	36,4	30.08.2000
1	Kreuz	Silomais	Rottemist	326,4	19.08.2000
2	Schöne Aussicht	Luzernegras 2.HNJ	Gafsa 27	2,2	19.01.2001
3	Ofenloch 2	GPS			
4	Über der Koppel	Dinkel	Rottemist	50,2	18.01.2001
4	Über der Koppel	Dinkel	Rottemist	95,8	17.01.2001
4	Über der Koppel	Dinkel	Gülle	19,1	25.09.2000
4	Über der Koppel	Dinkel	Gülle	38,3	11.09.2000
4	Über der Koppel	Dinkel	Gülle	53,8	14.08.2000
5	Gewann 1	Winterroggen	Gülle	149,6	04.04.2001
5	Gewann 1	Winterroggen	Gülle	8,8	03.04.2001
5	Gewann 1	Winterroggen	Gülle	8,8	20.03.2001
6	Gewann 2	Winterweizen	Rottemist	187,0	09.05.2001
7	Eisensteinfeld 1	Erbsen	Rottemist	54,9	15.01.2001
7	Eisensteinfeld 1	Erbsen	Rottemist	138,4	29.12.2000
7	Eisensteinfeld 1	Erbsen	Rottemist	80,0	21.12.2000
7	Eisensteinfeld 1	Erbsen	Rottemist	41,2	21.11.2000
8	Eisensteinfeld 2	Luzernegras 1.HNJ	Gafsa 27	2,3	19.01.2001

(Quelle: Schlagkarteien Gladbacherhof)

In den Tabellen 2.11, 2.12 und 2.13 sind die Erträge der einzelnen Schläge bezogen auf die jeweiligen Jahre erfasst. Die Luzernegräser im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr wurden jeweils dreimal geerntet, die Menge des Hauptproduktes ist die gesamte Menge, die im jeweiligen Jahr auf der Fläche geerntet wurde. Der Erntetermin und die Menge des Hauptproduktes ist bei den Untersaaten und Zwischenfrüchten ebenfalls erfasst worden und in den Tabellen wiedergegeben.

Tabelle 2.11: Haupt- und Nebenprodukterträge (dtFM•ha⁻¹) der Fruchtarten auf den Schlägen in 1999 mit Sorte und Erntetermin

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Sorte	Ernte	Menge HP [dtFM•ha ⁻¹]	Menge NP [dtFM•ha ⁻¹]
1	Kreuz	Luzernegras 2.HNJ			109,1	
2	Schöne Aussicht	GPS (Sommerweizen + Erbsen)		17.07.1999	119,0	
		Untersaat		12.10.1999	22,2	
3	Ofenloch 2	Erbsen	Classic	26.07.1999	14,9	38,9
4	Über der Koppel	Roggen	Amilo	28.07.1999	25,5	67,5
5	Gewann 1	Weizen	Alidos	26.07.1999	50,9	56,6
		Zwischenfrucht (Erbsen, Bohnen, Gras, Wicken)		26.10.1999	153,6	
6	Gewann 2	Luzernegras 1.HNJ	Verko		86,1	
7	Eisensteinfeld 1	Silomais	Helix	11.09.1999	554,5	
8	Eisensteinfeld 2	Sommerweizen	Thasos	26.07.1999	63,1	85,7
		Zwischenfrucht (Ölrettich)		26.10.1999	164,7	

(Quelle: Erntebegleitbögen Gladbacherhof)

Tabelle 2.12: Haupt- und Nebenprodukterträge (dtFM•ha⁻¹) der Fruchtarten auf den Schlägen in 2000 mit Sorte und Erntetermin

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Sorte	Ernte	Menge HP [dtFM•ha ⁻¹]	Menge NP [dtFM•ha ⁻¹]
1	Kreuz	Weizen	Renan	31.07.2000	41,9	46,6
		Zwischenfrucht (Ölrettich)		13.11.2000	338,2	
2	Schöne Aussicht	Luzernegras 1.HNJ			154,8	
3	Ofenloch 2	Dinkel	Franckenkorn	01.08.2000	41,0	84,8
4	Über der Koppel	Erbsen	Classic	07.08.2000	52,8	44,1
5	Gewann 1	Kartoffeln	Agria	13.09.2000	351,8	
6	Gewann 2	Luzernegras 2.HNJ			173,6	
7	Eisensteinfeld 1	Roggen	Amilo	01.08.2000	71,7	95,5
8	Eisensteinfeld 2	GPS (Sommerweizen + Erbsen)		20.07.2000	227,3	
		Untersaat		17.10.2000	110,6	

(Quelle: Erntebegleitbögen Gladbacherhof)

Tabelle 2.13: Haupt- und Nebenprodukterträge (dtFM•ha⁻¹) der Fruchtarten auf den Schlägen in 2001 mit Sorte und Erntetermin

Nr.	Schlagname	Fruchtart	Sorte	Ernte	Menge HP [dtFM•ha ⁻¹]	Menge NP [dtFM•ha ⁻¹]
1	Kreuz	Silomais	Helix	27.09.2001	516,9	
2	Schöne Aussicht	Luzernegras 2.HNJ			168,8	
3	Ofenloch 2	GPS (Sommerweizen + Erbsen)		26.07.2001	111,0	
		Untersaat		14.10.2001	57,1	
4	Über der Koppel	Dinkel	Franckenkorn	28.07.2001	47,8	83,4
		Zwischenfrucht (Ölrettich, Erbsen, Sommerwicken)		09.11.2001	162,4	
5	Gewann 1	Roggen	Amilo	28.07.2001	60,1	79,8
		Zwischenfrucht (Ölrettich, Erbsen, Sommerwicken)		09.11.2001	269,4	
6	Gewann 2	Weizen	Renan	28.07.2001	47,2	58,0
7	Eisensteinfeld 1	Erbsen	Classic	14.08.2001	45,1	58,1
8	Eisensteinfeld 2	Luzernegras 1.HNJ			165,7	

(Quelle: Erntebegleitbögen Gladbacherhof)

2.2.3 Prüfmerkmalserfassung

2.2.3.1 Pflanzen

Die Prüfmerkmale für die Pflanzen, also Ertrag in Frisch- und Trockenmasse, sowie Trockensubstanz wurden im institutseigenem Labor auf dem Gladbacherhof und in Gießen analysiert. Nachfolgend ist die Ermittlung des Ertrages in Frisch- und Trockenmasse und die Analysemethode zur Bestimmung des C_t- und N_t-Gehaltes dargestellt.

Die Pflanzenproben werden am Erntetag von den Dauertestflächen genommen, die Erntefläche beträgt bei jeder Wiederholung 0,5m². Anschließend wird der Frischmasseertrag der Haupt- und Nebenprodukte durch Abwiegen ermittelt. Eine weitere Probe wird entnommen, gewogen und danach im Trockenschrank bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Das anschließende Wiegen ermöglicht es, den Trockenmassegehalt der Probe, durch den Wasser Verlust, zu bestimmen.

Zur Bestimmung des C_t- und N_t-Gehaltes im Boden wird eine Simultanbestimmung mit dem Elementaranalysator VARIO EL durchgeführt. Eine genaue Beschreibung dieser Analyse ist im Anhang nachzuschlagen.

2.2.3.2 Boden

Die Prüfmerkmale für die Böden wurden anhand von Bodenproben im institutseigenen Labor analysiert. Diese Prüfmerkmale sind die Humus-, Kohlenstoff-, Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumgehalte, sowie die pH-Werte.

Der C_t- und N_t-Gehalt wird mittels derselben Analysemethoden bestimmt, die für die Pflanzen angewendet wird. Ebenso wie diese kann man die Bestimmung des pH-Wertes im Anhang nachvollziehen. Weiterhin ist die Calcium-Azetat-Laktat-Methode (CAL-Methode) relevant, die zur Feststellung der Konzentration der löslichen Phosphor- und Kaliumionen benötigt wird und ebenfalls im Anhang erläutert ist. Die Ergebnisse stammen aus den Analysen des Labors und wurden zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

2.3 Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO

Für die Berechnung der Humus- und Nährstoffbilanzen wurde das Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO verwendet. Dies wurde von der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für diese Analyse zur Verfügung gestellt. Entwickelt wurde dieses Programm unter der Leitung von Professor HÜLSBERGEN. Der Startbildschirm von REPRO ist in Abbildung 2.3 gezeigt.

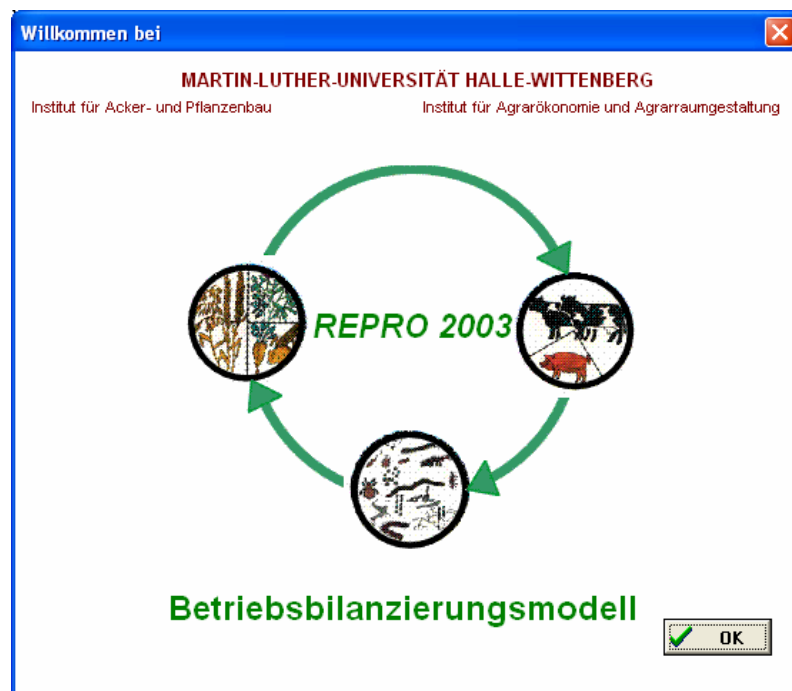


Abbildung 2.3: Startbildschirm REPRO

(Quelle: Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO)

2.3.1 Grundstruktur

Die Grundstruktur von REPRO ist in Abbildung 2.4 dargestellt und im Folgenden erläutert. Als Quellen zur Beschreibung dienen, wenn nicht anders angegeben: HÜLSBERGEN, DIEPENBROCK, und ROST, 2000, sowie HÜLSBERGEN, 2003.

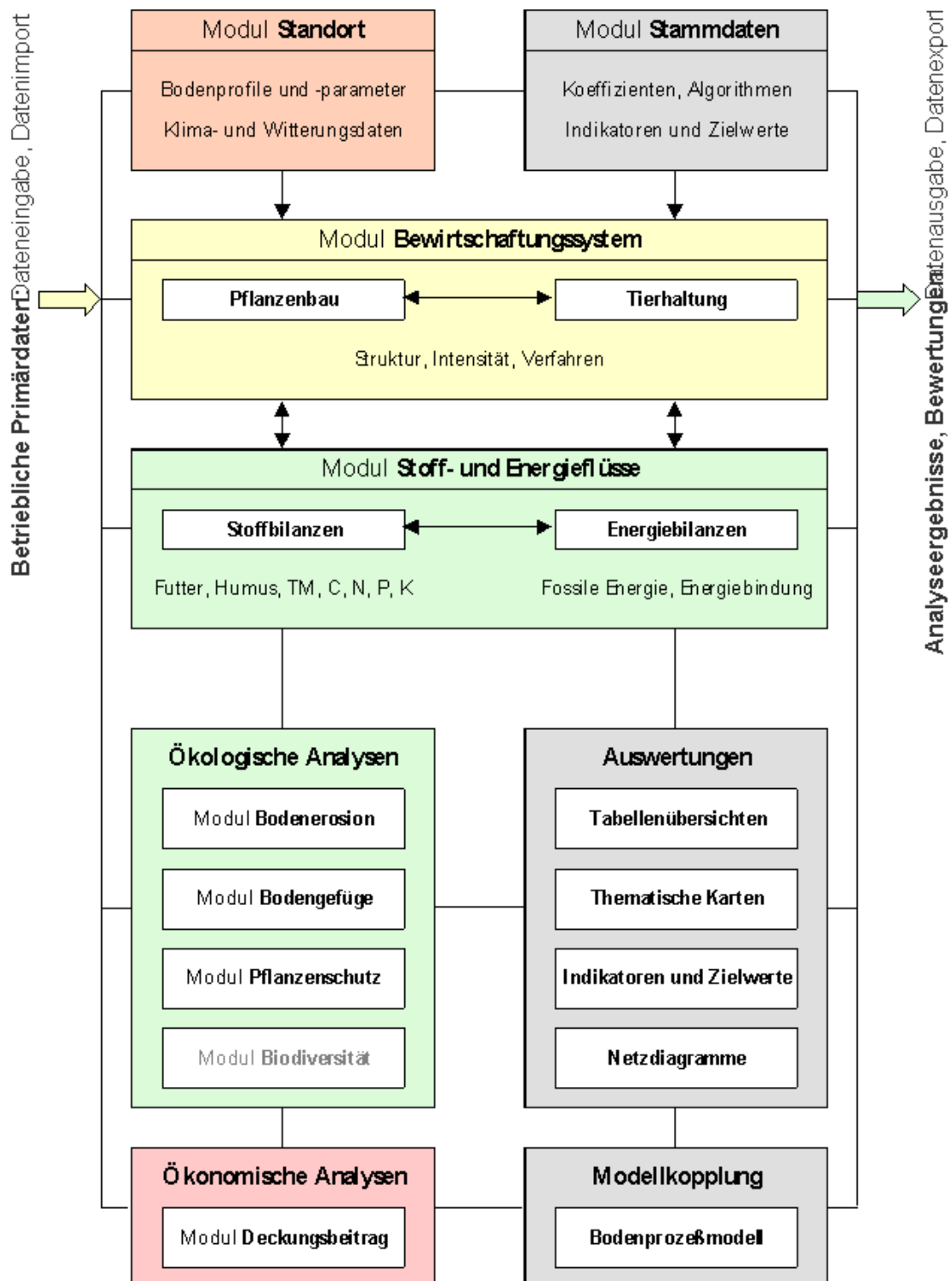


Abbildung 2.4: Struktur des Modells REPRO und Vernetzung der Module
(Quelle: HÜLSBERGEN, DIEPENBROCK, und ROST, 2000)

Das PC-Programm REPRO ist modular aufgebaut, die einzelnen Module sind miteinander vernetzt und haben die im Folgenden beschriebenen Funktionen.

Als erstes werden im Modul „Bewirtschaftungssystem“ die Betriebsstruktur, die Bewirtschaftungsintensität und die Produktionsverfahren festgelegt. Im Pflanzenbau ist die kleinste Untersuchungsebene der Teilschlag, im Bereich Tierhaltung ist es der Stallbereich. Innerhalb der Tierarten findet eine Differenzierung nach Produktionsrichtungen, Altersstufen und Tierleistungen statt. Diese Eingangsdaten sind aus den jeweiligen Betriebsdaten zu erfassen oder können aus bereits vorhandener Agrarsoftware übernommen werden.

Die Schlagverwaltung ist im „Standort-Modul“ mit einer GIS-Anbindung versehen. Dadurch wird es ermöglicht, die ermittelten Werte graphisch auf Schlagkarten darzustellen. Die jeweiligen standortspezifischen Daten können teilschlagbezogen erfasst werden. Liegen keine Messwerte für, zum Beispiel Boden- oder Wetterdaten vor, so werden diese aus den Werten der Stammdaten übernommen.

Die „Stammdaten“ beinhalten die notwendigen Modellparameter von Betriebssystemen. Sie enthalten naturwissenschaftliche und ökonomische Kennzahlen. Damit wird die Analyse und Bewertung von Betriebsvarianten erleichtert. Die Stammdaten sind erweiterungsfähig. Dadurch kann das Modell einfach und flexibel an neue Bewirtschaftungsvarianten angepasst werden.

In einem weiteren Modul „Stoff- und Energieflüsse“ wird der Betrieb auf verschiedenen Systemebenen mittels Bilanzen durchgerechnet. Die Verbindung einzelner Betriebszweige und Subsysteme zu einer geschlossenen Darstellung innerbetrieblicher Stoff- und Energieflüsse ist das Ziel dieses Moduls. Um eine durchgängige und konsistente Bilanzierung zu ermöglichen, müssen Stoffströme miteinander gekoppelt sein. Sie dürfen nicht abreißen.

Das Betriebsbilanzierungsmodell REPRO rechnet mit der Humuseinheitenmethode nach LEITHOLD et al. (1997), die von HÜLSBERGEN et al. (2000) weiterentwickelt wurde. Die „Humuseinheit“ (HE) wird als Maßstab verwendet. Sie enthält gemäß der Definition 55 kg organisch gebundenen Stickstoff und 580 kg organisch gebundenen Kohlenstoff (LEITHOLD, 2004 a, S.2). Das Wesen dieser Methode beruht darin, den durch humuszehrende Fruchtarten verursachten Humusverlust mit dem Humusgewinn durch humusmehrende Fruchtarten und organischen Dünger zu verrechnen. Zwischen den humusaufbauenden Prozessen und den humusabbauenden soll ein Fließgleichgewicht bestehen. Als humuszehrende Fruchtarten gelten u.a. Hackfrüchte, Silomais und Getreide.

Beim Anbau dieser Fruchtarten tritt eine Abnahme der Humusvorräte im Boden auf. Humusmehrende Fruchtarten sind u.a. Luzernegras bzw. Klee gras gemenge, hier ist eine Gewinn an Humus und einem Aufbau des Humusspiegels im Boden zu erwarten. Dieser Einfluss der Fruchtarten entsteht durch die direkte Wirkung, das heißt durch die Menge und die Qualität der Ernte- und Wurzelrückstände, durch den Zeitraum der Bodenbedeckung und durch die Teilbrachezeiten. Eine indirekte Wirkung üben die Produktionsverfahren, zum Beispiel Bodenbearbeitung, aus (HÜLSBERGEN, 2003, S. 80).

Für die einzelnen Fruchtarten und organischen Düngemittel sind Bilanzierungskoeffizienten festgelegt, Tabelle 2.14 informiert auszugsweise über diese Koeffizienten. Humuszehrende Fruchtarten gehen mit einem negativen, humusmehrende mit einem positiven Wert in die Bilanz ein. Bei Fruchtarten bezieht sich eine Humuseinheit jeweils auf einen Hektar, bei organischen Düngern auf Tonnen ausgebrachte Frischmasse.

Tabelle 2.14: Auszug der Humusbilanzkoeffizienten für den ökologischen Landbau

Fruchtart	HE•ha⁻¹
Zuckerrüben	-3,40
Kartoffel	-2,75
Silomais	-2,05
Winterraps	-1,05
Getreide	-1,05
Luzernegras	
1.HNJ	1,80
2.HNJ	1,40
Rotationsbrache selbst begrünt	0,20
Begrünung mit Leguminosen Grasgemenge	1,50
Organische Dünger	HE•t FM⁻¹
Frischmist	0,05
Rottemist	0,08
Mistkompost	0,10
Rindergülle	0,02
Schweinegülle	0,02
Stroh	0,12
Gründüngung	0,01

(Quelle: LEITHOLD, 2004 a, S.4)

Nach LEITHOLD (2004 a, S. 2) „weist die Humusbilanz eine Reihe von Vorteilen auf [...]. So erlaubt die Humusbilanz näherungsweise eine quantitative Beschreibung der [...] Prozesse des Humusauf- und Humusabbaus unter Praxisbedingungen. [...] Schließlich sind sofortige Schlussfolgerungen zur Gestaltung der Humusersatzwirtschaft möglich“.

Die Formel [1] in Abbildung 2.5 dient zur Berechnung des Humushaushaltes. Stellt man diese um, kann der Humusbruttoverlust mit der Gleichung [2] sowie der Humusnettoverlust mit der Gleichung [3] berechnet werden. Das gezeigte Prinzip liegt der Humusbilanzmethodik zu Grunde. Sie ist in Tabelle 3.8 abgebildet.

Humusverlust	Humusersatz	
$\text{HG} \cdot \text{MR}_{\text{HG}} \geq \text{OD} \cdot \text{HR}_{\text{OD}} + \text{EWR} \cdot \text{HR}_{\text{EWR}}$		[1]
<u>Humusbruttoverlust</u> (HBV) = $\text{HG} \cdot \text{MR}_{\text{HG}}$ (abhängig von Boden, Klima, Anbautechnik)		[2]
<u>Humusnettoverlust</u> (HNV) = $(\text{HG} \cdot \text{MR}_{\text{HG}}) - (\text{EWR} \cdot \text{HR}_{\text{EWR}})$		[3]
$\text{Bedarf an organischem Dünger} \geq \frac{(\text{HG} \cdot \text{MR}_{\text{HG}}) - (\text{EWR} \cdot \text{HR}_{\text{EWR}})}{\text{HR}_{\text{OD}}}$		[4]
<p>Symbole:</p> <p> HG = Humusgehalt ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) OD = org. Dünger in TM ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) EWR = Ernte- und Wurzelrückstände in TM ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) MR_{HG} = Mineralisierungsrate des Humusgehaltes HR_{OD} = Humifizierungsrate des organischen Düngers HR_{EWR} = Humifizierungsrate der EWR </p>		

Abbildung 2.5: Humusgleichgewicht im Boden und Bedarf an organischer Substanz.

(Quelle: LEITHOLD, 2004 a, S. 3)

Weitere Methoden, die im Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO enthalten sind, werden im Folgenden nach HÜLSBERGEN, DIEPENBROCK, und ROST (2000) wiedergegeben:

„Die in das Modell integrierte Methodik der Energiebilanzierung (KALK & HÜLSBERGEN, 1998) entstand in Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrartechnik Bornim. Die Halleschen Dauerversuche dienten auch hierbei als eine Modellgrundlage.

In REPRO werden teilschlagbezogene N-Bilanzen berechnet. Der N-Saldo beschreibt das Verlustpotenzial (NO_3^- , NH_4^+ , N_2O , NH_3). Eine Aufspaltung in N-Verlustpfade ist mit Schätzverfahren möglich. Während in vereinfachten Bilanzen ein N_t -Fließgleichgewicht ($\Delta \text{N}_t = 0$) im Boden unterstellt wird, kann diese Größe durch Kopplung mit der Humusbilanz einbezogen werden. Die Denitrifikation wird standortbezogen nach HERMSMEYER & VAN DER PLOEG (1996) geschätzt. Ausgehend von der berechneten Sickerwassermenge und dem Nitrat austrag (modifiziertes Verfahren nach DVWK, 1996) wird die potenzielle Nitratkonzentration des Sickerwassers berechnet.

Durch Kopplung mit einem Bodenprozessmodell (FRANKO et al., 1995) können für spezielle Anwendungsfälle der C/N-Umsatz sowie die Nitratdynamik und Sickerwasserbildung detaillierter analysiert werden, allerdings sind die Anforderungen an die Eingangsparameter höher. Zur Simulation werden Bodenprofil-Daten benötigt; diese Werte sind in Praxisbetrieben kaum verfügbar. Deshalb werden modellintern Musterprofile mit mittleren Parametern sowie Witterungsdaten ausgewählter Klimastationen bereitgestellt, die über die Klassenzeichen der Reichsbodenschätzung den Schlägen zuzuordnen und gegebenenfalls anzupassen sind.“

In der vorliegenden Arbeit wurde bei der Auswertung in REPRO der dynamische bzw. erweiterte Ansatz verwendet. Das bedeutet, dass die „Netto-Mineralisation bzw. -Immobilisation“ von Stickstoff berücksichtigt wird (HÜLSBERGEN, 2003, S. 58). Die Parameter der Humusbilanz werden an die Standortbedingungen, das Ertrags- und Düngerniveau angepasst (HÜLSBERGEN, 2003, S. 80). HÜLSBERGEN (2003, S. 7) schreibt weiterhin, dass „bei Vernachlässigung der Boden-N-Vorratsänderungen [...] erhebliche Fehler bei der Ermittlung der N-Verluste auftreten“ können.

2.3.2 Bewertung des Ökologischen Landbaus in REPRO

Das Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO bietet im Modul „Ökologische Bewertung“ eine Beurteilung der landwirtschaftlichen Aktivitäten mit standortbezogenen Indikatoren und Zielwerten. Als Indikatoren der Bewirtschaftung stehen neben Strukturkennzahlen, Intensitätskennzahlen und Verfahrensparametern auch direkte und indirekte Agrar-Umweltindikatoren zur Verfügung. Die jeweiligen regionalen Besonderheiten können in den Zielwerten regions- und bewirtschaftungsbedingt angepasst und definiert werden.

Eine ökonomische Bewertung kann in einem weiteren Modul durchgeführt werden. Die Grundlage der Berechnung sind eine Deckungsbeitragsrechnung sowie eine Vollkostenrechnung. In einem erweiterten Modus wird die Deckungsbeitragsrechnung durch eine monetäre Bewertung von Umweltkosten (zum Beispiel die Verschmutzung von Grundwasser durch Nitrat) und Leistungen des Bewirtschaftungssystems zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (Humusreproduktion, symbiotische Stickstofffixierung) ergänzt.

Das Modul „symbiotische Stickstofffixierung“ differenziert in fixierte Stickstoffmengen im Ertrag sowie in Ernte- und Wurzelrückständen. Dies ist unerlässlich, da die fixierte Stickstoffmenge als Eingangsgröße in verschiedenen Subsystemen angesehen wird. Die Ernteprodukte werden vom Feld abgefahren und gehen als Marktprodukte dem Kreislauf als Export verloren oder gelangen über den Weg als Futter wieder in den Kreislauf zurück. Ernte- und Wurzelrückstände sowie Stroh- und Gründüngungssubstanz verbleiben auf dem Feld und gehen direkt in die Bilanzen ein (HÜLSBERGEN, 2003, S. 58). Für eine exakte Kalkulierung der Fixierungsleistung im Gemengeanbau beschreibt HÜLSBERGEN (2003, S. 60), dass der Leguminosenanteil an der geernteten Biomasse abzuschätzen sei.

In REPRO werden die genannten Indikatoren nicht isoliert sondern in ihrer Vernetzung betrachtet, dies erlaubt Umweltwirkungen und ökonomische Effekte aufzuzeigen. Weiterhin kann mit der Verbindung aus ökologischen und ökonomischen Analysen eine Gesamtaussage zu dem Betriebssystem gemacht werden.

2.4 Beschreibung der Analyseparameter

Bevor die Ergebnisse näher betrachtet werden, wird im Folgenden zunächst ein kurzer Einblick über die einzelnen Analyseparameter Humus, Stickstoff, Phosphor und Kalium gegeben.

2.4.1 Humus

Als Humus wird die tote organische Bodensubstanz bezeichnet. Sie besteht aus von Pflanzen und Tieren stammenden Stoffen im Boden und an der Bodenoberfläche. Humus ist keine stabile und einheitliche Substanz, sondern unterliegt einem ständigen Aufbau-, Abbau oder Umwandlungsprozess (ALSING, et al. 2002, S. 363 f). In Abhängigkeit von Umweltfaktoren wie Klima, Gestein, Relief und menschlichen Einflüssen wird der Humusspiegel durch die Produktion von organischen Ausgangsstoffen, deren Entzug durch Abfuhr von Haupt- und Nebenprodukten bei der Ernte der Feldfrüchte, Umwandlung durch Verwesung, Mineralisierung und Humifizierung bestimmt. Die organischen Ausgangsstoffe sind neben der Körpersubstanz aller Bodenorganismen, Wurzelmassen, Bestandsabfall, Vegetations- und Ernterückstände, auch von außen in den Kreislauf eingeführte organische Dünger, wie Stallmist, Gülle oder Jauche. Die Zersetzung, Mineralisierung, Verwesung und Humifizierung dieser Stoffe, läuft in drei Phasen ab. Sie beginnt mit der biochemischen Initialphase. Hochpolymere Verbindungen in Pflanzen- und Tierorganen werden mittels Enzymen hydrolisiert und oxidiert. Der Zellverband wird noch nicht sichtbar zerstört. Als Beispiel ist die Braunfärbung von Laub und Streu zu nennen, die als äußeres Merkmal dieser Anfangsphase auftreten. Als nächstes schließt sich die mechanische Zerkleinerungs- und Vermischungsphase an. Durch die Makro- und Mikrofauna des Bodens, vornehmlich Regenwürmer, Borstenwürmer und verschiedene Arthropoden, wird die organische Substanz zerkleinert und mit Boden vermischt. Schließlich werden in einer dritten Phase die organischen Verbindungen durch heterotrophe und saprophytische Bodenorganismen in ihre Grundbausteine gespalten (KUNTZE, ROESCHMANN, SCHWERDTFEGER, 1994, S. 109). Die hohe Komplexität von Humus macht es schwierig ihn stofflich genau zu identifizieren. Neben den zahlreichen organischen Verbindungen, die in Pflanzen und Tieren vorkommen, werden bei der Humifizierung neue organische Verbindungen geknüpft,

weiterhin entstehen intermediäre Stoffwechselprodukte. Man kann aufgrund der beschriebenen komplexen chemischen Struktur zwischen Nichthuminstoffen und Huminstoffen differenzieren. In die Gruppe der Nichthuminstoffe fallen alle abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe, die sich im Stadium des biologischen und abiologischen Um- bzw. Abbaus befinden. Die Huminstoffe sind durch biochemische und chemische Reaktionen neu entstandene stabile, hochmolekulare, organische Verbindungen. Sie können jedoch erst entstehen, wenn durch mikrobiellen Abbau reaktionsfähige Spaltprodukte wie zum Beispiel Monosaccharide aus Kohlenhydraten, entstanden sind. Huminstoffe bestehen aus einem Kern, der über Brückenbindungen mit Seitenketten verbunden ist. Kernsubstanzen sind beispielsweise Benzol, Pyrrol, Furan, Pyridin, Indol, Chinolin, etc., also iso- oder heterocyclische Fünf- oder Sechsringkonstruktionen. Als reaktive Seitengruppen treten Amino-, Carbonyl-, Carboxyl- oder Hydroxylgruppen auf. Humusneubildungen sind kolloidale Bodensubstanzen mit einer großen spezifischen Oberfläche, Austauschereigenschaften für Nährstoffe, sowie einem hohen Adsorptionsvermögen für Wasser. Somit wird durch den Humusgehalt die Gefügebildung, der Luft-, Wärme- und Wasserhaushalt ebenso wie der Nährstoffhaushalt der Böden positiv beeinflusst (KUNTZE et al. 1994, S. 99 ff). Der im Humus gebundene Anteil von Stickstoff beschreibt HÜLSBERGEN (2003, S. 76) als wichtigen „N-Pool im Stickstoffkreislauf mit 95 - 98 % des Gesamt-N des Bodens“.

Treffen die Humin- und Nichthuminstoffe mit elektrisch geladenen, aufweitbaren Tonmineralen zusammen, so werden Ton-Humus-Komplexe synthetisiert. Entstehen diese durch Bodenorganismen, zum Beispiel wenn sie im Darm des Regenwurmes mit einander verklebt werden, so spricht man von Lebendverbau. Durch Ton-Humus-Komplexe wird das Bodengefüge weiterhin verbessert, eine günstigere Aggregation entsteht, die Nährstoffverfügbarkeit steigt und die Erosionsgefahr sinkt (ALSING, et al. 2002, S. 777).

2.4.2 Stickstoff

Laut Definition (ALSING, et al. 2002, S. 741) ist Stickstoff ein nichtmetallisches, farb- und geruchloses, geschmackfreies und nicht brennbares Gas. Stickstoff ist mit 78,0 Vol % der Hauptbestandteil in der Luft. Als chemisches Element ist Stickstoff Hauptbestandteil von Aminosäuren und daher essentiell für alle Lebewesen. In der Ackerkrume kommt

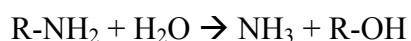
Stickstoff selten in mineralischer Form vor, häufig ist er in Form von Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-) oder Ammonium (NH_4^+) an Huminstoffen und Tonmineralen gebunden. Diese werden mineralisiert und so wird Stickstoff für die Pflanzen verfügbar (BAEUMER, 1992, S. 190 ff).

Die grünen Pflanzen sind stickstoffautotroph, das bedeutet, sie können organisch gebundenen sowie elementaren Stickstoff aus der Bodenlösung aufnehmen. Zum einen ist Stickstoff Bestandteil zahlreicher Biomoleküle und somit essentiell für das Pflanzenwachstum, zum anderen sind viele Böden stickstoffarm, somit befindet er sich häufig im Minimum. Nach HÜLSBERGEN (2003, S. 56) ist „Stickstoff [...] ein wesentlicher Ertragsfaktor, in N-extensiven Anbausystemen wie dem ökologischen Landbau ist er sogar häufig ertragslimitierend.“

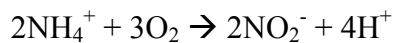
Nitrat und Nitrit können aufgrund der negativen Ladung nicht an Tonmineralen (ebenfalls negativ geladen) gebunden werden. Sie liegen frei und hochbeweglich in der Bodenlösung vor und unterliegen infolgedessen einer starken Gefahr der Auswaschung. Aus diesem Grund ist es außerordentlich wichtig, die Böden bedarfsgerecht mit Stickstoff zu versorgen, um eine Kontamination des Grundwassers zu verhindern.

Die Pflanzen nehmen Stickstoff bevorzugt in Form von Nitrat auf, sind aber auch in der Lage Ammonium zu verwerten. Die dadurch bedingte Versauerung des Bodens führt in manchen Fällen zu Problemen (NULTSCH, 1996, S. 345 ff.). Mit der Abfuhr von Haupt- und Nebenprodukten von der Ackerfläche wird dem Boden ebenfalls Stickstoff entzogen. Durch Zufuhr von organischen Wirtschaftsdüngern wie Jauche, Gülle, Stall- und Rottemist sowie Kompost gelangen stickstoffhaltige Verbindungen in den Stoffkreislauf zurück. Durch Ernte- und Wurzelrückstände sowie Gründüngung werden ebenfalls stickstoffhaltige Verbindungen dem Boden zugeführt und mit Hilfe von Bakterien mineralisiert. Folgende Reaktionsgleichungen verdeutlichen den Prozess.

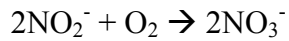
Zunächst wird der organisch gebundene Stickstoff über Ammoniak (NH_3) zu Ammonium (NH_4^+) reduziert.



In einem weiteren Schritt wird Ammonium durch das Bodenbakterium Nitrosomonas zu Nitrit nitrifiziert.



Durch Nitrobacter wird aus Nitrit Nitrat:



Eine weitere Möglichkeit der Stickstoffzufuhr ist gerade für den ökologischen Landbau von entscheidender Bedeutung. Dies ist die Fixierung von Luftstickstoff mit Hilfe so genannter Knöllchenbakterien. Diese leben in Symbiose mit den Leguminosen und bilden Wurzelknöllchen aus. Dort sind sie in der Lage Luftstickstoff zu fixieren und ihn in reduzierter Form als Ammonium an die Wirtspflanze weiterzugeben. Knöllchenbakterien sind hochspezifisch in Bezug auf die Auswahl ihrer Wirtspflanze, Vertreter der Gattung *Rhizobium* leben in Symbiose mit Hülsenfrüchten (NULTSCH, 1996, S. 364 ff.).

2.4.3 Phosphor

Phosphor kommt im Boden sowohl organisch als auch anorganisch gebunden vor. Kalzium-, Eisen- und Aluminiumphosphate stellen anorganische Phosphorquellen dar. Kalziumphosphate (Apatite) überwiegen in kalkreichen Böden, ihre Löslichkeit steigt mit fallendem pH-Wert. Eisen- und Aluminiumphosphate befinden sich vorwiegend auf sauren Standorten, hier steigt die Phosphorlöslichkeit mit steigendem pH-Wert. Die Phosphorlöslichkeit in Mineralböden ist nach BAEUMER (1992, S. 195) im pH-Bereich von 5,5 und 6,5 am Höchsten. Aufgrund des niedrigen Gehaltes an freiem Phosphat im Boden, besteht keine Gefahr der Phosphatauswaschung. In der Bodenlösung freies Phosphat wird von Organismen aufgenommen, durch Anionensorption an Tonminerale und Metalloxiden gebunden oder als schwer lösliche Verbindungen ausgefällt. Die Nachlieferung von Phosphor aus dem Boden ist gering, eine Zuführung von außen ist dementsprechend notwendig (BAEUMER, 1992, S. 196).

Ein guter Phosphordünger ist die Gülle, allerdings gibt es hier das Problem der genauen bzw. konstanten Konzentration. Durch unterschiedliche Fütterung, Lagerung und Ausbringung sowie die Zusammensetzung von Kot, Harn, Einstreu und Wasser variieren die Nährstoffwerte stark. BAEUMER (1992, S. 199) gibt in seinem Buch Allgemeiner Pflanzenbau Werte für Rindergülle von 1,0 und 6,4 kgP•m⁻³ an.

Gemäß den Bioland-Richtlinien dürfen diesem Verband angehörige Betriebe nur schwerlösliche, feingemahlene Rohphosphate einsetzen oder das bei der Eisenverhüttung im Thomas-Konverter entstehende Thomasphosphat (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 36). Aufgrund neuer Methoden bei der Eisenverhüttung fällt dieses Thomasphosphat nicht mehr an, die neue Variante darf im ökologischen Landbau nicht verwendet werden (HDLGN; 2004; S.1).

Rohphosphate müssen im Boden zunächst durch organische Säuren aufgeschlossen werden, damit der Nährstoff Phosphor in Form von Phosphat den Pflanzen zur Verfügung steht. Dieser Prozess ist besonders auf sauren Standorten ($\text{pH} < 6$) sehr ausgeprägt (RÖMER, W.; LEHNE, P.; 2003; S. 110), nur auf solchen Standorten erreichen Rohphosphate eine ausreichende Wirkung (BAEUMER, 1992, S. 202).

2.4.4 Kalium

An oberster Stelle der Kationen, die von Pflanzen gewichtsmäßig am Meisten aufgenommen werden und im Boden vorkommen, steht das Kalium. Es ist neben Stickstoff und Phosphor ein weiteres essentielles Hauptnährelement. Der Gesamtvorrat hat eine Variationsbreite von 0,2 und 4 % der trockenen Bodenmasse (vgl. BAEUMER, 1992, S. 193). Bestimmt wird der Kaliumgehalt vornehmlich von der Menge der Feldspäte, Glimmer und Tonminerale, somit sind Moor- und Sandböden tendenziell arm, Lehm- und Tonböden eher reich an Kalium. Kalium ist verschieden stark im Boden gebunden. Ziemlich fest ist es, wenn es als Matrix- oder Gitterkation in Mineralen gebunden ist, ebenso wenn es als nicht austauschbares Kation in den Zwischenschichten der Dreischichttonminerale vorkommt (KUNTZE, et al. 1994, S. 95 ff). Diese feste Bindung bedingt eine langsame Freisetzung des Nährstoffkations Kalium. Weiterhin kann Kalium als austauschbares Kation an Bodenkolloiden sorbiert sein. In der Bodenlösung als Ion vorliegendes Kalium wird meist direkt von den Pflanzen aufgenommen.

Für die Pflanzen ist Kalium ein wichtiges Nährelement, es hat eine wichtige Funktion als Cofaktor von Enzymen und ist maßgeblich an den Turgorbewegungen beispielsweise der Stomata und Blattgelenken beteiligt (BAEUMER, 1992, S. 273 f).

Ein Kaliummangel zeigt sich durch eine Verbleichung der Blätter (Chlorose). Später sterben die Blätter vom Rand her ab, außerdem zeigt eine Pflanze mit einer Kaliumunterversorgung eine geringe Standfestigkeit. Um diesem Problem zu entgehen, muss Kalium zugeführt werden, dies erreicht man durch das Ausbringen von

Wirtschaftsdüngern wie Jauche, Gülle und Stallmist. Ist dies nicht ausreichend, so können Biolandbetriebe gemäß den für sie gültigen Richtlinien Kalirohsalze zum Beispiel Kainit (11 % K_2O , 5 % MgO , 20 % Na, 4 % S), Patentkali (Kaliummagnesia) (30 % K_2O , 10 % MgO , 17 % S) oder Kaliumsulfat (50 % K_2O , 18 % S) einsetzen (BIOLAND-RICHTLINIEN, 2004, S. 36), (Gehaltswerte der Düngemittel HDLGN, 2004, S. 2).

3 Ergebnisse

In den nachfolgenden Punkten werden die Ergebnisse der Auswertung präsentiert. Sie beziehen sich auf die drei Wirtschaftsjahre 1999, 2000 und 2001. Die Fruchtfolge auf den Dauertestflächen ist in Tabelle 3.1 dargestellt. Sie beschreibt die unter 2.1.2.2 „Fruchtarten und Fruchtfolge“ in Tabelle 2.2 aufgeführte und erläuterte Fruchtfolge des Gladbacherhofes bezogen auf die oben genannten Jahre und die entsprechenden Ackerschläge (vgl. Tabelle 2.4). Dargestellt sind die Hauptfruchtarten sowie eventuell angebaute Zwischenfrüchte bzw. Luzernegras als Untersaat (US) zur Begründung des zweijährigen Ackerfutterbaus.

Tabelle 3.1: Fruchtfolge der Dauertestflächen in den Jahren 1999, 2000 und 2001

Schlag	1999		2000		2001	
	HF	ZF	HF	ZF	HF	ZF
Kreuz	Luzerne-gras 2.HNJ		Winter-weizen	Ölrettich	Silomais	
Schöne Aussicht	GPS ⁵		Luzerne-gras 1.HNJ		Luzerne-gras 2.HNJ	
Ofen-loch 2	Körner-erbsen		Dinkel		GPS ⁵	Luzernegras (US)
Über der Koppel	Winter-roggen		Körner-erbsen		Dinkel	Erbsen
Gewann 1	Winter-weizen	Leg.-Nichtleg.-Gemenge ⁶	Kartoffel		Winter-roggen	Leg.-Nichtleg.-Gemenge ⁶
Gewann 2	Luzerne-gras 1.HNJ		Luzerne-gras 2.HNJ		Winter-weizen	
Eisen-steinfeld 1	Silomais		Winter-roggen		Körner-erbsen	
Eisen-steinfeld 2	Winter-weizen	Ölrettich	GPS ⁵	Luzernegras (US)	Luzerne-gras 1.HNJ	

(Quelle: Erntebegleitbögen Gladbacherhof)

⁵ Erbsen-Hafer Gemenge

⁶ Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemeeanbau aus Körnererbsen, Ackerbohnen, Wicken und Gras

3.1 Bodenfruchtbarkeitseigenschaften

3.1.1 Humus- und Nährstoffgehalte sowie Bodenreaktion

Der Gesamtkohlenstoff- (C_t) und Gesamtstickstoffgehalt (N_t) wurde aus einer Bodenprobe vom 07.03.2000 im Labor der Professur für Organischen Landbau analysiert. Mit dem Umrechnungsfaktor 1,724⁷ kann man vom C_t -Gehalt auf den Humusgehalt schließen; ebenfalls kann man aus dem N_t -Gehalt mit dem Faktor 20⁸ den Humusgehalt berechnen. In Tabelle 3.2 sind die relativen Gehalte von C_t , N_t und Humus sowie das C/N-Verhältnis der einzelnen Schläge aus o.g. Analyse dargestellt.

Tabelle 3.2: Relative C_t -, N_t - und Humusgehaltswerte, sowie C/N-Verhältnis aus einer Bodenanalyse vom 07.03.2000 auf den einzelnen Schlägen.

Fruchtfolgefeld Nr. Schlagname	C_t [%]	N_t [%]	HG [%]	C/N
1 Kreuz	0,9	0,1	1,7	8,5
2 Schöne Aussicht	1,0	0,1	1,7	8,6
3 Ofenloch 2	0,9	0,1	1,5	8,4
4 Über der Koppel	0,9	0,1	1,5	8,2
5 Gewann 1	1,9	0,2	3,4	13,3
6 Gewann 2	1,2	0,1	2,1	8,7
7 Eisensteinfeld 1	1,8	0,1	3,1	14,7
8 Eisensteinfeld 2	1,5	0,1	2,7	13,0

(Quelle: Laboranalyse)

Die in Tabelle 3.2 gezeigten Werte für den Gesamtkohlenstoffgehalt auf den Schlägen der Dauertestflächen liegen in einer Spannweite von einem bis zwei Prozent. Der Gesamtstickstoffgehalt hat eine Spannweite von 0,1 bis 0,2 Prozent. Somit erstrecken sich der Humusgehalt von 1,5 bis 3,4 Prozent und das C/N-Verhältnis von acht bis 15. Besonders hervorzuheben sind die hohen Humusgehalte auf den Schlägen „Gewann 1“ und „Eisensteinfeld 1“ mit jeweils drei Prozent.

⁷ Entspricht 58 % Kohlenstoff in der Humustrockenmasse

⁸ Entspricht 20 % Stickstoff in der Humustrockenmasse

In Tabelle 3.3 sind die Nährstoffgehalte für P_2O_5 und K_2O erfasst. Die Analyse erfolgt bezogen auf jeden Schlag, es wurde auf jeder Dauertestfläche eine Bodenprobe genommen und analysiert. Die VDLUFA empfiehlt für den ökologischen Landbau die Versorgungsstufe „B“, diese Werte sind ebenfalls in der Tabelle zu finden, bei K_2O muss die Bodenart berücksichtigt werden. Der Gehalt an P_2O_5 ist unabhängig von der Bodenart.

Tabelle 3.3: Nährstoffgehalte für P_2O_5 und K_2O ($mg \cdot 100g^{-1}$ Boden) aus einer Bodenanalyse vom 15.11.1999 auf den einzelnen Schlägen. Ebenso sind die Vergleichswerte der VDLUFA für die Versorgungsstufe „B“ dargestellt.

Fruchtfolgefeld		P_2O_5	K_2O
Nr.	Schlagname	[$mg \cdot 100g^{-1}$ Boden]	[$mg \cdot 100g^{-1}$ Boden]
1	Kreuz	5,0	9,0
2	Schöne Aussicht	5,5	9,5
3	Ofenloch 2	4,5	6,5
4	Über der Koppel	7,0	9,0
5	Gewann 1	9,5	11,0
6	Gewann 2	5,0	12,0
7	Eisensteinfeld 1	12,5	11,5
8	Eisensteinfeld 2	5,0	9,0
	Versorgungsstufe „B“ (VDLUFA)	6 - 9	
	sandiger Lehm		7,2 - 9,6
	lehmiger Schluff		7,2 - 12,0
	Ton		12,0 - 18,0

(Quelle: Laboranalyse)

Die in Tabelle 3.3 gezeigte Spannweite für Phosphat liegt zwischen vier und zwölf $mg \cdot 100g^{-1}$ Boden, die VDLUFA empfiehlt einen Wert von sechs bis neun $mg \cdot 100g^{-1}$ Boden. Für den Pflanzennährstoff Kalium, der im Boden in Form von Kaliumoxid vorkommt, wurde in der Analyse eine Spannweite von sechs bis zwölf $mg \cdot 100g^{-1}$ Boden ermittelt. Hier empfiehlt die VDLUFA je nach Bodenart einen Bereich von sieben bis neun $mg \cdot 100g^{-1}$ Boden auf sandigen Lehmböden und zwölf bis 18 $mg \cdot 100g^{-1}$ Boden auf Tonböden; lehmige Schluffböden liegen mit sieben bis zwölf $mg \cdot 100g^{-1}$ Boden zwischen den beiden zuvor genannten Bodenarten.

Die Bodenreaktion ist in Form der pH-Werte in Tabelle 3.4 dargestellt. Die Messergebnisse stammen aus einer Analyse vom 04.12.2001. Hier empfiehlt die VDLUFA die Versorgungsstufe „C“, diese Werte sind ebenfalls der Tabelle zu entnehmen, hier muss auch die Bodenart berücksichtigt werden.

Tabelle 3.4: pH-Werte aus einer Bodenanalyse vom 04.12.2001 auf den einzelnen Schlägen der Dauertestflächen

Fruchtfolgefeld		pH	
Nr.	Schlagname		
1	Kreuz	6,75	
2	Schöne Aussicht	6,38	
3	Ofenloch 2	6,00	
4	Über der Koppel	6,63	
5	Gewann 1	7,63	
6	Gewann 2	6,23	
7	Eisensteinfeld 1	7,65	
8	Eisensteinfeld 2	7,54	
Versorgungsstufe „C“ (VDLUFA)		lehmgiger Schluff	6,3 - 7,1
		toniger Lehm	6,4 - 7,2

(Quelle: Laboranalyse)

Die Bodenreaktion der Versuchsflächen liegt mit pH-Werten von sechs bis acht im leicht sauren bis leicht alkalischen Bereich. Auffällig sind der Schlag „Ofenloch 2“ mit einem pH-Wert von sechs und der Schlag „Eisensteinfeld 1“ mit einem pH-Wert um acht. Die zum Vergleich dienenden Werte der VDLUFA liegen in einem neutralen bis leicht sauren pH-Wertbereich.

3.1.2 Gehalt an löslichem Stickstoff

Die Tabellen 3.5 und 3.6 zeigen die Dynamik des löslichen Stickstoffes anhand einer Messung im Herbst (05.11.1999) und im folgenden Frühjahr (07.03.2000). Die Angaben beziehen sich auf die Ackerschläge der Dauertestflächen, die angegebenen Fruchtarten dienen zur Orientierung und sind die Fruchtarten, die zum Zeitpunkt der Messung angebaut waren. In Tabelle 3.6 sind einige Fruchtarten in Klammer gesetzt, diese waren zum Zeitpunkt der Messung noch nicht angebaut.

Tabelle 3.5: N_{\min} -Werte ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) Herbstmessung vom 05.11.1999 in drei verschiedenen Tiefen (0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe) sowie Summe und Rotationsmittel mit der tatsächlich angebauten Fruchtart

Fruchtfolgefeld		05.11.1999				
Nr.	Schlagname	Fruchtart	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	Summe
1	Kreuz	Winterweizen	27,0	3,0	1,2	31,2
2	Schöne Aussicht	Ansaat Luzernegras	4,7	1,9	1,8	8,4
3	Ofenloch 2	Dinkel	16,2	10,2	4,9	31,3
4	Über der Koppel	Brache	23,5	18,6	6,3	48,4
5	Gewann 1	Erbsen, Bohnen, Gras, Wicken	7,7	9,7	5,0	22,4
6	Gewann 2	Luzernegras 1. HNJ	7,5	3,2	2,5	13,2
7	Eisensteinfeld 1	Winterroggen	34,7	19,7	14,6	69,0
8	Eisensteinfeld 2	Ölrettich	3,4	1,5	1,4	6,3
Rotationsmittel			15,6	8,5	4,7	28,8

(Quelle: Laboranalyse)

Der Gehalt an löslichem Stickstoff lag im Herbst 1999 in der Bodentiefe von 0 bis 90 cm im Rotationsmittel bei $29 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, die Spannweite betrug sechs bis $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Im Rotationsmittel lagen die Werte in der Tiefe von 0 bis 30 cm bei $16 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, in der Tiefe von 30 bis 60 cm bei $9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ und in der Tiefe von 60 bis 90 cm bei $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tabelle 3.6: N_{\min} -Werte ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) Frühjahresmessung vom 07.03.2000 in drei verschiedenen Tiefen (0-30, 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe) sowie Summe und Rotationsmittel mit der tatsächlich angebauten Fruchtart. Angaben in Klammern sind Kulturen, die nach der Beprobung gesät wurden

Fruchtfolgefeld		07.03.2000				
Nr.	Schlagname	Fruchtart	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	Summe
1	Kreuz	Winterweizen	10,6	14,6	13,9	39,1
2	Schöne Aussicht	Luzernegras 1.HNJ	7,0	3,5	3,2	13,6
3	Ofenloch 2	Dinkel	11,9	10,3	10,3	32,5
4	Über der Koppel	(Körnererbsen)	10,1	16,4	25,7	52,2
5	Gewann 1	(Kartoffel)	22,3	38,7	43,2	104,1
6	Gewann 2	Luzernegras 2.HNJ	8,6	4,9	4,5	18,0
7	Eisensteinfeld 1	Winterroggen	8,7	5,3	8,6	22,7
8	Eisensteinfeld 2	(GPS)	11,1	17,3	11,8	40,2
Rotationsmittel			11,3	13,9	15,2	40,3

(Quelle: Laboranalyse)

Die Frühjahrmessung im Jahr 2000 ergab eine Spannweite für löslichen Stickstoff von 14 bis 104 kg•ha⁻¹. Im Rotationsmittel lagen die Werte in dem Messabschnitt von 0 bis 30 cm bei 11 kg•ha⁻¹, gefolgt von 14 kg•ha⁻¹ im Bereich von 30 bis 60 cm und schließlich in der Tiefe von 60 bis 90 cm bei 15 kg•ha⁻¹.

3.2 Erträge und Nährstoffentzüge

Für eine Bilanzierung sind die Erträge und damit verbunden die Nährstoffentzüge bedeutend. REPRO kann anhand der Frischmasseerträge die Trockenmasseerträge kalkulieren. In dieser Untersuchung lagen aber neben der geernteten Frischmasse auch die Daten aus der Trockenmassebestimmung vor, so dass hier nicht auf die in REPRO hinterlegten Standardwerte zurückgegriffen wird, sondern gemessene Daten verwendet werden. Mit Hilfe dieser Daten berechnet REPRO den Entzug von Nährstoffen, die mit den Ernteprodukten der angebauten Pflanzen dem Boden entzogen werden. Es gibt eine differenzierte Auswertung von Haupt- und Nebenprodukten. So wurde zum Beispiel bei der Weizenernte auch das Nebenprodukt Stroh erfasst. Auf dem Gladbacherhof wird alles anfallende Stroh als Einstreumaterial von der Fläche entfernt und gelangt dann als Rottemist wieder auf die Flächen zurück. Für die Bilanz heißt das zunächst, dass das Stroh nicht als Strohdüngung zur Verfügung steht. Die beschriebenen Werte sind in Tabelle 3.7 abgebildet. Sie zeigt die Frisch- und Trockenmasseerträge für Haupt- und Nebenprodukte, sowie die Nährstoffentzüge für Stickstoff, Phosphor und Kalium im Mittelwert der drei Untersuchungsjahre.

Tabelle 3.7: Frischmasse- und Trockenmasseerträge ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$), sowie Nährstoffentzüge ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), im Durchschnitt der Jahre 1999, 2000 und 2001

Fruchtfolgefeld	Frischmasse- Erträge [$\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$] (Ø 1999, 2000, 2001)		Trockenmasse- Erträge [$\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$] (Ø 1999, 2000, 2001)		Nährstoffentzüge [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$] (Ø 1999, 2000, 2001)		
	HP	NP	HP	NP	N	P	K
Nr. Fruchtart							
1 Luzernegras 1.HNJ	135,5		29,2		282,0	37,9	271,1
2 Luzernegras 2.HNJ	150,5		31,1		285,3	38,4	274,4
3 Winterweizen Zwischenfrucht	46,7 245,9	56,6	37,2 25,1	54,3	318,7	38,5	212,3
4 ⁹ Kartoffel Silomais	351,8 535,7		68,8 163,2		601,0 563,7	87,9 118,4	783,5 641,5
5 Winterroggen Zwischenfrucht	52,4 269,4	67,5	44,7 30,7	32,8	236,0	48,5	294,8
6 Körnerleguminosen	37,6	38,9	32,3	33,5	144,0	19,4	121,1
7 Dinkel Zwischenfrucht	50,6 163,6	85,7	42,8 23,4	65,9	376,4	53,7	330,3
8 GPS Untersaat	152,4 63,3		67,4 15,5		113,7	13,4	108,1
Rotationsmittel							
TM [dt/ha]			50,1	23,3			
N [kg/ha]					292,3		
P [kg/ha]						44,1	
K [kg/ha]							290,6

(Quelle: REPRO)

Das Rotationsmittel für die Trockenmassenerträge der Hauptfrüchte lag im Durchschnitt der Jahre 1999, 2000 und 2001 bei $50 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ und $23 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ für die Nebenprodukte. Im Rotationsmittel wurde in den Untersuchungsjahren $292 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Stickstoff, $44 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Phosphor und $290 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Kalium dem Boden durch die angebauten Kulturen entzogen.

⁹ Kartoffelanbau im Jahr 2000, Silomaisanbau in den Jahren 1999 und 2001 (vgl. Tabelle 3.1)

3.3 Bilanzen

3.3.1 Humusbilanz

Die Humusbilanz der Untersuchungsjahre ist in Tabelle 3.8 dargestellt. Die Berechnungsschritte zeigt Abbildung 2.5. Der Saldo berechnet sich aus der Differenz von „Humusersatzleistung gesamt“ und „Humusbruttobedarf“. Der Quotient aus „Humusersatzleistung gesamt“ und „Humusbruttobedarf“ ergibt mit 100 multipliziert den relativen Versorgungsgrad an.

Tabelle 3.8: Humusbilanz ($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001, sowie im Mittel der drei Jahre

Jahr	Größe	Ackerzahl	Humusbruttobedarf	Humusmehrerleistung	Strohdüngung	Gründüngung	Humusnettobedarf
	(ha)		($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)
1999	0,08	64	-0,84	0,37	0,02	0,37	-0,09
2000	0,08	64	-1,03	0,54	0,06	0,06	-0,37
2001	0,08	64	-0,90	0,59	0,08	0,00	-0,23
Mittelwert der Jahre	0,08	64	-0,92	0,50	0,05	0,14	-0,23

Jahr	Stalldüngung	Gülle	Sonstige organische Dünger	Organische Düngung ges.	Humusersatzleistung ges.	Saldo	Versorgungsgrad
	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	($\text{HE}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(%)
1999	0,21	0,03	0,00	0,24	1,00	0,16	118,71
2000	0,38	0,04	0,00	0,42	1,07	0,05	104,79
2001	0,85	0,10	0,00	0,96	1,62	0,72	180,18
Mittelwert der Jahre	0,48	0,06	0,00	0,54	1,23	0,31	133,56

(Quelle: REPRO)

Der durch die angebauten humuszehrenden Fruchtarten verursachte Humusbruttobedarf liegt im Mittel der drei Jahre bei $-0,92 \text{ HE}\cdot\text{ha}^{-1}$. Mittels Anbau von humusmehrenden Fruchtarten sowie einer Stroh- und Gründüngung werden dem Boden $0,7 \text{ HE}\cdot\text{ha}^{-1}$ zugeführt, so dass ein Humusnettobedarf von $-0,23 \text{ HE}\cdot\text{ha}^{-1}$ erzielt wird. Die gesamt Humusersatzleistung von $1,23 \text{ HE}\cdot\text{ha}^{-1}$ wird durch die Zufuhr von organischen Wirtschaftsdüngern wie Stalldüngung und Gülle erreicht. Somit wird ein positiver Saldo in der Humusbilanz ermöglicht.

Der in Tabelle 2.10 erwähnte Fehler bei der Erfassung der applizierten Düngermenge spiegelt sich in der Humusbilanz im Jahr 2001 wieder, hier liegt der Versorgungsgrad mit 180 % weit über dem Durchschnitt der anderen beiden Jahre.

3.3.2 Stickstoffbilanz

Die Stickstoffbilanz für den Untersuchungszeitraum und das Drei-Jahres-Mittel zeigt Tabelle 3.9. Es erfolgt eine differenzierte Betrachtung nach „N-Zufuhr zum Boden“, „N-Verbrauch“ und „Saldo“.

Tabelle 3.9 Stickstoffbilanz ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001 sowie im Mittel der drei Jahre. Geordnet nach Zufuhr zum Boden und Verbrauch.

	1999	2000	2001	Durchschnitt
N-Zufuhr zum Boden [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]				
1. Organischer Dünger aus Tierproduktion				
Mist	21,4	37,8	85,5	48,2
Gülle	7,8	8,3	23,3	13,2
Jauche	2,9	0,0	0,0	1,0
2. Luft-N-Bindung¹⁰	53,3	88,0	129,1	90,2
3. Organischer Dünger aus Pflanzenproduktion				
Strohdüngung	1,0	3,0	6,6	3,9
Gründüngung	108,6	16,3	0,0	41,6
4. Mineraldünger	0,0	0,0	0,0	0,0
5. sonstige Einträge				
Niederschlag	30,0	30,0	30,0	30,0
Saatgut	2,4	3,1	3,3	3,0
Summe N-Zufuhr	227,4	186,6	277,9	231,0
N-Verbrauch [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]				
N-Entzug¹¹	286,3	252,8	335,4	291,5
Bestandesänderung Boden	8,7	2,7	39,8	17,0
Summe N-Verbrauch	295,0	255,5	375,1	308,6
Saldo [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	-67,6	-68,9	-97,2	-77,6

(Quelle: REPRO)

¹⁰ Durch Knöllchenbakterien der Leguminosen

¹¹ Durch angebaute Kulturen

Die mit REPRO ermittelte Zufuhr von Stickstoff betrug im Mittel der drei Untersuchungsjahre $231 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Stickstoff wird in Form von organischen Düngern, Fixierung von Luftstickstoff durch die Knöllchenbakterien der Leguminosen, Mineraldünger und sonstige Einträge dem Kreislauf zugeführt. Der Verbrauch an Stickstoff liegt mit $307 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ über der Zufuhr somit weist die Bilanz einen negativen Saldo von $-78 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ für den Pflanzennährstoff Stickstoff auf.

3.3.3 Phosphorbilanz

Auf den Abbildungen 3.1 und 3.2 sind Phosphormängel auf Schlägen des Gladbacherhofes bei Winterroggen zu erkennen. Die Aufnahmen entstanden im April 1998. In Abbildung 3.1 ist der Schlag als Ganzes dargestellt, die hellen Stellen zeigen hier deutlich den Mangel des Pflanzennährstoffes Phosphor an.



Abbildung 3.1: Phosphormangel bei Winterroggen (Quelle: Aufnahme Gladbacher Hof 24.04.1998)

Die Detailansicht einer Roggenpflanze in Abbildung 3.2 zeigt durch die Rotfärbung des Stängels klar das Mangelsyndrom an.



Abbildung 3.2: Phosphormangel bei Winterroggen im Detail (Quelle: Aufnahme 30.04.1998, „Ofenloch 1“)

In Tabelle 3.10 ist die Bilanz für den Pflanzennährstoff Phosphor für die Jahre 1999, 2000 und 2001, sowie das Mittel der drei Jahre dargestellt. Analog zu Tabelle 3.9 erfolgt eine differenzierte Betrachtung nach „P-Zufuhr zum Boden“, „P-Verbrauch“ und „Saldo“.

Tabelle 3.10: Phosphorbilanz ($\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001 sowie im Mittel der drei Jahre. Geordnet nach Zufuhr zum Boden und Verbrauch.

	1999	2000	2001	Durchschnitt
P-Zufuhr zum Boden [$\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$]				
1. Organischer Dünger aus Tierproduktion				
Mist	5,9	10,3	22,8	13,0
Gülle	2,1	2,2	6,2	3,5
Jauche	0,1	0,0	0,0	0,0
2. Organischer Dünger aus Pflanzenproduktion				
Strohdüngung	0,2	0,5	0,7	0,4
Gründüngung	11,3	1,7	0,0	4,4
3. Mineraldünger	0,0	38,5	15,2	17,9
4. sonstige Einträge				
Saatgut	0,4	0,5	0,5	0,5
Summe P-Zufuhr	20,0	53,8	45,4	39,7
P-Verbrauch [$\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$]				
P-Entzug	43,7	38,5	52,1	44,8
Summe P-Verbrauch	43,7	38,5	52,1	44,8
Saldo [$\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$]	-23,7	15,3	-6,7	-5,0

(Quelle: REPRO)

Die Saldi für Phosphor liegen mit Ausnahme des Jahres 2000, hier ermittelte REPRO ein Bilanzsaldo von $15 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$, im negativen Bereich. Der Entzug durch die Pflanzen überwiegt die Zufuhr. Im Jahr 2000 und 2001 wurden einzelne Schläge (vgl. Tabellen 2.9 und 2.10) mit Gafsa 27 ®, einem weicherdigem Rohphosphat, gedüngt. Die Mineraldüngung reichte aber nicht aus, um im Durchschnitt der Analysejahre einen positiven Saldo zu erreichen.

3.3.4 Kaliumbilanz

Die Bilanz für Kalium gibt Tabelle 3.11 wieder. Ebenso wie in den Tabellen 3.9 und 3.10 werden die drei Jahre des Untersuchungszeitraumes, sowie im Durchschnitt der Jahre gezeigt. Die Differenzierung in „K-Zufuhr zum Boden“, „K-Verbrauch“ und „Saldo“; erfolgt auch hier, die Maßeinheit ist $\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Tabelle 3.11: Kaliumbilanz ($\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$) für die Jahre 1999, 2000 und 2001 sowie im Mittel der drei Jahre. Geordnet nach Zufuhr zum Boden und Verbrauch.

	1999	2000	2001	Durchschnitt
K-Zufuhr zum Boden [$\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$]				
1. Organischer Dünger aus Tierproduktion				
Mist	27,3	48,1	106,6	60,6
Gülle	8,6	9,3	25,9	14,6
Jauche	5,9	0,0	0,0	2,0
2. Organischer Dünger aus Pflanzenproduktion				
Strohdüngung	4,0	11,9	15,5	10,5
Gründüngung	83,6	14,9		32,8
3. Mineraldünger	0,0	0,0	0,0	0,0
4. sonstige Einträge				
Saatgut	0,7	1,9	1,0	1,2
Summe K-Zufuhr	130,1	86,1	149,0	121,7
K-Verbrauch [$\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$]				
K-Entzug	263,6	268,1	331,2	287,6
Summe K-Verbrauch	263,6	268,1	331,2	287,6
Saldo [$\text{kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$]	-133,5	-182,1	-182,2	-165,9

(Quelle: REPRO)

Wie in Tabelle 3.11 gezeigt, liegt die Zufuhr von Kalium unter dem Verbrauch, somit werden hier durchweg negative Saldi bilanziert. Eine Zufuhr durch Mineraldünger hat während des Untersuchungszeitraumes nicht stattgefunden, ebenso wurde vor dem Untersuchungszeitraum keine Kaliumdüngung durchgeführt. Der Saldo im Mittel der drei Jahre beträgt $-165 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$.

4 Diskussion

4.1 Auswertung der Humusbilanz und Vergleich mit den Bodenwerten

Leichtlösliche mineralische Düngemittel, insbesondere Stickstoffdünger haben eine direkte und indirekte Wirkung bei der Ertragsbildung. Ein Teil der applizierten Düngermenge wird direkt in der Pflanze wirksam, ein anderer Teil geht in den Boden-N-Pool und trägt zur Humusreproduktion bei. Durch den Verzicht auf schnelllösliche chemisch-synthetische Mineraldünger im ökologischen Landbau, wird auch auf diese direkte und indirekte Wirkung verzichtet (LEITHOLD, 2001, S. 135). Der Humusgehalt der Ackerböden bestimmt somit maßgeblich die Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau und muss auf einem möglichst hohem Level gehalten werden (LEITHOLD, 2002 b, S. 1 f). Mit Hilfe eines höheren Humusgehaltes im Vergleich zur konventionellen Produktion können höhere Grunderträge erzielt werden und die Bodenleistung steigt. Damit kann der Ertragsverlust durch die Nichtanwendung schnelllöslicher chemisch-synthetische Mineraldüngemittel ausgeglichen werden (LEITHOLD, 2002 b, S. 3). Als Ursache für den Anreicherungsprozess von Humus nennt LEITHOLD einen Dreifacheffekt des Leguminosenanbaus, der dem Humusgehalte zu Gute kommt (LEITHOLD, 2002 b, S. 3). LEITHOLD beschreibt dort, dass der Dreifacheffekt durch: „1) eine Einschränkung des Humuszehreranteils am Ackerflächenverhältnis, 2) eine Ausweitung des humusmehrenden Leguminosenanbaus in Haupt- und Zwischenfruchtstellung sowie 3) eine bessere Versorgung der Humuszehrerfläche mit organischen Düngern aus der Tierproduktion [...]“ entsteht.

Die in Tabelle 3.8 vorgestellte Humusbilanz zeigt in allen Untersuchungsjahren einen positiven Saldo und eine leichte Überversorgung. Die mit REPRO bilanzierten Ergebnisse korrelieren eng mit den Berechnungen von LEITHOLD. In dieser Aufstellung wird für das Jahr 1999 ein Versorgungsgrad von 118 % erreicht, in einer kompletten Berechnung des Gladbacherhofes wird nach LEITHOLD für das Jahr 1999 ein Versorgungsgrad von 136 % (LEITHOLD, 2001, S. 139) bzw. 115 % (LEITHOLD, 1999, S. 8) berechnet. Das Ergebnis für das Jahr 2001 liegt mit einem Versorgungsgrad von 180 % weit entfernt von den anderen beiden Jahren. Dieser hohe Wert ist damit begründet, dass im Jahr 2001 ein Fehler bei der Erfassung der applizierten Wirtschaftsdüngermenge aufgetreten ist (vgl. Tabelle 2.10).

Die Bodenart des Gladbacherhofes ist überwiegend lehmiger Schluff (IU) und toniger Lehm (tL). Angestrebte Humusgehalte für lehmigen Schluff betragen 2,3 bis 3,2 Gew.% und für tonigen Lehm können Humusgehalte von über 3,2 Gew.% erreicht werden.

Vergleicht man diese Werte mit denen der Bodenanalyse vom 07.03.2000 in Tabelle 3.2, so kann man festhalten, dass bei einem mittleren Humusgehalt der Ackerflächen von 2,2 Gew. %, der Überschuss in der Humusbilanz auf die Dauer gesehen kein Problem darstellt.

Ein Ackerboden sollte ein C/N-Verhältnis von 10 zu 1 aufweisen. (KUNTZE, ROESCHMANN, SCHWERDTFEGER, 1994, S. 110 und S. 136). In der Momentaufnahme in Tabelle 3.2 wird dieses Optimum von 10 zu 1 auf den Schlägen „Gewann 1“ (13 zu 1), „Eisensteinfeld 1“ (15 zu 1) und „Eisensteinfeld 2“ (13 zu 1) nicht erreicht. Um eine hohe biologische Aktivität zu erreichen, benötigen die Mikroorganismen des Bodens zum Aufbau ihres Körpereiwisses Stickstoff. Dies ist hier aber nach KUNTZE et al. (1994, S. 10) nicht kritisch zu bewerten, da der beschriebene Stickstoffbedarf von Bodenmikroorganismen ab einem C/N-Verhältnis < 20 zu 1 gedeckt ist.

Eine einzige Bodenanalyse gibt nicht hinreichend Auskunft über den Humusgehalt eines Ackerbodens. In Dauerfeldversuchen wird gezeigt, dass Veränderungsprozesse hinsichtlich Humusauf- bzw. -abbau zwei bis drei Jahrzehnte in Anspruch nehmen können (LEITHOLD, 2004 b, S. 1). Durch diese Tatsache, kann es vorkommen, dass Humusgehaltsänderungen mittels Bodenanalysen nicht erkannt werden. Hierfür bietet die Humusbilanzmethode die Möglichkeit, Veränderungen des Humusgehaltes zu prognostizieren (LEITHOLD, 2004 b, S. 1). Die Vorteile der Humusbilanzmethode sind bereits im Kapitel 2.3.1 erwähnt. Bei einer direkten Messung des Humusgehaltes mittels Bodenanalyse kommt weiterhin erschwerend hinzu, dass keine verlässlichen Werte für einen optimalen Humusgehalt vorhanden sind und eine große räumliche Vielfalt hinsichtlich der Verteilung der organischen Bodensubstanz auf den Schlägen sowie große Schwankungen innerhalb der Vegetationsperiode vorherrschen. Der zusätzliche Aufwand für die Analyse von Bodenproben fällt bei der Humusbilanzmethode nahezu weg (LEITHOLD, 2004 a, S. 1).

4.2 Bewertung der Stickstoffdynamik im Boden

Aufgrund des Verzichts auf schnelllösliche chemisch-synthetische Mineraldünger und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel sehen VETTER und MIERSCH (1999, S. 7) den ökologischen Landbau als grundwasserschonendes Landnutzungssystem an. Dennoch beschreiben sie, dass bei einer nicht an den Standort angepassten Bodenbewirtschaftung auch in ökologisch wirtschaftenden Betrieben Stickstoff in Form von Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen werden kann. Das Maximum der Auswaschung liegt in den Herbst- und Wintermonaten, vor allem auf vegetationsfreien Böden (KUNTZE, ROESCHMANN, SCHWERDTFEGER, 1994, S. 207).

Auf den Dauertestflächen des Gladbacherhofes wird am Beispiel „Kreuz“ (vgl. Tabelle 3.5 und 3.6) die Verlagerung von Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium über die Wintermonate deutlich. Hier sind im Herbst in den ersten 30 Zentimetern $27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ löslicher Stickstoff vorhanden, im folgenden Frühjahr nur noch $11 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, dafür nehmen die Werte in den nächsten 30 Zentimetern Bodentiefe (30 - 60 cm) von $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ auf $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ zu. Dieser Effekt ist auch in den darauf folgenden 30 Zentimetern Bodentiefe (60 - 90 cm) zu erkennen, hier nimmt der Wert von $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ auf $14 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ zu. Zu den Probeterminen im Herbst (05.11.1999) und Frühjahr (07.03.2000) war der Schlag mit Winterweizen bestellt, so dass der Boden über die Wintermonate mit Pflanzenaufwuchs bedeckt war.

Eine große Bedeutung kommt dem Zwischenfruchtanbau in der ökologischen Landwirtschaft zu. Der von den Knöllchenbakterien der Leguminosen fixierte Luftstickstoff muss bis zum Aufwuchs der Folgefrucht im Boden konserviert werden (VETTER, MIERSCH, 1999, S. 7). Als Lösungsmöglichkeiten nennen VETTER und MIERSCH (1999, S. 7) zwei Möglichkeiten. Als erstes kann der in Klee- bzw. Luzernegras akkumulierte Stickstoff in viehhaltenden Gemischtbetrieben über den Weg der Verfütterung im Wirtschaftsdünger zwischengespeichert werden. Die zweite Möglichkeit ist die Stickstoffkonservierung durch den Zwischenfruchtanbau. Tabelle 4.1 gibt die von VETTER und MIERSCH aus der Literatur ermittelten durchschnittlichen Vorwinter- N_{\min} -Werte nach Getreide in Abhängigkeit von der Art und dem Umfang des Zwischenfruchtanbaus wieder. Die Zahlen für N_{\min} beziehen sich auf eine Tiefe von 0 bis 90 cm. Der höchste Vorwinter- N_{\min} -Gehalt ist beim Unterlassen eines Zwischenfruchtanbaus mit $42 \text{ kg } N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$ zu verzeichnen, nach ihren Literaturwerten hinterlässt der Anbau von Nichtleguminosen als Zwischenfrucht mit $16 \text{ kg } N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$ die

geringste Menge an auswaschungsgefährdetem Stickstoff. Der Gemeegeanbau von Leguminosen und Nichtleguminosen liegt mit einem N_{\min} -Wert von $27 \text{ kg } N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$ zwischen den beiden zuvor genannten Werten.

Tabelle 4.1: Mittlere Vorwinter- N_{\min} -Werte nach Getreideanbau aus der Literatur zum ökologischen Landbau in Abhängigkeit vom Nachbau einer Zwischenfrucht

N_{\min} [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$]	ZF	Bemerkungen
28	ja	keine Differenzierung der ZF
40	ja	ZF: Körnerleguminosen
27	ja	ZF: Klee, Klee gras, Gemenge aus Körnerleguminosen und Nichtleguminosen
16	ja	ZF: Nichtleguminosen
42	nein	keine ZF

(Quelle: VETTER, MIERSCH, 1999, S. 57)

Betrachtet man nun die Herbstwerte in Tabelle 3.5, die auf den Dauertestflächen des Gladbacherhofes am 05.11.1999 gemessen wurden, so erkennt man analoge Werte. Der Schlag „Über der Koppel“ lag zum Zeitpunkt der Messung brach, die vorhergehende Frucht war Winterroggen (vgl. Tabelle 3.1), die folgende Frucht war Körnererbsen, die am 08.04.2000 ausgesät wurde (vgl. Tabelle 2.6). Auf diesem Schlag lag der Herbst- N_{\min} -Wert bei $48 \text{ kg } N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$, der Wert ähnelt dem aus Tabelle 4.1 mit $42 \text{ kg } N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$. Bei näherer Betrachtung der Werte in Tabelle 3.1 für die einzelnen Tiefen stellt man im Vergleich zu den Frühjahres- N_{\min} -Werten in Tabelle 3.2 fest, dass auch hier über die Wintermonate eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten stattfindet.

Den in Tabelle 4.1 dargestellt N_{\min} -Wert bei einem Gemeegeanbau von Leguminosen und Nichtleguminosen wird in der Analyse der Dauertestflächen in Tabelle 3.5 auf dem Schlag „Gewann 1“ bestätigt, der N_{\min} -Gehalt lag bei $22 \text{ kg } N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$. Hier war zum Zeitpunkt der Herbstmessung ein Gemenge aus Körnererbsen, Ackerbohnen, Gras und Wicken angebaut, die vorhergehende Hauptfrucht war Winterweizen (vgl. Tabelle 3.1 und 3.5).

4.3 Betrachtung der Stickstoffbilanz mit Bezug zum Humushaushalt

Die in Tabelle 3.9 gezeigte Stickstoffbilanz weist sowohl im Durchschnitt als auch in den Jahresbilanzen negative Saldi auf. Der Verbrauch an Stickstoff überwiegt die Zufuhr von Stickstoff. Als Stickstoffverbrauch tritt, gemäß Tabelle 3.9 Entzug durch Pflanzen, sowie die „Bestandesänderung Boden“ auf.

Für den ökologischen Landbau ist die Fixierung des gasförmigen Stickstoffs durch die Knöllchenbakterien der Leguminosen eine wichtige Möglichkeit, Stickstoff in pflanzenverfügbare Form dem Boden zuzufügen. Wie im Punkt 2.3.2 beschrieben, bewertet REPRO diese Leistung und führt sie in der Bilanz auf. In dieser Untersuchung gibt es Probleme bei der richtigen Einschätzung des Leguminosenanteils im Gemengeanbau. Bei der Bilanzierung wird mit einer 1 zu 1 Mischung (Leguminosenanteil = 50 %) kalkuliert. Eine genaue Bestimmung des Anteils von Leguminosen im Gemengeanbau, wie von HÜLSBERGEN (2003, S. 60) beschrieben, hat hier nicht stattgefunden. Aus diesem Grund könnte die Fixierungsleistung der Leguminosen in der Bilanz zu niedrig ausgefallen sein.

Das Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO berücksichtigt im N-Verbrauch neben dem „Stickstoffentzug durch Pflanzen“ auch die „Bestandesänderung im Boden“, dieses wird in REPRO als dynamischer Ansatz bezeichnet. Es findet folglich eine Kopplung der Humusbilanz mit der Stickstoffbilanz statt. Die Bestandesänderung im Boden ist durch die positive Humusbilanz (vgl. Tabelle 3.8) negativ, das heißt, der Stickstoff wird nicht produktionswirksam verwertet, sondern im Humusvorrat des Bodens festgelegt. In einer Humuseinheit sind gemäß Definition 55 kg Stickstoff enthalten (LEITHOLD, 2004 a, S.2). Multipliziert man den Saldo der Humusbilanz mit dem Faktor 55, so erhält man den Wert für die „Bestandesänderung Boden“.

Zum Beispiel: $0,31 \text{ HE} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 55 \text{ kg N} \cdot \text{HE}^{-1} = 17,0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Die Werte stammen aus Tabelle 3.8 und 3.9 und sind jeweils die Mittelwerte der drei Untersuchungsjahre).

Die leicht positiven Saldi in der Humusbilanz (vgl. Tabelle 3.8) und die „Bestandesänderung Boden“ in der Stickstoffbilanz (vgl. Tabelle 3.9) weisen daraufhin, dass es zu keiner Verschlechterung der Bodenfruchtbarkeit auf den Schlägen der Dauertestflächen durch eine evtl. fehlerhafte Bewirtschaftung kommt. Allerdings müssen die Bilanzen und Bodenwerte weiterhin beobachtet werden, um ein Abrutschen und somit eine Verschlechterung der Bodenfruchtbarkeit zu verhindern.

4.4 Bewertung der Phosphorbilanz in Verbindung mit Bodenwerten und Gehaltsklassen der VDLUFA

Die VDLUFA teilt die Nährstoffgehalte in fünf so genannte Gehaltsklassen bzw. Versorgungsstufen von „A“ bis „E“ ein. Die Definition der Gehaltsklassen ist in Tabelle 4.2 gezeigt. Die Gehaltsklasse „A“ deutet auf einen sehr niedrigen Gehalt hin, hier ist eine stark erhöhte Düngung angebracht. Die Gehaltsklasse „E“ beschreibt einen sehr hohen Gehalt, als Empfehlung gibt die VDLUFA keine Düngung an. Für die konventionelle Landwirtschaft soll die Gehaltsklasse „C“ angestrebt werden. Wie an vorhergehender Stelle bereits erwähnt gilt für den ökologischen Landbau die Gehaltsklasse „B“ als ausreichend.

Tabelle 4.2: Definition der P-Gehaltsklassen für den leichtlöslichen (pflanzenverfügbaren) Phosphor im Boden und P-Düngeempfehlungen.

Gehalts- klasse (GK)	Kurzdefinition
A	Sehr niedriger Gehalt Düngeempfehlung: stark erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung: - auf Ertrag: hoher Mehrertrag - auf Boden: Gehalt im Boden steigt deutlich an
B	Niedriger Gehalt Düngeempfehlung: erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung: - auf Ertrag: mittlerer Mehrertrag - auf Boden: Gehalt im Boden steigt an
C	Anzustrebender Gehalt Düngeempfehlung: Erhaltungsdüngung in der Regel nach P-Abfuhr Düngewirkung: - auf Ertrag: geringer Mehrertrag - auf Boden: Gehalt im Boden bleibt erhalten
D	Hoher Gehalt Düngeempfehlung: verminderte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung: - auf Ertrag: Mehrertrag meist nur bei Blattfrüchten - auf Boden: Gehalt im Boden nimmt langsam ab
E	Sehr hoher Gehalt Düngeempfehlung: keine Düngung Düngewirkung: - auf Ertrag: keine - auf Boden: Gehalt im Boden nimmt ab

(Quelle: KERSCHBERGER, HEGE, JUNGK, 1997, S. 5)

Eine Übersicht der Gehaltswerte für Phosphor, die von der VDLUFA festgelegt sind, stellt Tabelle 4.3 dar. Hier sind die in Tabelle 4.2 erläuterten Gehaltsklassen „A“ bis „E“ mit dem jeweils zugeordneten Wert für Phosphor (P) und Phosphat (P_2O_5) in Milligramm je 100 Gramm Boden gezeigt.

Tabelle 4.3: Richtwerten für die P-Gehaltsklassen „A“ bis „E“ nach DL- bzw. CAL-Methode

P-Gehaltsklasse	mg P•100 g⁻¹ Boden	mg P₂O₅•100 g⁻¹ Boden
A	< 2,0	< 5
B	2,1 bis 4,4	6 bis 9
C	4,5 bis 9,0	10 bis 20
D	9,1 bis 15,0	21 bis 34
E	> 15,1	> 35

(Quelle: KERSCHBERGER, HEGE, JUNGK, 1997, S. 8)

Die Werte der Bodenanalyse vom 15.11.1999, wie sie in Tabelle 3.3 beschrieben sind, liegen im Mittel bei 7 mg P_2O_5 •100g⁻¹ Boden, der höchste Wert wird mit 12,5 mg P_2O_5 •100g⁻¹ Boden auf dem Schlag „Eisensteinfeld 1“ gemessen; der niedrigste Wert liegt bei 4,5 mg P_2O_5 •100g⁻¹ Boden auf dem Schlag „Ofenloch 2“. Für den ökologischen Landbau gilt die Gehaltsklasse „B“ als ausreichend. Anhand dieser einen Bodenanalyse könnte man zu dem Schluss kommen, dass die gemessenen Werte im tolerierbaren Bereich der Gehaltsklassenskala der VDLUFA liegen. Bei Betrachtung der Phosphorbilanz in Tabelle 3.10 wird ersichtlich, dass trotz einer Rohphosphatdüngung mit Gafsa 27[®] in den Jahren 2000 und 2001 (vgl. Tabellen 2.8, 2.9 und 2.10), die Bilanzen für die einzelnen Jahre und im Durchschnitt negative Saldi aufweisen.

Die pH-Werte auf den Schlägen der Dauertestflächen liegen anhand der Analyse vom 04.12.2001 alle oberhalb von pH 6 (vgl. Tabelle 3.4). Für einen Aufschluss der Rohphosphate sind saure Verhältnisse erforderlich (vgl. 2.4.3) (BAEUMER, 1992, S. 202). Folglich kann das gedüngte Rohphosphat nicht schnell aufgeschlossen werden, sondern ist den Pflanzen nur sehr begrenzt verfügbar, es kommt zu einer Fixierung des Rohphosphates im Boden.

Eine Beobachtung des Pflanzenbestandes im Jahr 1998 lässt deutlich anhand einer Anthocyanverfärbung einen Phosphormangel an dem Winterroggen erkennen. Die Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen Aufnahmen dieser Mangelercheinung.

Diese Feststellung veranlassten den Betriebsleiter im Jahr 2000 die Schläge „Kreuz“, „Schöne Aussicht“ und „Eisensteinfeld 1“ und im Jahr 2001 die Schläge „Schöne Aussicht“ und „Eisensteinfeld 2“ mit Gafsa 27[®], einem weicherdigem Rohphosphat der

Firma Timac mit einem Phosphorgehalt von 27 % zu düngen. Die einzelnen Mengen sind in den Tabellen 2.9 und 2.10 enthalten und als mineralische Düngung gekennzeichnet.

Wie bereits in Punkt 2.4.3 erwähnt dürfen Bioland-Betriebe nur schwerlösliche, feingemahlene Rohphosphate einsetzen. Das für die Aufschließung von Rohphosphaten notwendige saure Milieu liegt auf den untersuchten Schlägen nicht vor, somit müssen Möglichkeiten erkundet werden, wie dieses schwerlösliche Rohphosphat in eine pflanzenverfügbare Form umgewandelt werden kann. RÖMER und LENHE (2003, S. 110) nennen in ihrer Untersuchung den Anbau von Rotklee. Durch die N₂-Fixierungsleistung werden Protonen ausgeschieden und der pH-Wert sinkt unmittelbar im Wurzelbereich ab, so dass Rohphosphat aufgeschlossen werden kann.

Eine weitere Möglichkeit ist der Anbau von Lupinen, mit ihren Pfahlwurzeln in Kombination mit einem stark verzweigten Seitenwurzelsystem mobilisieren sie einen Teil des schwer löslichen Rohphosphats im Boden. Mit so genannten Proteoidwurzeln können sie gezielt Säuren ausscheiden, damit die Rhizosphäre ansäuern und Rohphosphat aufschließen. Dies kommt dann auch der Nachfrucht zugute. Lupinen gehören zu den Leguminosen, mit deren Anbau können im ökologischen Landbau zwei wichtige Nährstoffe, nämlich Stickstoff und Phosphor, den Nachfrüchten zur Verfügung gestellt werden.(RÖMER, 1994).

In Bezug auf die in der Einleitung beschriebene Endlichkeit des Nährstoffes Phosphor (PRADT, 2003, S. 5 ff) und die eben hier erwähnte Problematik des Rohphosphataufschlusses in neutralen und alkalischen Böden könnten ein Anstoß sein, die Art des Phosphordüngemittels für den organischen Landbau zu überdenken.

4.5 Betrachtung der Kaliumbilanz hinsichtlich der Wirkung auf das Bodengefüge und die Bodenfruchtbarkeit

Die Rolle des Pflanzennährstoffes Kalium ist im Punkt 2.4.4 bereits beschrieben. In Tabelle 3.11 liegt der Saldo im Mittel der drei Untersuchungsjahre mit -166 kg K•ha⁻¹ im negativen Bereich. Somit ist der Entzug durch Pflanzen größer als die Zufuhr organischer Dünger aus der Tier- und Pflanzenproduktion. In der ebenfalls mit REPRO berechneten Kaliumbilanz findet die Nachlieferung aus dem Boden keine Betrachtung. Kalium ist als Matrix- oder Gitterkation in Mineralen und in der Zwischenschicht der Dreischicht-Tonminerale gebunden und kann mehr oder weniger leicht aus diesen gelöst werden (BAEUMER, 1992, S. 273 f). Die Dreischicht-Tonminerale stellen mit ihrer Zwischenschicht einen Puffer für Kalium dar. Freies Kalium in der Bodenlösung, das im

Zuge der Mineralisation von Ernte- und Wurzelrückständen sowie organischen und mineralischen Düngemitteln ausgelöst wird, kann in die Zwischenschicht der Dreischicht-Tonminerale eingelagert werden. Umgekehrt besteht die Möglichkeit, dass dieses fixierte Kalium wiederum freigesetzt werden kann und den Pflanzen als Nährstoff zur Verfügung steht (SCHELLER, 1997, S. 34).

In deutschen Ackerböden beträgt die Spannweite für K_2O nach SCHELLER ein bis zwei Prozent, umgerechnet befinden sich somit 150.000 bis 300.000 kg K_2O je Hektar und einen Meter Tiefe (SCHELLER, 1997, S. 34). Der Boden ist eine sehr belebte Materie. SCHELLER (1997, S. 36) beschreibt, dass durch Regenwürmer und andere Bodenlebewesen ständig Bodenmaterial und damit Tonminerale vertikal im Boden verteilt und gemischt werden. Er sieht es nicht als kritisch an, wenn die Nährstoffbilanz für Kalium einen negativen Saldo aufweist. Seiner Aussage nach kann „die durchschnittliche jährliche K-Nachlieferung unter günstigen Umständen sogar die K-Verluste [...] übersteigen“. Als Resümee hält SCHELLER (1997, S. 37) fest, dass „mit Hilfe einer regelmäßigen Bodenuntersuchung [...] der lösliche Nährstoffvorrat kontrolliert werden“ sollte, um eine Anreicherung zu vermeiden und vor Auswaschung zu schützen.

Eine Empfehlung für den Gehalt von K_2O in Ackerböden gibt die VDLUFA, differenziert in Versorgungsstufen und Bodenart an. Für Böden des ökologischen Landbaus soll die Gehaltsklasse „B“ erreicht werden. Diese besagt eine leichte Unterversorgung der Böden, die aber im Rahmen des ökologischen Landbaus akzeptiert werden kann (FÜRCHTENICHT, HEGE, HEYN, ORLOVIUS, 1999, S. 4).

Die Werte der Bodenuntersuchung auf den Dauertestflächen des Gladbacherhofes sind in Tabelle 3.3 gezeigt. Auf den Flächen liegt die Spannweite für K_2O zwischen 6 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ Boden (Ofenloch 2) und 12 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ Boden (Eisensteinfeld 1), der Mittelwerte bei rund 10 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ Boden. Die VDLUFA gibt für die Versorgungsstufe „B“ Werte von 7 bis 12 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ Boden für mittlere Böden und 12 bis 18 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ Boden für schwere Böden an. Für die mittleren bis schweren Böden des Gladbacherhofes besteht somit die Gefahr, dass sie in die Gehaltsklasse „A“ (sehr niedrig) absinken. Diese Entwicklung korrespondiert mit den negativen Saldi der Kaliumbilanz in Tabelle 3.11.

Für den Versuchsstandort Gladbacherhof bleibt festzuhalten, dass die Bilanz für Kalium künftig stärker beobachtet werden muss und gleichzeitig die Bilanzergebnisse mit Analysen von Bodenproben weiter zu vergleichen sind. Eine einzige Bodenanalyse gibt nicht hinreichend Aufschluss über die tatsächlichen Verhältnisse. Zeigen die

Bodenanalysen weiterhin eine sinkende Tendenz für den Pflanzennährstoff Kalium, so wäre eine Düngung mit Kalium in Betracht zu ziehen. Die für den ökologischen Landbau zugelassenen Kaliumdüngemittel sind im Punkt 2.4.4 erwähnt. Denn die durch den Entzug verursachte Zerstörung von Dreischicht-Tonmineralen kann einen negativen Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit haben.

Der Leitgedanke einer nachhaltigen Entwicklung, wie sie zu Beginn am Beispiel des Brundtland-Reportes gezeigt wurde, muss auch hier bedacht werden.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird eine Analyse des Humus- und Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden durchgeführt. Als Versuchstandort dient der ökologisch wirtschaftende Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Es werden Aussagen zum Humus- und Nährstoffvorrat des Bodens nach 17 jähriger ökologischer Bewirtschaftung getroffen. Weiterhin erfolgt eine Einschätzung der Phosphor- und Kaliumversorgung sowie der Bodenreaktion unter zu Hilfenahme der VDLUFA-Versorgungsstufen. Als weiterer Untersuchungsfaktor tritt die Bewertung der N_{\min} -Verlagerung auf. Erträge und Nährstoffentzüge der Einzelkulturen sowie im Rahmen der Gesamtr Fruchtfolge werden präsentiert. Schließlich wird eine Analyse und Bewertung der Humus- und Nährstoffproduktion mit Hilfe von Humus- und Nährstoffbilanzen auf Fruchtfolgeebene durchgeführt.

Der Zeitraum der Analyse umfasst die Jahre 1999, 2000 und 2001. Die Analyseparameter umfassen den Humushaushalt und die Pflanzennährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium.

Zur Bewertung werden neben direkten Messwerten aus Boden- und Pflanzenanalysen auch, wie bereits erwähnt, Bilanzierungsergebnisse herangezogen. Die Bilanzen wurden mit dem, von der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle entwickelten Betriebsbilanzierungsprogramm REPRO erstellt.

Im Jahr 1999, 17 Jahre nach Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung, wurden auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof Dauertestflächen auf Ackerschlägen des Kernbetriebes eingerichtet, die der normalen Bewirtschaftung unterliegen. Die dort verwendete Fruchtfolge entspricht der des Kernbetriebes. Die Fruchtfolge umfasst acht Fruchtfolgefelder, die in drei Fruchtfolgeglieder strukturiert ist. Zu Beginn steht ein zweijähriger Luzerne- oder Klee-grasanbau, gefolgt von Winterweizen, im vierten Jahr schließt sich eine Hackfrucht an, die je nach dem aus Kartoffeln oder Silomais besteht. Bevor im sechsten Jahr Ackerbohnen oder Erbsen angebaut werden, steht im fünften Jahr die Vermehrung von Winterroggen an. Nach den Ackerbohnen bzw. Erbsen wird eine Dinkelvermehrung durchgeführt. Das letzte Fruchtfolgefeld besteht aus einem Sommergetreide bzw. einer Ganzpflanzensilage. Wenn die Möglichkeiten gegeben sind,

werden Zwischenfrüchte angebaut, um eine möglichst lange Bodenbedeckung zu erreichen. Die Zwischenfrüchte werden mit Leguminosen gemischt, so dass zusätzlich Luftstickstoff durch die Knöllchenbakterien fixiert werden kann.

Ökologisch wirtschaftende Betriebe müssen auf ihren Ackerflächen einen möglichst hohen Humusgehalt anstreben, da durch den Verzicht auf leichtlösliche chemisch-synthetische Mineraldüngemittel die Ertragsleistung aus dem Boden kommen muss. Die im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft höheren Grunderträge werden durch einen höheren Humusgehalt im Boden der ökologisch wirtschaftenden Betriebe realisiert.

Die Humusgehalte liegen auf den Versuchstandorten zwischen 1,5 und 3,4 %. Auf den Schlägen „Gewann 1“ und „Eisensteinfeld 1“ weist der Boden mit einem Humusgehalt um 3 % einen hohen Gehalt auf.

Im Vergleich mit den von der VDLUFA empfohlenen Werten für die Nährstoffe Phosphor und Kalium weisen die Ackerschläge einen leichten Mangel auf. Die Bodenreaktion auf den Dauertestflächen erstreckt sich von schwach sauerem bis schwach alkalischem Milieu.

Die Gefahr der Nährstoffauswaschung, vor allem die Auswaschung von Nitrat liegt auf dem Gladbacherhof im Rahmen der in der Literatur erwähnten Werte. Durch eine gute fachliche Praxis, etwa durch fast ganzjährige Bodenbedeckung mit Pflanzenbewuchs werden hohen Auswaschungswerten entgegen gewirkt. In diesem Zusammenhang leistet der Anbau von Winterzwischenfrüchten einen enormen Beitrag.

Die Ergebnisse der Humusbilanz und der Bodenanalyse für C_t und N_t zeigen, dass der Aspekt höherer Humusgehalte auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof beachtet wird. Die Humusbilanz ist über die drei Untersuchungsjahre durchweg positiv. Eine leichte, aber angestrebte Überversorgung liegt vor, so beträgt der Versorgungsgrad im Durchschnitt der drei Untersuchungsjahre 134 %. Folglich kann mit einem Aufbau des Humusgehaltes gerechnet werden.

In dieser Untersuchung wird der dynamische Ansatz von REPRO bei der Bilanzierung von Stickstoff verwendet, dies besagt, dass die Parameter der Humusbilanz an die

Standortbedingungen, das Ertrags- und Düngerniveau angeglichen werden; kurz die Humusbilanz wird mit der Stickstoffbilanz gekoppelt. Bei einer, wie hier vorliegender positiver Humusbilanz, wird Stickstoff im Boden festgelegt, dies spiegelt sich in der Stickstoffbilanz als „Bestandesänderung Boden“ wieder.

Die positive Humusbilanz und die „Bestandesänderung Boden“ weisen auf eine nachhaltige Bewirtschaftung hin, es findet kein Raubbau hinsichtlich der Humus- und Stickstoffvorräte im Boden statt. Die Stickstoffbilanz liegt im Mittel des Untersuchungszeitraumes bei $-78 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Eine Bodenanalyse hinsichtlich des Phosphorgehaltes auf den Dauertestflächen zeigt, dass die Werte der Empfehlung der VDLUFA entsprechen. Die mit REPRO ermittelte Phosphorbilanz weist aber in den drei Untersuchungsjahren negative Saldi auf. So beträgt der Saldo im Durchschnitt $-5 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ebenso zeigen Winterroggenpflanzen Mangelscheinungen im Bezug auf den Pflanzennährstoff Phosphor. Eine Düngung mit Rohphosphat bringt auf den leicht alkalischen Böden das Problem der Nichtverfügbarkeit mit sich. Die Pflanzen benötigen zur Aufnahme aufgeschlossene Phosphate. Für diese Umwandlung sind saure Verhältnisse notwendig. Die Pflanzen müssen zunächst in ihrem Wurzelbereich für saure Verhältnisse sorgen, in dem sie Protonen ausscheiden. Derzeit steht dem ökologischen Landbau allerdings keine Alternative zu den Rohphosphaten zur Verfügung.

Bei der Kaliumversorgung sieht die Situation auf den Dauertestflächen bedenklich aus. Die Saldi liegen während des Untersuchungszeitraumes im Durchschnitt mit $-166 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ im negativen Bereich. Die Betrachtung einer Bodenanalyse der Versuchsschläge zeigen ähnlich Besorgnis erregende Werte. Gruppiert man die Werte der Bodenanalyse in die Gehaltsklassenskala der VDLUFA ein, so erhält man Werte, die gerade noch in der Gehaltsklasse „B“ liegen. Es droht die Gefahr, dass die Böden an Kalium verarmen. Zunächst kompensieren die Böden diesen Entzug mit einer Kaliumfreisetzung aus den Tonmineralen, auf die Dauer gesehen ist eine Zerstörung von Tonmineralen die Folge.

6 Anhang

6.1 Methode zur Simultanbestimmung von C_t und N_t mit dem Elementaranalysator VARIO EL

„Substanzauflschluss

Die zu analysierende Substanz wird durch oxidative Verbrennung aufgeschlossen. Der quantitative Substanzauflschluss beruht auf der explosionsartigen Verbrennung in mit Sauerstoff hoch angereicherter Heliumatmosphäre im mit CuO gefüllten Verbrennungsrohr bei einer Temperatur von ca. 950 - 1000 °C. Durch eine variable, individuell wählbare Sauerstoffdosiermenge wird eine quantitative Verbrennung der Probe auch bei großer Einwaage (je nach Elementgehalt bis 200 mg) erreicht.

Zum Auflschluss wird die Probe in Zinnschiffchen eingewogen. Das zusammengefaltete Schiffchen wird dann mittels eines automatischen Probengebers in das mit Helium und Sauerstoff gefüllte, senkrecht angeordnete Verbrennungsrohr aus Quarzglas eingeworfen.

Bei der oxidativen Verbrennung entstehen aus den Elementen C und N neben molekularem Stickstoff die Oxidationsprodukte CO_2 , H_2O , NO, NO_2 sowie flüchtige Halogenverbindungen und flüchtige Schwefelverbindungen, falls die Probe außer CHN auch Halogene und Schwefel enthält.

Die Stickoxide werden an einem nachgeschalteten Kupferkontakt (Reduktionsrohr) bei 500°C quantitativ zu molekularem Stickstoff reduziert. Außerdem wird überschüssiger Sauerstoff am Kupferkontakt gebunden. Als Träger- und Spülgas dient Helium.

Die flüchtigen Halogenverbindungen werden hinter dem Kupferkontakt an geeigneten Absorptionsmittel (Silberwolle) chemisch gebunden und damit aus dem Gasstrom entfernt. Die flüchtigen Schwefelverbindungen werden an einer Bleichromatschicht, die sich im Verbrennungsrohr befindet, chemisch gebunden. Wasser wird mit Hilfe einer nachgeschalteten Absorptionssäule, die mit Phosphorpentoxid gefüllt ist, aus dem Gasstrom entfernt.

Die letztendlich entstandene Gasmischung aus den Komponenten Helium, CO_2 und N_2 wird nachfolgend einem Trenn- und Meßsystem zugeführt.

Trennung der Reaktionsgase

Da die Wärmeleitfähigkeitszelle (WLD) nicht spezifisch zwischen den verschiedenen Komponenten des Gasgemisches unterscheiden kann, müssen die Reaktionsprodukte CO_2 und N_2 einzeln und nacheinander von dem Trägergas Helium in die Messzelle gespült

werden. Diese Trennung der Komponenten erfolgt über eine U-förmige Trennsäule nach gaschromatographischen Prinzipien.

Zunächst durchströmt die Gasmischung bestehend aus CO₂ und N₂ und Helium eine Absorptionssäule. Mit dieser Säule wird das CO₂ quantitativ aus dem Gasstrom entfernt.

Der von der Absorptionssäule unbeeinflusste Stickstoff tritt mit dem Trägergas Helium als erste Komponente in die Wärmeleitfähigkeitsmesszelle ein.

Wenn die Messung des Stickstoffanteils beendet ist, wird die mit CO₂ beladene Absorptionssäule auf 100 °C geheizt, wodurch das CO₂ rasch desorbiert und vom Helium in den WLD gespült wird.

Nach Beendigung der Messung der CO₂-Messung wird ein neuer Analysenablauf gestartet.

Nachweis

Als Detektionseinheit dient eine besonders empfindliche, hinsichtlich des Trägergases Helium optimierte Wärmeleitfähigkeitsmesszelle mit großem dynamischen Messbereich.

Der WLD besteht aus zwei Kammern mit je einem Thermistor. Eine Kammer wird von einem Heliumgasstrom mit konstanter Strömungsgeschwindigkeit (Referenzstrom) durchströmt, die andere vom Helium mit dem zu messenden Fremdgasanteil (Messstrom).

Die zwei Kammern bilden eine Messbrücke, deren elektrische Verstimmung ein direktes Maß für den Fremdanteil im Trägergas darstellt. Die Zellenausgangsspannung in Form eines Peaks wird in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet, digitalisiert, integriert und als Integralzahl dargestellt.

Vor Beginn jeder Messung erfolgt ein automatischer Nullabgleich, so dass eine mögliche Nullpunktdrift des Detektors kompensiert wird.

6.2 pH-Wert Messung

Die Bestimmung des pH-Wertes zählt zu den bodenkundlichen Standardmethoden. Zum einen kann der pH-Wert kolorimetrisch mittels Farbumschlag von Indikatoren und zum anderen durch potentiometrische Verfahren ermittelt werden. Der pH-Wert ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der H⁺-Ionenkonzentration oder genauer der H⁺-Ionenaktivität. Die Aktivität bezeichnet die wirksame H⁺-Ionenkonzentration. Bemerkbar macht sich das im Gegensatz zur titrimetrischen bei häufiger verwendeten potentiometrischen Bestimmung. Bei abnehmenden pH-Werten nimmt hier der Unterschied zwischen Konzentration und gemessener Aktivität zu. Die lässt sich mit abnehmender Mobilität (Brown'sche Bewegung) und somit Wirksamkeit (nicht alle H⁺-

Ionen gelangen an die Elektrode) bei zunehmender Konzentration erklären. Zu beachten ist ferner, dass aufgrund der Definition Veränderungen des pH-Wertes von z.B. 3 auf 2 und 5 auf 4 nicht identisch sind. Eine absolute H^+ -Ionenkonzentrationszunahme von pH-Wert 3 nach 2 entspricht der hundertfachen Menge einer Änderung von pH-Wert 5 nach 4. Für die Messung der Acidität ergibt sich daher die Schwierigkeit, geringe Veränderungen bei niedrigen pH-Werten zu erfassen.

Die potentiometrische Bestimmung des pH-Wertes erfolgt in einer Bodensuspension. Als Suspendierungsmittel kommen Aqua dest. und Salzlösungen (KCl 1 mol/l bzw. 0,1 mol/l; $CaCl_2$, 0,01 mol/l) in Frage. Durch die Benutzung von Salzlösungen wird der Suspensionseffekt – sorbierte H^+ -Ionen gelangen mit den Bodenteilchen an die Elektrode und werden mit erfasst – zum größten Teil ausgeschaltet. Außerdem werden Schwankungen, die durch unterschiedlichen Salzgehalt und biologische Aktivität im Jahresablauf bedingt sind, aufgehoben.

Die Bestimmung beruht auf der Messung von Potentialdifferenzen, die an der Grenzfläche der Glasmembran (Spezialglas) einer pH-Elektrode und der zu messenden Lösung auftreten. Das Anzeigergerät (pH-Meter) ist auf pH-Einheiten kalibriert.

Die pH-Elektroden sind in der Regel als „Einstabmessketten“ konstruiert, bestehend aus einer Mess- (Glas-) und einer Bezugs- (Vergleichs-) Elektrode.“ (WEGENER, 2002, S. 89)

6.3 CAL-Methode zur Bestimmung von Phosphor- und Kaliumkonzentration

Mit der Calcium-Azetat-Lactat-Methode (CAL-Methode) wird die K- und P-Versorgung durch Nachahmung der Phosphor- und Kaliumaufnahme von Wurzeln bestimmt. Es werden daher die pflanzenverfügbaren Ionen in die Lösung freigesetzt. Mit Hilfe einer mit Essigsäure angesäuerten Lactat-Azetat-Lösung (pH 3,5) werden Kalium- und Phosphationen aus den Austauschern freigesetzt. Das geschieht bei Kalium durch Austausch mit H^+ oder Ca^{2+} -Ionen und bei Phosphat durch Austausch mit Lactationen oder H^+ . Mit dem AAS wird die Konzentration der gelösten Kaliumionen gemessen, die der Phosphationen mit dem Photometer (WEGENER, 2002, S. 135).

7 Literaturverzeichnis

- ALSING, I; et al (2002): Lexikon Landwirtschaft. Stuttgart.
- ANONYMUS (1987): Brundtland Report
URL: <http://www.nachhaltigkeit.aachener-stiftung.de/110073958781876/Geschichte/Zwischen%20Stockholm%20und%20Rio/Brundtland-Report%201987.htm>
- BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3.Auflage. Stuttgart.
- BIOLAND (01.11.2003): Unterschiede zwischen den Bioland-Richtlinien und der EG-Bioverordnung anhand einiger Beispiele. Mainz.
<http://www.bioland.de/literatur/informationen/richtlinien-vergleich.pdf>
- BIOLAND-RICHTLINIEN (27.04.2004): Bioland-Anbaurichtlinien. Mainz.
<http://www.bioland.de/bioland/richtlinien/erzeuger-richtlinien.pdf>
- CHUDY, T. (2000): Methodik zur Rekonstruktion von Testparzellen im Schlagbereich. In: HÜLSBERGEN, K.-J. & DIEPENBROCK, W. (Hrsg.) (2000) Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau. Halle. S. 50 – 55
- EG-VERORDNUNG NR. 2092/91 (1991): Verordnung über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel vom 24.Juni 1991 in der Fassung vom 23.03.2002. Anhang VII
- FÜRCHTENICHT, K.; HEGE, J.; HEYN, J.; ORLOVIUS, K. (1999): Kaliumdüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf Richtwerte für die Gehaltsklasse C. VDLUFA (Hrsg.). Darmstadt.

- HDLGN, HESSISCHES DIENSTLEISTUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, GARTENBAU UND NATURSCHUTZ (2004): Für die ökologische Landwirtschaft zugelassene und erhältliche Mineraldünger von praktischer Bedeutung.
URL: http://www.hdlgn-hessen.de/landwirtschaft/oekologischerlandbau/end_ackerpflanze/mineralduenger.htm
- HÜLSBERGEN, K.-J.; DIEPENBROCK, W. und ROST, D.(2000): Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen im Landwirtschaftsbetrieb – Das Hallesche Konzept –. In: LANDWIRTSCHAFTLICHE FAKULTÄT DER MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG (Hrsg.) Die Agrarwissenschaften im Übergang zum 21. Jahrhundert – Herausforderungen und Perspektiven. 8. Hochschultagung am 28.04.2000 in Halle/Saale. Tagungsband
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Aachen
- KERSCHBERGER, M.; HEGE, U.; JUNGK, A. (1997): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA (Hrsg.). Darmstadt
- KUNTZE, H.; ROESCHMANN, G.; SCHWERDTFEGGER, G. (1994): Bodenkunde. 5.Auflage, Stuttgart.
- KRAWUTSCHKE, M. (2004): Untersuchungen zum Einfluss von Reihenweite und Untersaat auf Ertrag, Rohproteingehalt sowie Ertragskomponenten von Winterweizen im ökologischen Landbau. Studienarbeit. Gießen.
- LEITHOLD, G. und HÜLSBERGEN, K.-J. (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. In Ökologie & Landbau, Heft 105, S. 32, Gesellschaft für ökologische Kommunikation mbH. ökom-verlag, München

- LEITHOLD, G. et al. (1999): Untersuchungsprogramm „Dauertestflächen“ zur Bewertung von Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Gießen.
- LEITHOLD, G. (2001): Aspekte des Humushaushaltes ackerbaulich genutzter Böden im ökologischen Landbau. In: DIEPENBROCK, W. (Hrsg.): Gestaltung der Anbauverfahren landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Aachen. S. 134 – 145
- LEITHOLD, G. (2002): Ökologischer Landbau – umweltgerechte Lebensmittelproduktion und Ernährungssicherung. Vortrag anlässlich der Hochschultagung des Fachbereichs Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement an der Justus-Liebig-Universität Gießen, am 27.11.2002
URL: http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1283/pdf/Leithold-2002_VortragHST.pdf
- LEITHOLD, G. (2004 a): Humusbilanzausgleich durch organische Düngemittel : Chancen für Bioabfallkomposte. In: Bio- und Restabfallbehandlung. Witzhausen: Inst. 8.2004, S. 408-420
URL: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1515/>
Datei anbei.
- LEITHOLD, G. (2004 b): Humusversorgung im ökologischen Landbau: Analyse und Bewertung des Humushaushaltes mit Hilfe von Humusbilanzen. Gießen.
URL: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1446/>
- MEIER, ET AL. aid Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V. (2003) 3.Auflage.Bonn.
- NULTSCH, W. (1996): Allgemeine Botanik. 10.Auflage. Stuttgart.
- PRADT, D. (2003): Verfügbarkeit und Vermarktung von Roh- und Recyclingmaterial aus der Sicht der Düngemittelindustrie. Symposium des Umwelt-Bundesrates und des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen am 06. - 07. Februar 2003. Berlin

- RÖMER, P. (1994): Lupinen-Verwertung und Anbau. 2. Auflage. Gesellschaft zur Förderung der Lupinen e.V. Rastatt.
- RÖMER, W.; LEHNE, P. (2003): Vernachlässigte Phosphor- und Kaliumdüngung im ökologischen Landbau senkt die biologische Stickstofffixierung bei Rotklee und den Kornertrag bei nachfolgendem Hafer. In Journal of Plant Nutrition and Soil Science (1-167, 2004). Weinheim.
- SCHELLER, E. (1997): Betreibt der ökologische Landbau Raubbau an den Nährstoffvorräten des Bodens? In Ökologie & Landbau. Ausgabe 103, S. 33 - 37, Gesellschaft für ökologische Kommunikation mbH. ökom-verlag, München
- VETTER, R.; MIERSCH, M. (1999): Abschlussbericht Projekt A 1.5 „Stickstoffversorgung und -dynamik in Fruchtfolgen vieharmer Betriebe des ökologischen Landbaus“. ITADA Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomic. Colmar.
- WEGENER, R. (2002): Bodenkundliche Laborübungen. Gießen

8 Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. G. Leithold für die Überlassung des Themas und der hervorragenden Betreuung.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. agr. F. Schulz (Leiter der Versuchsstation Gladbacherhof) und Herrn K.-P. Franz (Agrartechniker) sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof für ihre geleistete Arbeit und die gute Unterstützung zur Realisierung dieser Arbeit.

Dem Laborteam um Frau M. Nägele (Chemisch-Technische Assistentin) gilt ebenso mein Dank für die Bereitstellung ihrer Analyseergebnisse

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Professor K.-J. Hülsbergen, Herrn Dr. J. Abraham und den Mitarbeitern der landwirtschaftlichen Fakultät im Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die kostenlose zur Verfügung Stellung des Betriebsbilanzierungsprogrammes REPRO bedanken.

9 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Die Stellen, die anderen Werken wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Ich versichere weiterhin, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat.

Gießen, den 24.09.2004

Dominik Reeb