UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE GMBH

UFZ-Bericht

Nr. 14/2001

Ackerbausysteme im ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung von N-Bilanz und Effizienzkennzahlen

Uta Beckmann, Hartmut Kolbe, Annett Model und Rolf Russow[1]

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
[1]UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung

ISSN 0948-9452

Ackerbausysteme im ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung von N-Bilanz und Effizienzkennzahlen

Autoren: Uta Beckmann

Hartmut Kolbe

Annett Model

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft,

Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig-Möckern

Rolf Russow

UFZ Halle-Leipzig GmbH, Sektion Bodenforschung,

Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle/Saale

Teil 1 des Abschlussberichtes zum Projekt „Reduzierung gasförmiger Emissionen und der Nährstoffverlagerung durch optimale Ausgestaltung von extensiven landwirtschaftlichen Anbausystemen mit unterschiedlich hohem Viehbesatz", gefördert durch die DBU, Osnabrück

Förderkennzeichen: 05563

Laufzeit: 01.08.1996 - 31.12.1999

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung ... 3
2 Zielstellungen ... 6
Standort ... 6
Anbausystem ... 6
Düngemittelart und Düngungsintensität ... 6
Vegetationsbegleitende Maßnahmen ... 6
3 Material und Methoden ... 7
3.1 Standorte ... 7
3.2 Witterung ... 7
3.3 Versuchsanlage ... 10
3.4 Fruchtfolge ... 12
3.5 Düngung ... 13
3.6 Vegetationsbegleitende Maßnahmen ... 16
3.7 Versuchsdurchführung und Feldprobenahme ... 17
3.8 Methoden der Bodenuntersuchung ... 20
N_{min} ... 20
Gesamt-Stickstoff (N_t) ... 21
Gesamt-Kohlenstoff (C_t) ... 21
pH-Wert ... 21
3.9 Düngemitteluntersuchungen ... 21
Stickstoff ... 21
Organische Substanz ... 21
3.10 Pflanzenuntersuchungen ... 23
Pflanzenfrischmasse (FM) ... 23
Pflanzentrockenmasse (TM) ... 23
Tausendkornmasse (TKM) ... 23
Rohprotein (RP) ... 23
Rohfaser ... 23
Stickstofffreie Extraktstoffe (NfE) ... 23
Rohasche ... 24
Rohfett ... 24
Energie ... 24
Fallzahl ... 24
Sedimentationswert ... 24
3.11 Bestimmung der biologischen Stickstofffixierung ... 25
^{15}N-Isotopen-Verdünnungsmethode ... 25
Ertragsabhängige Berechnung ... 25
3.12 Methoden der Bilanzierung und Effizienzberechnung ... 26

3.12.1 Bilanzierungen mit dem PC-Programm REPRO 26
3.12.2 Bilanzierungen aufgrund experimentell ermittelter Daten 27
3.12.3 Effizienzberechnungen 27
Nährstoff- bzw. Ressourcen-Effizienz 27
Effizienz je Produkteinheit 28
Effizienz je Flächeneinheit 29
3.13 Biometrische Auswertung 29
4 Ergebnisse und Diskussion 30
4.1 Ertrags- und Qualitätsanalyse von Weizen und Mais 30
4.1.1 Versuchsort Spröda 30
Sommerweizenerträge 30
Sommerweizenqualität 32
Körner- und Silo-Maisertrag 34
Körner- und Silomaisqualität 37
4.1.2 Versuchsort Methau 39
Sommerweizenertrag 39
Sommerweizenqualität 42
Maisertrag 45
Maisqualität 48
4.2 Erträge und N-Bindung durch Leguminosengrasbestände 50
4.2.1 Versuchsort Spröda 51
Luzernegras, 1997/98 51
Wickroggen, 1999 52
4.2.2 Versuchsort Methau 54
Kleegras, 1996 54
4.3 Veränderung der N_{min}-Werte im Tiefenprofil des Bodens 56
4.3.1 Versuchsort Spröda 56
4.3.2 Versuchsort Methau 59
4.4 Entwicklung der organischen Substanz und des pH-Wertes im Boden 62
4.4.1 Gehalte an N_t und C_t sowie C:N-Verhältnis 62
4.4.2 pH-Wert 69
4.5 N-Bilanz- und –Effizienzkennzahlen im System Boden – Pflanze – Atmosphäre 70
4.5.1 N-Aufnahme der Kulturpflanzen 70
4.5.1.1 Versuchsort Spröda 70
Leguminosengras, 1997; Wickroggen, 1998/99 70
Mais, 1996, 1999 70
Sommerweizen, 1998 73
4.5.1.2 Versuchsort Methau 74
Kleegras, 1996 74
Sommerweizen, 1997, 1999 76
Mais, 1998 76

4.5.2 N-Bilanzierung ... 78
4.5.2.1 Versuchsort Spröda ... 79
4.5.2.2 Versuchsort Methau ... 81
4.5.3 N-Effizienzberechnungen ... 86
4.5.3.1 Ressourcen-Effizienz ... 86
Versuchsort Spröda ... 87
N-Emissionen in Relation zur vegetationsbegleitenden Düngung ... 87
N-Emissionen in Relation zur Gründüngungs- und Gesamt-N-Zufuhr ... 89
N-Aneignungsvermögen ... 90
N-Abfuhr- und N-Ertragseffizienz ... 94
Versuchsort Methau ... 96
N-Aneignungsvermögen ... 96
N-Abfuhr und N-Ertragseffizienz ... 101
4.5.3.2 Effizienz je Produkteinheit ... 104
N-Ertragseinheit ... 105
Versuchsort Spröda ... 105
Versuchsort Methau ... 112
TM-Ertragseinheit ... 119
Versuchsort Spröda ... 119
Versuchsort Methau ... 124
5 Zusammenfassung ... 130
6 Summery ... 132
7 Danksagung ... 134
8 Literatur ... 135

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten war die Entwicklung der Landwirtschaft durch einen historisch gesehen beispiellosen Anstieg im Produktionsmitteleinsatz (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Energie) sowie einer damit verbundenen deutlichen Ertragssteigerung der Kulturarten gekennzeichnet. Allerdings konnte wiederholt festgestellt werden, dass es in Folge dieser Intensivierungsmaßnahmen z.B. in der Düngung nicht nur zu den gewünschten Ertragssteigerungen, sondern parallel hierzu auch zu einer verstärkten Anfälligkeit der Kulturpflanzen gegenüber Krankheit und Schädlingen gekommen war. Dies wurde mit einem breiten Einsatz u.a. an Pflanzenschutzmitteln versucht auszugleichen. Dabei ist es zu einer spiralförmigen Anhebung an weitgehend betriebsexternen Inputgrößen gekommen, so dass betriebsinnere, sich selbst regulierende Mechanismen zunehmend geschwächt wurden. Diese Zunahme des Inputs hat dann meistens zu einer Abnahme der Betriebsmittelausnutzung geführt. Es erfolgte ein Eintrag an Stoffen, die im natürlichen System bisher nicht in dieser Höhe vorgekommen waren.

Auf diesem Wege sind einige Bereiche der Landwirtschaft Ursache für Umweltschädigungen geworden. Es kam zu Nährstoffeinträgen in den Wasserkreislauf durch Bodenerosion und Infiltration sowie zu gasförmigen N-Emissionen aus Ställen, Dunglagerstätten und Ackerflächen.

Diese nachteiligen Umweltwirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf Wasser, Boden und Atmosphäre haben einerseits erhöhte Anstrengungen bei der Prüfung alternativer Bewirtschaftungsformen mit weniger intensiver Landnutzung sowie andererseits die Suche nach Optimierungsstrategien bei verschieden intensiven Nutzungsformen zur Folge gehabt.

Umfangreiche Vergleichsuntersuchungen zu verschieden intensiven Landnutzungsformen haben deutlich werden lassen, das gewisse extensive Formen sowie insbesondere ökologische Landbauformen z.T. erhebliche Vorteile in der Umweltwirkung und Nachhaltigkeit zeigen (siehe u.a. KRISTENSEN et al., 1995; KÖPKE et al., 1999; KOLBE, 1993, 2000; STOLZE et al., 2000). Bedeutende Ergebnisse zum Vergleich der verschiedenen Bewirtschaftungssysteme sind auch aus sorgfältig geführten Dauerversuchen ermittelt worden, z.B. dem DOK-Versuch in der Schweiz (MÄDER et al., 1993), in Darmstadt (RAUPP, 1995) sowie in den Niederlan-

den (ZADOKS & CAREL, 1989). Der erhebliche Erkenntnisfortschritt, der aus solchen Versuchen entspringt, unterstreicht die überaus hohe Wertstellung von Dauerversuchen.

Aufgrund dieser experimentellen Arbeiten können sowohl die landwirtschaftlichen Ertragsleistungen, die Produkt- und Ressourceneffizienzen als auch die Umweltwirkungen dieser Bewirtschaftungsformen in ihren Auswirkungen auf den Boden- und Wasserschutz rel. sicher eingeschätzt werden.

Bemühungen, das landwirtschaftliche Leistungsvermögen in Relation zum Betriebsmitteleinsatz zu verbessern, haben im konventionellen Landbau u.a. zur Entwicklung des integrierten Landbaus geführt. Verbesserungen auf dem Gebiet des Umweltschutzes sind bei diesen z.T. auch in der landwirtschaftlichen Praxis angewandten Verfahren deutlich geworden, oder sie werden für die Zukunft erwartet, wie z.B. von den in Entwicklung befindlichen Verfahren des Precision Farming (DIERCKS & HEITEFUß, 1990; LÜTKE ENTRUP et al., 1998; HANE-KLAUS & SCHNUG, 2000).

Im Gegensatz zu konventionellen Anbauverfahren kann als Ergebnis der oben zitierten Vergleichsuntersuchungen der ökologische Landbau in seinen unterschiedlichen Ausprägungen (ANON., 1991) als eine weniger intensive Landnutzungsform betrachtet werden. Er ist gekennzeichnet durch vielfältige Fruchtfolgen mit einem relativ hohen Anteil an Leguminosen zur biologischen N-Fixierung, verminderten Einsatz an Betriebsmitteln (Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und leicht lösliche sowie synthetisch erzeugte Düngemittel) und den Einsatz ausschließlich organischer Düngemittel. Der Umfang der Tierhaltung ist strikt an die Flächenproduktion gekoppelt, Zukauf von Dünge- und Futtermitteln ist nur beschränkt möglich.

Der Anbau legumer Haupt- und Zwischenfrüchte sowie ein möglichst effizienter Einsatz organischer Düngemittel als ausschließliche N-Quellen stellen Kernelemente ökologischer Anbauverfahren dar. Gerade der Anbau von Leguminosen unterliegt aber einer kontroversen Beurteilung. Leguminosen können zu kurzzeitiger lokaler N-Akkumulation führen, was vor allem auf sorptionsschwachen Böden ein erhöhtes Gefahrenpotential darstellen kann (BELAU et al., 1995; SEEGER et al., 1997). Die Verwendung ausschließlich organischer Düngemittel in Abhängigkeit vom Umfang der Tierhaltung wird ebenfalls kritisch beurteilt, da es im Bereich der Tierhaltung und Dunglagerung, aber auch während und nach der Dungapplikation zu erheblichen N-Verlusten kommen kann.

Verfahrensoptimierungen, die einen breiten Bereich ökologischer Landbauverfahren umfassen, sind bisher kaum experimentell untersucht worden. Auf Teilgebieten, wie z.B. der Verlustminimierung von Stickstoff im Fruchtfolgeglied Feldfutterbau als Vorfrucht und den Nachfrüchten sind Verbesserungsvorschläge erarbeitet worden (HESS, 1995; siehe auch DREESMANN, 1993; SCHMIDT, 1997). Es wird erwartet, dass Optimierungsstrategien zur Verbesserung dieser Anbauform noch erhebliche innovative Möglichkeiten zutage fördern, da der ökologische Landbau in der Forschung bisher nicht intensiv behandelt worden ist.

Vor diesem Hintergrund wurden auf einem Sandboden und einem Lößboden in Sachsen ab dem Jahr 1992 komplexe Dauerversuche durchgeführt. Aufgrund der gewählten Faktoren, des Variantenumfanges und der Dauer der Versuche war die Prüfung eines breiten Spektrums an ökologischen Anbauverfahren sowohl in ihren kurzzeitigen Auswirkungen auf Nährstoffdynamik, Ertrag und Produkt-Qualität der Kulturarten als auch in ihren langfristigen Auswirkungen auf die Nährstoffbilanzen der Fruchtfolgen sowie die Bodenfruchtbarkeit möglich. Es wurden Anbauverfahren von viehlosen sowie von viehhaltenden Betrieben simuliert, eine stark unterschiedliche Düngungshöhe mit verschiedenen organischen Düngemitteln sowie differenzierte anbautechnische und vegetationsbegleitende Maßnahmen berücksichtigt.

Im Rahmen dieser konkreten feldwirtschaftlichen Versuchsanstellungen des ökologischen Landbaus stehen im Mittelpunkt des vorliegenden 1. Teils der Ergebnisdarstellungen umfangreiche Untersuchungen über die Entwicklung der Ertrags- und Qualitätsleistung sowie von Kennzahlen der N-Bilanz- und –Effizienzrechnungen im Verlauf der durchgeführten Fruchtfolgen. Im 2. Teil (siehe BECKMANN et al., 2001) steht die Messung von Komponenten des Stickstoff-Kreislaufes, insbesondere der gasförmigen Emissionen (N_2O-N, NH_3-N), die N_{min}-Dynamik im Boden sowie eine zusammenfassende Gesamtbetrachtung dieser Ackerbausysteme des ökologischen Landbaus im Vordergrund.

Der Schwerpunkt beider Abhandlungen lag in der Abschätzung und Bewertung der Umweltwirkung und darüber hinaus in der Auffindung von pflanzenbaulichen Optimal-Varianten, die unter Berücksichtigung der Ertrags- und Qualitätsleistung und der Effizienz der eingesetzten Ressourcen zu einer minimalen Belastung mit umweltrelevanten Stoffen führen und für eine dauerhafte Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis empfohlen werden können.

2 Zielstellungen

Ziel der Untersuchungen war es, die Bedeutung und den Umfang an Umweltwirkungen (N-Bilanz, -Effizienzkennzahlen, -Verlagerung) im Vergleich zu den geprüften Formen und der Intensität der Landbewirtschaftung aufzuzeigen und Rückschlüsse für eine optimale Ausgestaltung ökologischer Anbauverfahren in ihren kurzfristigen und langfristigen Auswirkungen auf Boden, Pflanze und Atmosphäre für nachfolgend genannte Einflussfaktoren zu gewinnen:

Standort

Die Versuche wurden auf einem zu Trockenheit (Regenschatten des Harzes, Jahresniederschlag 547 mm) neigenden Sandboden sowie auf einem Löß-Braunstaugley im Einflussbereich des mitteldeutschen Hügelklimas (Jahresniederschlag 690 mm) im Freistaat Sachsen durchgeführt. Ergebnisse des Standortvergleiches sollten Hinweise für eine optimale Betriebsgestaltung der Regionen bieten können.

Anbausystem

Es wurden Unterschiede zwischen viehlosen (Marktfruchtbau: Leguminosenaufwüchse werden gemulcht, Koppelprodukte verbleiben auf dem Acker) und viehreichen Bewirtschaftungsformen (Futterbau: Leguminosenaufwüchse und Koppelprodukte werden vom Feld abgefahren) untersucht. Es sollten Hinweise zur Fruchtfolgegestaltung, zu Art und Umfang des Leguminosenanbaus, zur Mulchwirtschaft, zum spezifischen Nährstoffmanagement und zur Bodenfruchtbarkeit gewonnen werden.

Düngemittelart und Düngungsintensität

Es wurde die Anwendung der organischen Düngemittel Stallmist, Jauche, Gülle und Kleegras-Mulch von 0 – 2 Dungeinheiten je Hektar und Jahr (sowie in einem kleinen Umfang der N-Mineraldüngung) vergleichend gegenübergestellt, um Bestimmungsgründe für die Wahl und die angemessene Höhe der Dungstoffe aus kurzfristigen (Ertrag, Produkt-Qualität, Einfluss auf legume N-Bindung) und langfristigen Erwägungen (Nährstoffmanagement, Nährstoffbilanzen, Bodenfruchtbarkeit) treffen zu können.

Vegetationsbegleitende Maßnahmen

Durch differenzierte Gestaltung der anbautechnischen Verfahren zu Sommerweizen und Mais durch die Wahl unterschiedlicher Reihenweiten und Spätdüngung (Jauche, Gülle, Mulch) sowie der Applikationstechnik (oberflächliche Ausbringung durch Schleppschlauch, Einarbei-

tung durch Injektion) sollten Hinweise zur optimalen Gestaltung dieser vegetationsbegleitenden Maßnahmen gewonnen werden.

3 Material und Methoden

3.1 Standorte

Ende 1992 sind an den Standorten Spröda und Methau in Sachsen vierfaktorielle Feldversuche angelegt worden. Ziel dieser Versuche ist es, nach Ablauf einer Umstellungszeit mehrjährige Auswirkungen stark unterschiedlicher ökologischer Anbauverfahren auf relevante Bodenparameter sowie Ertrag und Qualität der Ernteprodukte zu untersuchen. Dabei sind Fragestellungen eingeschlossen, inwieweit eine gezielte Bestandesführung mit den im ökologischen Landbau zugelassenen Mitteln und Methoden erreicht werden kann.

Der **Versuchsstandort Spröda** befindet sich ca. 5 km östlich von Delitzsch, Landkreis Delitzsch im Regenschattengebiet des Harzes am Rande der Leipziger Tieflandbucht in Sachsen. Der Standort ist 120 m über NN gelegen und durch eine ebene Lage gekennzeichnet. Es herrscht ein trockenwarmes Klima der unteren Lagen vor. Der Bodentyp ist ein starker Lessive aus Geschiebelehm, die Bodenform eine Tieflehm-Fahlerde (Albic Luvisol) aus anlehmigem Sand (Sl), die geschätzten Bodenpunkte liegen bei 30/33. Der Feinerdeanteil beträgt 11,6 %. Der Untergrund ist ein Kies-Staukörper.

Der **Versuchsstandort Methau** liegt zwischen Colditz und Rochlitz östlich der Mulde im Kreis Mittweida, Sachsen. Der Standort ist 265 m über NN gelegen und durch eine flachwellige Lage gekennzeichnet. Es herrscht das mitteldeutsche Berg- und Hügelklima vor, d.h. es ist ein mäßig trockenes, mäßig warmes Klima der unteren Lagen, schwächer maritim beeinflusst. Die Bodenform ist ein Löß-Braunstaugley (Gleyic-Luvisol) aus Lehm (L), die geschätzten Bodenpunkte liegen bei 70/63. Der Feinerdeanteil beträgt 25,9 %.

3.2 Witterung

Die Wetterdaten wurden über die Hauptversuchsperiode von 1996 bis 1999 von den Wetterstationen auf den beiden Standorten erfasst (Abb. 1 u. Abb. 2). Für die gesamte Versuchsperiode (1993 – 1999) wurden zusätzlich die Jahreswerte an Temperaturen und Niederschlägen angegeben (Tab. 1).

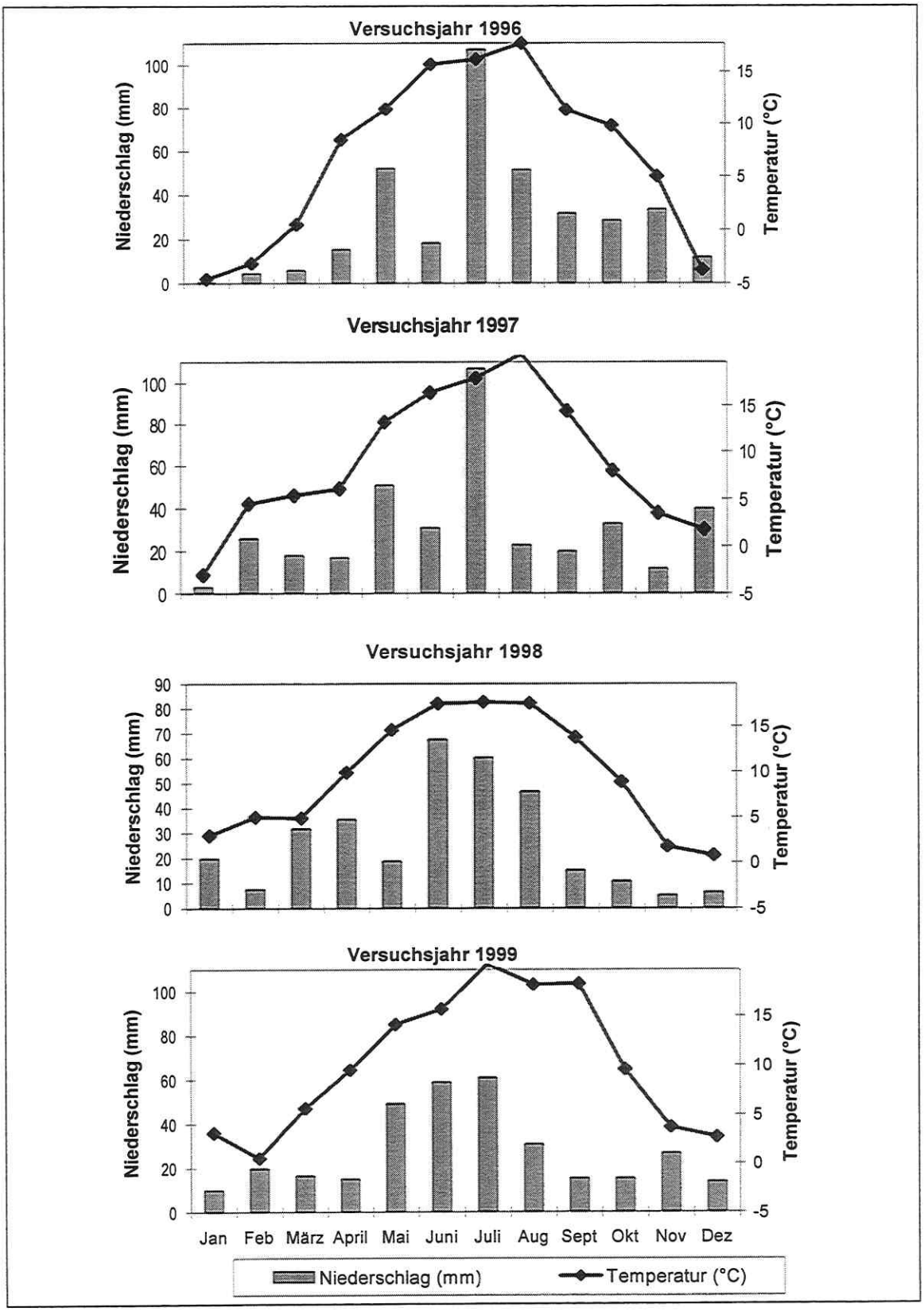


Abb. 1: Durchschnittliche monatliche Niederschläge und Temperaturen von 1996 bis 1999 am Versuchsort Spröda

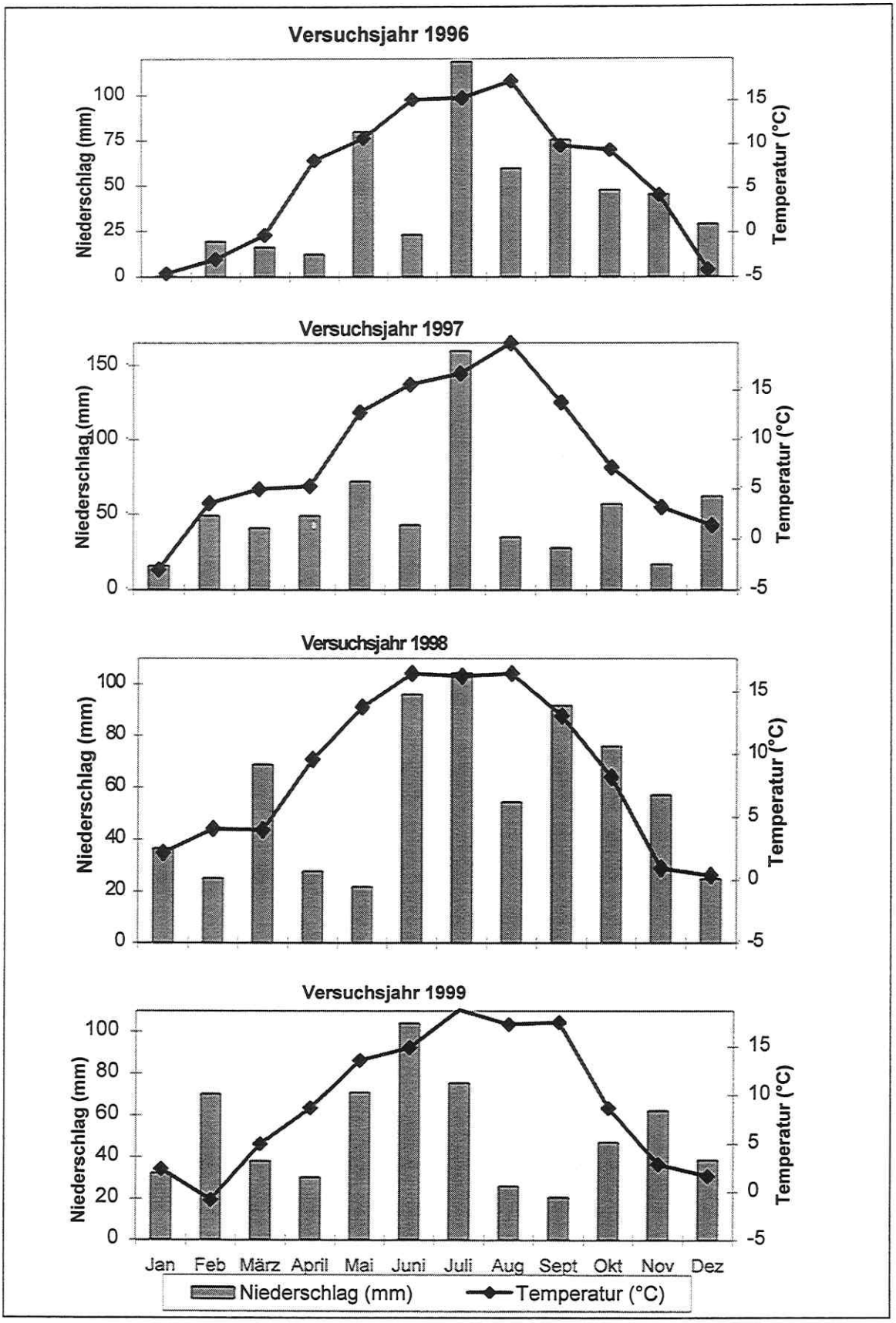


Abb. 2: Durchschnittliche monatliche Niederschläge und Temperaturen von 1996 bis 1999 am Versuchsort Methau

Tab. 1: Jahressummen an Niederschlägen und Durchschnittstemperaturen an den Versuchsorten Spröda und Methau

Jahr	Versuchsort Spröda		Versuchsort Methau	
	Niederschläge (mm)	Temperatur (°C)	Niederschläge (mm)	Temperatur (°C)
1994	359,6	12,6	766,5	9,9
1995	449,1	9,5	747,8	8,9
1996	360,9	7,4	527,7	6,8
1997	381,0	9,4	629,0	8,7
1998	326,2	9,9	685,0	9,1
1999	333,8	10,4	617,6	9,5

Am Versuchsort Spröda fallen im langjährigen Durchschnitt 547 mm Niederschlag, davon in den Monaten Mai bis September 274 mm. Seit 1994 wurde das langjährige Niederschlagsvolumen unterschritten. Die langjährige Durchschnittstemperatur liegt bei 8,8 °C, davon beträgt die Durchschnittstemperatur von Mai bis September 15,8 °C. In Methau fallen im langjährigen Durchschnitt 693 mm Niederschlag, von Mai bis September fallen 324 mm Niederschlag. Die langjährige Durchschnittstemperatur liegt bei 8,4 °C, von Mai bis September bei 15,2 °C. Mit Ausnahme des Jahres 1996 wurde auf beiden Standorten eine höhere mittlere Jahrestemperatur gemessen.

3.3 Versuchsanlage

Als Versuchsanlage des Dauerversuches wurde eine vierfaktorielle Spaltanlage gewählt (Abb. 3 u. Abb. 4). Die Großteilstücke beinhalten die Bewirtschaftungssysteme Futterbau (viehreich) und Marktfrucht (vieharm), die Mittelteilstücke die Düngemittelarten (Stallmist + Jauche, Gülle, Mulch, N-Mineraldüngung), die Kleinteilstücke die Düngungsintensität (0,0 bis 2,0 Dungeinheiten (DE) je ha u. Jahr; 1 DE = 80 kg N) und die Untereinheiten die vegetationsbegleitenden Maßnahmen (kleiner/großer Reihenabstand, mit/ohne Düngereinarbeitung). Es wurden 48 Parzellen zu 3 x 6 m = 18 m^2 mit jeweils 4 Wiederholungen (W), das heißt 192 Kleinparzellen, angelegt.

2401	2341	2331	2321	2241	2231	2221	2011	1011	1141	1131	1121	1241	1231	1221	1401	
2402	2342	2332	2322	2242	2232	2222	2012	1012	1142	1132	1122	1242	1232	1222	1402	W4
2403	2343	2333	2323	2243	2233	2223	2013	1013	1143	1133	1123	1243	1233	1223	1403	

2402	2232	2242	2222	2332	2342	2322	2012	1012	1232	1242	1222	1132	1142	1122	1402	
2401	2231	2241	2221	2331	2341	2321	2011	1011	1231	1241	1221	1131	1141	1121	1401	W3
2403	2233	2243	2223	2333	2343	2323	2013	1013	1233	1243	1223	1133	1143	1123	1403	

2403	2343	2323	2333	2243	2223	2233	2013	1013	1143	1123	1133	1243	1223	1233	1403	
2402	2342	2322	2332	2242	2222	2232	2012	1012	1142	1122	1132	1242	1222	1232	1402	W2
2401	2341	2321	2331	2241	2221	2231	2011	1011	1141	1121	1131	1241	1221	1231	1401	

2401	2221	2231	2241	2321	2331	2341	2011	1011	1221	1231	1241	1121	1131	1141	1401	
2403	2223	2233	2243	2323	2333	2343	2013	1013	1223	1233	1243	1123	1133	1143	1403	W1
2402	2222	2232	2242	2322	2332	2342	2012	1012	1222	1232	1242	1122	1132	1142	1402	

Legende: Faktoren A B C D

A: Prüffaktor - Anbausystem
- 1 = Futtterbau (viehreich), Abernten der Koppelprodukte und Aufwüchse an Leguminosengras
- 2 = Marktfrucht (vieharm), Koppelprodukte verbleiben auf dem Acker, Gründüngung der Leguminosengrasaufwüchse

B: Prüffaktor - Düngemittelart
- 0 = ohne Düngung
- 1 = Stallmist/Jauche
- 2 = Gülle
- 3 = Mulch
- 4 = N-Mineraldüngung

C: Prüffaktor - Düngungsintensität
- 0 = N-Mineraldüngung
- 1 = 0,0 DE/ha u. Jahr
- 2 = 0,5 DE/ha u. Jahr
- 3 = 1,0 DE/ha u. Jahr
- 4 = 2,0 DE/ha u. Jahr

D: Prüffaktor - vegetationsbegleitende Maßnahmen
- 1 = kleiner Reihenabstand der jeweiligen Kultur, oberflächliche Ausbringung von organischen Flüssigdüngern
- 2 = großer Reihenabstand der jeweiligen Kultur, oberflächliche Ausbringung von organischen Flüssigdüngern
- 3 = großer Reihenabstand der jeweiligen Kultur, Einarbeitung von organischen Flüssigdüngern

Abb. 3: Lageplan und Faktoren des Versuches am Standort Spröda

1012	1142	1132	1122	1242	1232	1222	1402	2402	2342	2332	2322	2142	2132	2122	2012	
1011	1141	1131	1121	1241	1231	1221	1401	2401	2341	2331	2321	2141	2131	2121	2011	W4
1013	1143	1133	1123	1243	1233	1223	1403	2403	2343	2333	2323	2143	2133	2123	2013	
1012	1132	1142	1122	1232	1242	1222	1402	2402	2332	2342	2322	2132	2142	2122	2012	
1011	1131	1141	1121	1231	1241	1221	1401	2401	2331	2341	2321	2131	2141	2121	2011	W3
1013	1133	1143	1123	1233	1243	1223	1403	2403	2333	2343	2323	2133	2143	2123	2013	
1012	1142	1122	1132	1242	1222	1232	1402	2402	2342	2322	2332	2142	2122	2132	2012	
1011	1141	1121	1131	1241	1221	1231	1401	2401	2341	2321	2331	2141	2121	2131	2011	W2
1013	1143	1123	1133	1243	1223	1233	1403	2403	2343	2323	2333	2143	2123	2133	2013	
1012	1122	1132	1142	1222	1232	1242	1402	2402	2322	2332	2342	2122	2132	2142	2012	
1011	1121	1131	1141	1221	1231	1241	1401	2401	2321	2331	2341	2121	2131	2141	2011	W1
1013	1123	1133	1143	1223	1233	1243	1403	2403	2323	2333	2343	2123	2133	2143	2013	

Legende: Faktoren A B C D

A: Prüffaktor - Anbausystem
- 1 = Futtterbau (viehreich), Abernten der Koppelprodukte und Aufwüchse an Leguminosengras
- 2 = Marktfrucht (vieharm), Koppelprodukte verbleiben auf dem Acker, Gründüngung der Leguminosengrasaufwüchse

B: Prüffaktor - Düngemittelart
- 0 = ohne Düngung
- 1 = Stallmist/Jauche
- 2 = Gülle
- 3 = Mulch
- 4 = N-Mineraldüngung

C: Prüffaktor - Düngungsintensität
- 0 = N-Mineraldüngung
- 1 = 0,0 DE/ha u. Jahr
- 2 = 0,5 DE/ha u. Jahr
- 3 = 1,0 DE/ha u. Jahr
- 4 = 2,0 DE/ha u. Jahr

D: Prüffaktor - vegetationsbegleitende Maßnahmen
- 1 = kleiner Reihenabstand der jeweiligen Kultur, oberflächliche Ausbringung von organischen Flüssigdüngern
- 2 = großer Reihenabstand der jeweiligen Kultur, oberflächliche Ausbringung von organischen Flüssigdüngern
- 3 = großer Reihenabstand der jeweiligen Kultur, Einarbeitung von organischen Flüssigdüngern

Abb. 4: Lageplan und Faktoren des Versuches am Standort Methau

3.4 Fruchtfolge

Die ursprünglich geplante geregelte Fruchtfolge musste aus versuchstechnischen Gründen mehrfach kurzfristig verändert werden. Die Kulturarten Leguminosenhauptfrucht (Kleegras, Luzernegras), Sommerweizen und Mais sowie Untersaaten und Zwischenfruchtanbau wurden in den Versuchen in nachfolgend genannter Reihenfolge angebaut (Tab. 2).

Tab. 2: Fruchtfolge an den Standorten Spröda und Methau

	Versuchsort Spröda	**Versuchsort Methau**
Jahr	Kulturart	Kulturart
1992	Wintergerste	Wintergerste
1993	viehreich: Kleegras vieharm: Hafer mit Kleegrasuntersaat	viehreich: Kleegras vieharm: Hafer mit Kleegrasuntersaat
1994	Kleegras	Kleegras
1995	Sommerweizen	Kleegras
1996	viehreich: Silomais vieharm: Körnermais	Kleegras
1997	Luzernegras	Sommerweizen
1998	Sommerweizen Winterzwischenfrucht: Wickroggen	viehreich: Silomais vieharm: Körnermais
1999	viehreich: Silomais vieharm: Körnermais	Sommerweizen

3.5 Düngung

Die in den Versuchen tatsächlich ausgebrachten Nährstoffmengen sind in den Tabellen 3 - 4 zusammengefasst worden. Es handelt sich um die auf den Boden applizierten Mengen. Die angegebenen Mengen weichen ggf. zwischenzeitlich von den in der jeweiligen Düngungsstufe vorgegebenen Angaben ab.

Tab. 3: Düngerarten und Düngungshöhe am Versuchsort Spröda (1 DE = 80 kg N/ha u. Jahr)

Dungin-tensität	organische Dünger								mineralische Dünger	
	Stallmist		Jauche		Gülle		Mulch		Kalkammonsalpeter	
	(kg N/ha)	(dt/ha)	(kg N/ha)	m³/ha	(kg N/ha)	(m³/ha)	(kg N/ha)	(dt/ha)	(kg N/ha)	(dt/ha)
1993 Kleegras										
BEFU									100 (viehreich) 50 (vieharm)	3,6 (viehreich) 1,8 (vieharm)
0,0 DE	0	0	-	-	0	0	-	-		
0,5 DE	41	100	-	-	43	10	-	-		
1,0 DE	82	200	-	-	86	20	-	-		
2,0 DE	124	300	-	-	129	30	-	-		
1994 Kleegras										
BEFU									-	-
0,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
0,5 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
2,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tab. 3: (Fortsetzung)

Dungin-tensität	organische Dünger								mineralische Dünger	
	Stallmist		Jauche		Gülle		Mulch		Kalkammonsalpeter	
	(kg N/ha)	(dt/ha)	(kg N/ha)	m³/ha	(kg N/ha)	(m³/ha)	(kg N/ha)	(dt/ha)	(kg N/ha)	(dt/ha)
1995 Sommerweizen										
BEFU									25 (vieh-reich) 25 (vieh-arm)	0,9 (vieh-reich) 0,9 (vieh-arm)
0,0 DE	-	-	0	0	0	0	0	0		
0,5 DE	-	-	20	10	40	10	41	66		
1,0 DE	-	-	40	20	80	20	82	133		
2,0 DE	60	150	80	35	140	35	164	267		
1996 Mais										
BEFU									120	4,4
0,0 DE	0	0	-	-	0	0	0	0		
0,5 DE	42	100	-	-	45	15	36	37		
1,0 DE	84	200	-	-	90	30	72	74		
2,0 DE	168	400	-	-	180	60	144	148		
1997 Luzernegras										
BEFU									-	-
0,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
0,5 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
2,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1998 Sommerweizen										
BEFU									- [1]	- [1]
0,0 DE	-	-	0	0	0	0	0	0		
0,5 DE	-	-	40	15	42	14	41	75		
1,0 DE	-	-	80	30	84	28	82	150		
2,0 DE	-	-	160	65	168	56	164	300		
1999 Mais										
BEFU									55 (vieh-reich) 25 (vieh-arm)	2 (vieh-reich) 0,9 (vieh-arm)
0,0 DE	-	-	0	0	0	0	0	0		
0,5 DE	-	-	38	15	41	15	40	55		
1,0 DE	-	-	76	30	82	30	81	111		
2,0 DE	-	-	152	60	164	60	161	222		

[1] N-Düngung wurde nicht durchgeführt

Tab. 4: Düngerarten und Düngungshöhe am Versuchsort Methau (1 DE = 80 kg N/ha u. Jahr)

Dungin-tensität	organische Dünger								mineralische Dünger	
	Stallmist		Jauche		Gülle		Mulch		Kalkammonsalpeter	
	(kg N/ha)	(dt/ha)	(kg N/ha)	(m^3/ha)	(kg N/ha)	(m^3/ha)	(kg N/ha)	(dt/ha)	(kg N/ha)	(dt/ha)
1993 Kleegras										
BEFU									135 (vieh-reich) 60 (vieh-arm)	4,9 (vieh-reich) 2,2 (vieh-arm)
0,0 DE	0	0	-	-	0	0	-	-		
0,5 DE	40	77	-	-	60	15	-	-		
1,0 DE	80	154	-	-	120	30	-	-		
2,0 DE	120	231	-	-	180	45	-	-		
1994 Kleegras										
BEFU									-	-
0,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
0,5 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
2,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1995 Kleegras										
BEFU									-	-
0,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
0,5 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
2,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1996 Kleegras										
BEFU									-	-
0,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
0,5 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
2,0 DE	-	-	-	-	-	-	-	-		
1997 Sommerweizen										
BEFU									120	4,4
0,0 DE	0	0	0	0	0	0	0	0		
0,5 DE	30	50	15	10	72	20	40	60		
1,0 DE	55	100	15	10	72	20	80	120		
2,0 DE	110	200	15	10	72	20	160	240		
1998 Mais										
BEFU									150	5,5
0,0 DE	0	0	0	0	0	0	0	0		
0,5 DE	30	50	29	20	40	10	40	70		
1,0 DE	55	100	50	40	75	20	80	140		
2,0 DE	110	200	110	80	150	40	160	280		

Tab. 4: (Fortsetzung)

1999 Sommerweizen										
BEFU									120	4,4
0,0 DE	0	0	0	0	0	0	0	0		
0,5 DE	30	50	15	10	40	10	40	55		
1,0 DE	55	100	15	10	75	20	80	110		
2,0 DE	110	200	15	10	150	40	160	220		

Die organischen Düngerarten entstammten konventioneller Tierhaltung aus der jeweiligen Region, in der Regel aus der Rinderhaltung. Als Mulch wurde Wegrandaufwuchs mit teilweise geringem Leguminosenanteil, sowie Kleegrasaufwuchs aus ebenfalls konventioneller Produktion verwendet.

Die Bemessung der mineralischen N-Düngung in Form von Kalkammonsalpeter (KAS) auf den konventionellen Vergleichsvarianten wurde unter Berücksichtigung der N_{min}-Frühjahrswerte und der anzubauenden Kulturart mit Hilfe des Programms BEFU (FÖRSTER et al., 1997) optimal für integrierte Anbauverfahren vorgenommen.

3.6 Vegetationsbegleitende Maßnahmen

Die als vegetationsbegleitende Maßnahmen titulierten drei Varianten untergliedern sich zum einen in der Art der Dungapplikation und zum anderen im Reihenabstand bei der Aussaat:

- Variante 1: 12,5 cm bzw. 37,5 cm Reihenabstand, oberflächliche Düngung;
- Variante 2: 25 cm bzw. 75,0 cm Reihenabstand, oberflächliche Düngung;
- Variante 3: 25 cm bzw. 75,0 cm Reihenabstand, Dungeinarbeitung.

Der kleine Reihenabstand von 37,5 cm wurde bei Mais mit oberflächlicher Dungausbringung im 6-8-Blatt-Stadium kombiniert. Als zwei weitere Stufen wurden große Reihenabstände von 75,0 cm mit oberflächlicher Dungausbringung (Schleppschlauch) und mit Dungeinarbeitung (Injektion) gewählt. Für den Anbau von Sommerweizen wurden für den kleinen Reihenabstand 12,5 cm und für die beiden Varianten mit großem Abstand 25 cm gewählt. Für die Art der Dungapplikation ist in gleicher Weise wie für den Maisanbau vorgegangen worden. Die Mulchapplikation erfolgte nur durch oberflächliche Ausbringung von Häckselgut. Die vegetationsbegleitenden Düngungsmaßnahmen erfolgten im Stadium Ende Schossen bis Ährenschieben des Weizens.

3.7 Versuchsdurchführung und Feldprobenahme

Die zeitliche Abfolge der Anbaumaßnahmen der Hauptversuchsperiode (1996 – 1999) kann der Tabelle 5 entnommen werden.

Tab. 5: Abfolge der acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen

Standort Spröda	
Versuchsjahr 1996	
Fruchtart:	Silo- und Körnermais (Magister, FAO 240)
Saatstärke:	14 Körner/m²
Reihenabstand:	42 cm oder 75 cm
Ablageabstand:	17 cm oder 10 cm
Aussaattermin:	17.05.1996
Vorfrucht:	Sommerweizen
Nachfrucht:	Kleegras
Bodenbearbeitung:	Frühjahrsfurche am 08.05.1996, Saatbettbereitung (Grubber, Egge) und Drillen am 17.05.1996
Pflege:	Vorauflauf-Striegeln am 20.05.1996, Maschinenhacke am 03.06.1996
Ernte:	22.11.1996
Düngung:	Stallmist, Gülle und Kalkammonsalpeter am 08.05.1996, Mulch am 07.06.1996
Versuchsjahr 1997	
Fruchtart:	Luzernegrasgemenge
Saatstärke:	Luzerne: 20 kg/ha Wiesenschwingel: 4 kg/ha Lieschgras: 4 kg/ha
Reihenabstand:	14,0 cm
Aussaattermin:	12.03.1997
Vorfrucht:	Mais
Nachfrucht:	Sommerweizen
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 19.12.1996, Saatbett (Grubber, Egge) am 10.03.1997
Pflege:	Striegeln; Schröpfschnitte am 11.06.1997 und 04.09.1997
Düngung:	legume Stickstofffixierung, keine Düngergaben
Versuchsjahr 1998	
Fruchtart:	Sommerweizen (Nandu)
Saatstärke:	400 Körner/m²
Reihenabstand:	12,5 cm oder 25 cm
Aussaattermin:	01.04.1998
Vorfrucht:	Luzernegras
Nachfrucht:	Mais
Bodenbearbeitung:	Frühjahrsfurche am 10.03.1998, Grubber, Egge am 01.04.1998
Pflege:	Vorauflauf-Striegeln am 01.04.1998; Nachauflauf-Striegeln am 05.05.und am 08.05.1998
Ernte:	03.08.1998
Düngung:	Mulch am 05.06.1998, Gülle am 08.06.1998, Jauche am 09.06.1998

Tab 5: (Fortsetzung)

Zwischenfrucht:	am 03.09.1998 Versuchsfläche geschält, Zwischenfruchtgemenge Winterwicke und Roggen gesät: Winterwicke 36 kg/ha Roggen 60 kg/ha
Standort Spröda	
Versuchsjahr 1999	
Fruchtart:	Silo- und Körnermais (Monitor, FAO S 220)
Saatstärke:	14 Körner/m²
Reihenabstand:	37,5 cm bzw. 75 cm
Aussaattermin:	10.05.1999
Vorfrucht:	Sommerweizen, Zwischenfruchtgemenge Wickroggen
Nachfrucht:	Kleegras
Bodenbearbeitung:	Schälpflug und Zwischenfrucht am 03.09.1998, Frühjahrsfurche am 12.04.1999, Grubber, Eggen, Drillen am 10.05.1999
Pflege:	Striegeln vor der Saat am 03.05.1999, Vorauflauf-Striegeln am 17.05.1999, Nachauflauf-Striegeln am 25.05.1999, 1. Maschinenhacke am 02.06.1999, 2. Hacke am 09.06.1999
Ernte:	Silomais am 06.09.1999, Körnermais am 28.09.1999
Düngung:	Gülle am 14.06.1999, Jauche am 15.06.1999, Mulch am 15.06.1999, Kalkammonsalpeter am 16.06.1999
Standort Methau	
Versuchsjahr 1996	
Fruchtart:	Kleegras seit 1993
Saatstärke:	35 kg/ha
Reihenabstand:	12 cm
Aussaattermin:	22.04.1993
Vorfrucht:	Kleegras
Nachfrucht:	Kleegras
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 17.11.1992, Saatbettbereitung mit Kompaktor am 16.04.1993
Nutzung:	1. Schnitt am 05.06.1996 2. Schnitt am 07.08.1996 3. Schnitt am 12.11.1996
Versuchsjahr 1997	
Fruchtart:	Sommerweizen (Hanno)
Saatstärke:	500 Körner/m²
Reihenabstand:	12,5 cm oder 25 cm
Aussaattermin:	03.04.1997
Vorfrucht:	Kleegras
Nachfrucht:	Mais
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 22.11.1996, Saatbett (Kreiselegge, Kompaktor) am 01. - 02.04.1997
Pflege:	Nachauflauf-Striegeln 16.05.1997
Ernte:	18.08.1997
Düngung:	Stallmist am 21.11.1996, Kalkammonsalpeter am 28.04.1997, Gülle am 21.05.1997, Jauche am 22.05.1997, Mulch am 26.05.1997

Tab. 5: (Fortsetzung)

Standort Methau	
Versuchsjahr 1998	
Fruchtart:	Silo- und Körnermais (Santiago, FAO S 240)
Saatstärke:	14 Körner/m²
Reihenabstand:	42 cm oder 75 cm
Ablageabstand:	10 cm
Aussaattermin:	24.04.1998
Vorfrucht:	Sommerweizen
Nachfrucht:	Sommerweizen
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 18.11.1997, Feingrubber am 24.03.1998, Saatbett mit Kompaktor am 23.04.1998
Pflege:	Nachauflauf-Striegeln am 06.05.und am 27.05.1998
Ernte:	29.09.1998
Düngung:	Stallmist am 12.11.1997, Gülle und Kalkammonsalpeter am 23.04.1998, Jauche und Mulch am 29.05.1998
Versuchsjahr 1999	
Fruchtart:	Sommerweizen (Bolero)
Saatstärke:	500 Körner/m²
Reihenabstand:	12,5 cm oder 25 cm
Aussaattermin:	18.03.1999
Vorfrucht:	Mais
Nachfrucht:	Kleegras
Bodenbearbeitung:	Herbstfurche am 30.11.1998, Saatbett (Feingrubber) am 15. und 18.03.1999
Pflege:	Nachauflauf-Striegeln am 16.04.1999
Ernte:	23.08.1999
Düngung:	Stallmist am 12.11.1999, Kalkammonsalpeter, Gülle, Jauche und Mulch am 10.05.1999

Aufgrund verwaltungstechnischer Probleme konnte die Hauptversuchsphase erst im Laufe der Vegetation des Jahres 1996 begonnen werden. Infolge der fortschreitenden Dauerversuche hatten diese Verzögerungen stark negative Auswirkungen auf das geplante Versuchsprogramm. So mussten z.B. die Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten kurzfristig umgestellt werden. In einigen Fällen konnten laut Versuchsplan vorgesehene Untersuchungen nicht durchgeführt werden (N_{min}, Erträge von Kleegras, Stroh). In den Fällen, in denen z.B. Stroherträge und –inhaltsstoffe fehlten, wurden zu Auswertungs- und Vergleichszwecken durchschnittliche Tabellenwerte zugrunde gelegt.

In Spröda wurde im Jahr 1996 im Mais eine Untersaat eingesät (Weißklee 5 kg/ha, Knaulgras 10 kg/ha), die sich aufgrund der Trockenheit und der Wasserkonkurrenz mit dem Mais nicht

etablieren konnte. Der vierte Prüffaktor (vegetationsbegleitende Maßnahmen) wurde in anderer Reihenfolge angelegt als vorgeschrieben, was bei der späteren Auswertung berücksichtigt wurde: Variante 1: 75,0 cm Reihenabstand, Dung- und Mulcheinarbeitung, Variante 2: 75,0 cm Reihenabstand, oberflächliche Düngung, Variante 3: 37,5 cm Reihenabstand, oberflächliche Düngung. Aufgrund technischer Probleme mit dem kleinen Reihenabstand wurde in den Jahren 1996 und 1999 die angestrebte Anzahl von 14 Maispflanzen/m² nicht erreicht.

Aufgrund der erwähnten Zeitverschiebung wurde am Standort Spröda im Jahr 1997 ein Leguminosengemenge in die Fruchtfolge eingeschoben (Luzernegras). Es kam ebenfalls aufgrund der Trockenheit zu einem mangelnden Luzernegrasaufwuchs. Am 11.06.1997 und am 04.09.1997 wurden zwei Schröpfschnitte durchgeführt. Es kam zu keinem nennenswerten Aufwuchs an Luzernegras.

Am Versuchsort Methau stand im Jahr 1996 noch ein mehrjähriges Kleegrasgemisch, welches entsprechend der Versuchsplanung umgebrochen werden sollte. Durch die beschriebenen versuchstechnischen Probleme wurde der Anbau des Kleegrasgemisches um ein weiteres Jahr verlängert. Der Aufwuchs war im 3. Jahr sehr schwach und der Bestand wurde im Herbst 1996 umgebrochen, um die Fläche für den folgenden Sommerweizen termingerecht zu räumen und bearbeitungstechnisch fertig zu stellen (Herbstfurche, Saatbettbereitung). Im Jahr 1997 erfolgte auf den Varianten mit Gülledüngung keine laut Versuchsplan vorgegebene Abstufung der Düngung. Im Jahr 1998 wurde in der vierten Wiederholung statt Santiago die Maissorte Atarik ausgesät.

3.8 Methoden der Bodenuntersuchung

N_{min}

Mit Hilfe der N_{min}-Methode wurde der NO_3-N- und NH_4-N-Gehalt ermittelt. Die Extraktion erfolgte mit schwachen Salzlösungen ($CaCl_2$) (VDLUFA-Methodenbuch Bd. 1, Teil A, Abschnitt 6.1.4.1., HOFFMANN, 1991). Die Endbestimmung beider Parameter wurde mit dem Segmental Flow Analysis System (SFAS, Skalar-Methodenblätter) photometrisch durchgeführt.

Der extrahierbare Stickstoff ist in der Regel in den Abstufungen 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm Bodentiefe untersucht worden. Tiefenbohrungen (Rammkernsonde, 6 cm Durch-

messer) sind im Spätherbst des Jahres 2000 am Ort Spröda von 0 – 2 m und am Ort Methau von 0 – 3,5 m Bodentiefe in den Abstufungen 0 – 30, 30 – 60, 60 – 90, 90 – 150 cm Tiefe und darunter in 50 cm-Schritten durchgeführt worden.

Gesamt-Stickstoff (N_t)

Nach dem Kjeldahl-Verfahren werden durch Destillation die aus den N-Verbindungen entstandenen Ammoniumionen als Ammoniak nach Zugabe einer starken Lauge in eine Vorlage aus Borsäure überführt und maßanalytisch bestimmt (VDLUFA-Methodenbuch Bd. 1, Teil A, Abschnitt 2.2.1., HOFFMANN, 1991).

Gesamt-Kohlenstoff (C_t)

Der C_t-Gehalt im Boden wurde durch Elementaranalyse bestimmt.

pH-Wert

Der pH-Wert wurde nach VDLUFA-Methodenbuch bestimmt (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. 1, Abschnitt 5.1.1, HOFFMANN, 1991).

3.9 Düngemitteluntersuchungen

Stickstoff

Die Bestimmung erfolgte nach einem modifizierten Kjeldahl-Aufschluss. Dabei wird vor dem Aufschluss das Nitrat des Düngers mittels Phenolschwefelsäure in Nitrophenol überführt und anschließend durch Zinkstaub in Aminophenol reduziert. Das nach dem Aufschluss vorliegende Ammonium wird wie üblich durch Wasserdampfdestillation isoliert und die N-Menge danach titrimetrisch ermittelt (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. II, Abschnitt 3.5.2.5, NIEDERMAIER, 1995).

Organische Substanz

Die Probe wird bei 105 °C getrocknet, im Muffelofen bei 550 °C verascht und der Glühverlust ermittelt.

3.10 Pflanzenuntersuchungen

Pflanzenfrischmasse (FM)

Durch Auswiegen der bei den Flächenschnitten geernteten Pflanzenproben wurde die Frischmasse als Gesamtertrag bzw. Ertragskomponente bestimmt. Der Anteil an Leguminosen und Nichtleguminosen wurde im Luzerne-Kleegras-Gemisch gesondert ermittelt.

Pflanzentrockenmasse (TM)

Die Pflanzenproben aus den Flächenschnitten wurden frisch eingewogen und bis zur Gewichtskonstanz bei 60 °C getrocknet und zurückgewogen.

Tausendkornmasse (TKM)

Es wurden je Probe 400 Körner gezählt und gewogen (g). Die Angaben beziehen sich auf 100 % TM.

Rohprotein (RP)

Der nach Kjeldahl-Verfahren ermittelte Stickstoffgehalt von Getreidekörnern wurde mit dem Faktor 5,7 multipliziert, für die anderen pflanzlichen Materialien wurde der Faktor 6,25 eingesetzt (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, Abschnitt 4.1.1, BUCHHOLZ, 1993).

Rohfaser

Die Probe wird, falls erforderlich, entfettet und nacheinander in siedender Schwefelsäure und mit siedender Kalilauge definierter Konzentrationen behandelt. Der Rückstand wird durch Filtration über ein gesintertes Glasfilter getrennt, gewaschen, getrocknet, gewogen und bei einer Temperatur von 475 - 500 °C verascht. Der Ascheverlust entspricht dem Rohfasergehalt der Probe (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, Abschnitt 6.1.1, BUCHHOLZ, 1993).

Stickstofffreie Extraktstoffe (NfE)

Die Bestimmung erfolgt rechnerisch nach der Gleichung: 100 – (Wasser + Rohprotein + Rohfett + Rohfaser) (Angaben in %) (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, Abschnitt 7, BUCHHOLZ, 1993).

Rohasche

Die Probe wird bei 550 °C verascht; der Rückstand wird gewogen (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, Abschnitt 8.1, BUCHHOLZ, 1993).

Rohfett

Die Probe wird mit Petrolether extrahiert, das Lösungsmittel wird abdestilliert, der Rückstand getrocknet und gewogen (VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, 2. Erg., Abschnitt 5.1.1, BUCHHOLZ, 1988).

Energie

Brutto-Energie:

Bestimmung des Brennwertes in kJ/kg Trockenmasse mit dem Bomben-Kaloriemeter nach der DIN 51 900.

Netto-Energie nach WEISSBACH:

- ME (MJ/kg TM) = (2,27 – (0,027*RA)) + (0,12*ELOS) + (0,0234*RP)
- NEL (MJ/kg TM) = (ME* (48,8103 – (0,49343*RA)) + (0,1486*ELOS) + (0,0289*RP))

ME = umsetzbare Energie; NEL = Netto-Energie-Laktation; RA = Rohasche; RP = Rohprotein; RF = Rohfaser; ELOS = Enzymlösliche organische Substanz.

Fallzahl

Die Fallzahl wurde nach dem ICC-Standard Nr. 107 bestimmt. Die Fallzahl wird über die Aktivität der stärkeabbauenden Enzyme (Amylasen) definiert.

Sedimentationswert

Der Sedimentationswert wurde nach dem ICC-Standard Nr. 118 bestimmt.

3.11 Bestimmung der biologischen Stickstofffixierung

^{15}N-Isotopen-Verdünnungsmethode

Die Bestimmung erfolgte nach der ^{15}N-Isotopenverdünnungsmethode mit künstlicher ^{15}N-Anreicherung des Boden-N-Pools und Verwendung einer Referenzpflanze (McAULIFFE et al., 1958). Es handelt sich dabei um eine allgemein anerkannte und zuverlässig arbeitende Methode (BERGERSEN, 1980; CHALK, 1985; RUSSOW et al., 1997).

Zur Bestimmung der N-Fixierung durch Luzerne auf den Parzellen mit Luzerne-Gras-Gemisch in Spröda wurde eine Fläche von 1 m² (Messfläche) zur Markierung des pflanzenverfügbaren N-Pools mit [^{15} N]Ammoniumnitrat mit einer ^{15}N-Häufigkeit von ca. 95 At.% mit 2,5 kg N/ha bei der Kontrollparzelle (ohne Düngung) und mit 5 kg N/ha bei den Stallmist- und Güllevarianten gleichmäßig gedüngt. Zu den vorgesehenen Terminen der Schnittnutzung im Jahre 1997 erfolgte eine Beprobung der Messflächen und die Separierung des Probegutes in Luzerne und Gras als nichtfixierende Referenzpflanze. Der N-Gehalt und die ^{15}N-Häufigkeit in den aufgearbeiteten Proben wurde mit einer Elementaranalysator-Massenspektrometer-Kopplung (RUSSOW & GÖTZ, 1998) bestimmt. Aus den gemessenen Werten ergibt sich der relative Anteil (NdfA) des fixierten Luftstickstoffs (N_A) am Gesamtpflanzen-N (N_t) (nach RUSSOW & FAUST, 1990):

$$NdfA = N_A/N_t = (1 - a'_f/a'_R)$$

a'_f - ^{15}N-Excess-Häufigkeit der Luzerne

a'_R - ^{15}N-Excess-Häufigkeit des Grases

a' - Excess-Häufigkeit = $A - a_0$

a_0 - Natürliche Häufigkeit = 0.366 At.%

Ertragsabhängige Berechnung

Die Stickstoffbindung durch Leguminosen wurde nach ALBERT et al. (1997) mit Hilfe folgender Gleichungen ermittelt:

$$NLG = NLG_O + NLG_U \quad (1)$$

$$NLG_O = E_{FM} * TMG * NG_{TM} * N_{SYM} \quad (2)$$

$$NLG_U = E_{FM} * TMG * TM_{EWR} * NG_{TM} * NG_{EWR} * N_{SYM} \quad (3)$$

NLG (kg N/ha)	= Symbiontische N-Fixierung der Leguminosen
NLG_O (kg N/ha)	= Symbiontische N-Fixierung im Ernteertrag der Leguminosen
NLG_U (kg N/ha)	= Symbiontische N-Fixierung in den EWR der Leguminosen
E_{FM} (dt/ha)	= Frischmasseertrag der Fruchtart
TMG (%)	= Trockenmassegehalt der Erntesubstanz
NG_{TM} (kg N/dt TM)	= N-Gehalt des Trockenmasseertrages
N_{SYM}(%)	= Verhältnis der symbiontischen N-Fixierung zum N-Entzug der Leguminose; verwendeter Koeffizient für Kleegras auf Futterbau- und Marktfruchtflächen: 0,60
TM_{EWR}	= (EWR-TM (dt/ha)) / (TM-Ertrag (dt/ha)); verwendeter Koeffizient für Kleegras: 0,75
NG_{EWR}	= (N-Gehalt der EWR (kg N/dt TM)) / (N-Gehalt des TM-Ertrages (kg N/dt TM)); verwendeter Koeffizient für Kleegras: 0,70
EWR	= Ernte- und Wurzelrückstände

3.12 Methoden der Bilanzierung und Effizienzberechnung

3.12.1 Bilanzierungen mit dem PC-Programm REPRO

Das PC-Programm REPRO ist für die Analyse, Bewertung und Steuerung von Stoff- und Energieflüssen geeignet und beruht auf der Ermittlung von Humus-, Nährstoff- und Energiebilanzen (HÜLSBERGEN et al., 1999). Die N-Zufuhrquellen umfassen das Saatgut, symbiontische N-Fixierung, Stroh- und Gründüngung, organische Dünger und N-Immission; die N-Abfuhr umfasst das Erntegut und die Verkäufe. Der Saldo ergibt sich aus der Differenz der N-Zufuhr und der N-Abfuhr. Im Saldo sind die Denitrifikation, NH_3-Verluste und Nitratauswaschung enthalten; die Boden-N-Vorratsänderung aus der Humusbilanz kann in die N-Bilanz einbezogen werden. Als Datengrundlage der N-Bilanzierung können Erhebungswerte, berechnete Werte oder Schätzwerte dienen. Für die Berechnungen wurden die erhobenen Erträge und Nährstoffgehalte, teilweise als Tabellenwerte, verwendet.

3.12.2 Bilanzierungen aufgrund experimentell ermittelter Daten

In die N-Bilanzrechnung sind als N-Zufuhrquellen die Düngung (Stallmist, Jauche, Gülle, Mulch, Gründüngung, Stroh), symbiontische N-Fixierung im Ertrag, Ernte- und Wurzelrückständen (ALBERT et al., 1997) und die N-Immission eingegangen. Bei der eigenen Berechnung wurde von einem konstanten Bodenvorrat an Stickstoff ausgegangen, d.h. Mineralisation und Immobilisation sind als gleich groß angenommen worden. Die N-Abfuhr wurde aus den N-Entzugswerten der Ernteprodukte errechnet. Der N-Saldo wurde aus der Differenz der N-Zufuhr und der N-Abfuhr ermittelt.

3.12.3 Effizienzberechnungen

Zur genauen Einschätzung des Ressourcenverbrauchs und der Umweltverträglichkeit der untersuchten Varianten wurden nachfolgend definierte Kriterien der Effizienzrechnung erhoben.

Nährstoff- bzw. Ressourcen-Effizienz

$$\text{N-Entzugs-Effizienz (\%)} = \frac{\text{N-Entzug (kg N/ha)} \times 100}{\text{N-Zufuhr (kg/ha)}}$$

N-Zufuhr: N-Gesamtzufuhr (Düngung, Koppelprodukte, Gründüngung, Leguminosen-N, Immission)

$$\text{N-Aufnahme- bzw. N-Ertrags-Effizienz (\%)} = \frac{\text{N-Aufnahme bzw. N-Ertrag (kg N/ha)} \times 100}{\text{N-Zufuhr (kg/ha)}}$$

Weitere Kriterien:

N-Zufuhr:
- Düngung
- N_{min}-Menge im Frühjahr
- Gesamtzufuhr

$$\text{N-Verluste (kg N/ha) je N-Zufuhreinheit (100 kg N/ha)} = \frac{\text{N-Verluste (kg N/ha)} \times 100 \text{ kg N-Zufuhr}}{\text{N-Zufuhr (kg N/ha)}}$$

Effizienz je Produkteinheit

TM-Ertrag (dt/ha) je N-Ertragseinheit (100 kg N/ha) =

$$\frac{\text{TM-Ertrag (dt/ha)} \times 100 \text{ kg/ha N-Aufnahme}}{\text{N-Aufnahme (kg/ha)}}$$

Weitere Kriterien:

- N-Zufuhr (kg/ha) je N-Ertragseinheit
- N-Abfuhr (kg/ha) je N-Ertragseinheit
- N-Saldo (kg/ha) je N-Ertragseinheit
- N-Verwertung (%) je N-Ertragseinheit
- N_{min}-Werte im Herbst (kg/ha) je N-Ertragseinheit
- N_{min}-Werte im Frühjahr (kg/ha) je N-Ertragseinheit
- Differenz N_{min}-Werte zwischen Herbst und Frühjahr (kg N/ha) je N-Ertragseinheit
- N_2O-N (kg/ha) je N-Ertragseinheit
- NH_3-N (kg/ha) je N-Ertragseinheit

N-Ertrag (kg/ha) je TM-Ertragseinheit (100 dt/ha) =

$$\frac{\text{N-Aufnahme bzw. N-Ertrag (kg/ha)} \times 100 \text{ dt/ha TM-Ertrag}}{\text{TM-Ertrag (dt/ha)}}$$

Weitere Kriterien:

- N-Zufuhr (kg/ha) je TM-Ertragseinheit
- N-Entzug (kg/ha) je TM-Ertragseinheit
- N-Saldo (kg/ha) je TM-Ertragseinheit
- N-Verwertung (%) je TM-Ertragseinheit
- N_{min}-Werte im Herbst (kg N/ha) je TM-Ertragseinheit
- N_{min}-Werte im Frühjahr (kg N/ha) je TM-Ertragseinheit
- Differenz N_{min}-Werte zwischen Herbst und Frühjahr (kg N/ha) je TM-Ertragseinheit
- N_2O-N (kg/ha) je TM-Ertragseinheit
- NH_3-N (kg/ha) je TM-Ertragseinheit

Effizienz je Flächeneinheit

Für jedes flächenbezogene Merkmal (Zufuhr, Entzug, Saldo, Verwertung, N_{min}-Herbst, N_{min}-Frühjahr, N_{min}-Differenz Herbst/Frühjahr) wurden die Werte für die Düngungsintensität 2,0 DE/ha jeweils mit 100 % bewertet. Die Merkmalswerte der anderen Intensitätsstufen wurden hierzu in Relation gesetzt.

3.13 Biometrische Auswertung

Die varianzanalytische Auswertung der mehrfaktoriellen Spaltanlage erfolgte bei allen Pflanzen-Daten, die mit Wiederholungen erfasst wurden, mit Hilfe des Programmsystems EFDAS (Evaluation of Field Experiment Data and Series of Experiments, Version 3.0). Dabei wurden die Daten der beiden Standorte und der viehreichen und vieharmen Systeme aus programmtechnischen Gründen getrennt verrechnet (Tukey-Test für alpha $\leq 0{,}05$). Verschiedene Buchstaben bezeichnen Signifikanzunterschiede.

Aufgrund des hohen Variantenumfangs wurden bei vielen Merkmalen lediglich Mischproben der vier Wiederholungen untersucht. Eine statistische Verrechnung fand in diesen Fällen nicht statt. Die Werte der Merkmale werden als Mittelwerte der jeweiligen Faktoren dokumentiert.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Ertrags- und Qualitätsanalyse von Weizen und Mais

4.1.1 Versuchsort Spröda

Sommerweizenerträge

Auf dem leichten Standort wurden im Anbaujahr 1995 im Futterbausystem durch die Stallmistdüngung und die N-Mineraldüngung die höchsten Kornerträge erzielt (Abb. 5). Infolge der insgesamt unterlassenen N-Mineraldüngung im Jahr 1995 ist der Sommerweizenertrag des Marktfruchtsystems stark reduziert worden.

Bedingt durch steigende Düngung waren im Anbausystem mit Futterbau entsprechende Ertragsabstufungen zu registrieren, im System mit Marktfrucht-Anbau war diese Tendenz undeutlicher ausgeprägt. Der Sommerweizenanbau erbrachte bei einer Bestandsführung mit 12 cm Reihenweite und oberflächlicher Düngemittelausbringung höhere Erträge als in Beständen mit doppelter Reihenweite und Düngemitteleinarbeitung. Noch geringer waren die Erträge aus Beständen mit doppelter Reihenweite und oberflächlicher Düngemittelausbringung (Abb. 5).

Im Anbaujahr 1998 waren im Futterbausystem die Erträge nach Stallmistdüngung höher als nach Gülledüngung, im Marktfruchtsystem waren zwischen Mulchdüngung und Gülledüngung keine Unterschiede in den Erträgen aufgetreten. Auf den Parzellen mit N-Mineraldüngung konnten wegen Fremdeinwirkung keine repräsentativen Erträge ermittelt werden. Die geringsten Erträge wiesen in diesem Jahr die Flächen der mulchgedüngten Varianten auf. Die Effekte einer steigenden Düngung waren in keinem der untersuchten Anbausysteme erkennbar.

Im Futterbau wiesen die Intensitätsstufen 0,5 DE/ha und 2,0 DE/ha gleichermaßen hohe Erträge auf. Sie lagen etwas über den anderen untersuchten Intensitätsstufen. Im Gegensatz hierzu wurden im Marktfruchtsystem in der Standardvariante ohne Düngung deutlich höhere Erträge ermittelt. Bei Betrachtung der Vegetations-Maßnahmen wurden in beiden Anbaussystemen von den Parzellen mit doppelter Reihenbreite und damit kombinierter Dungeinarbeitung die höchsten Erträge bestimmt.

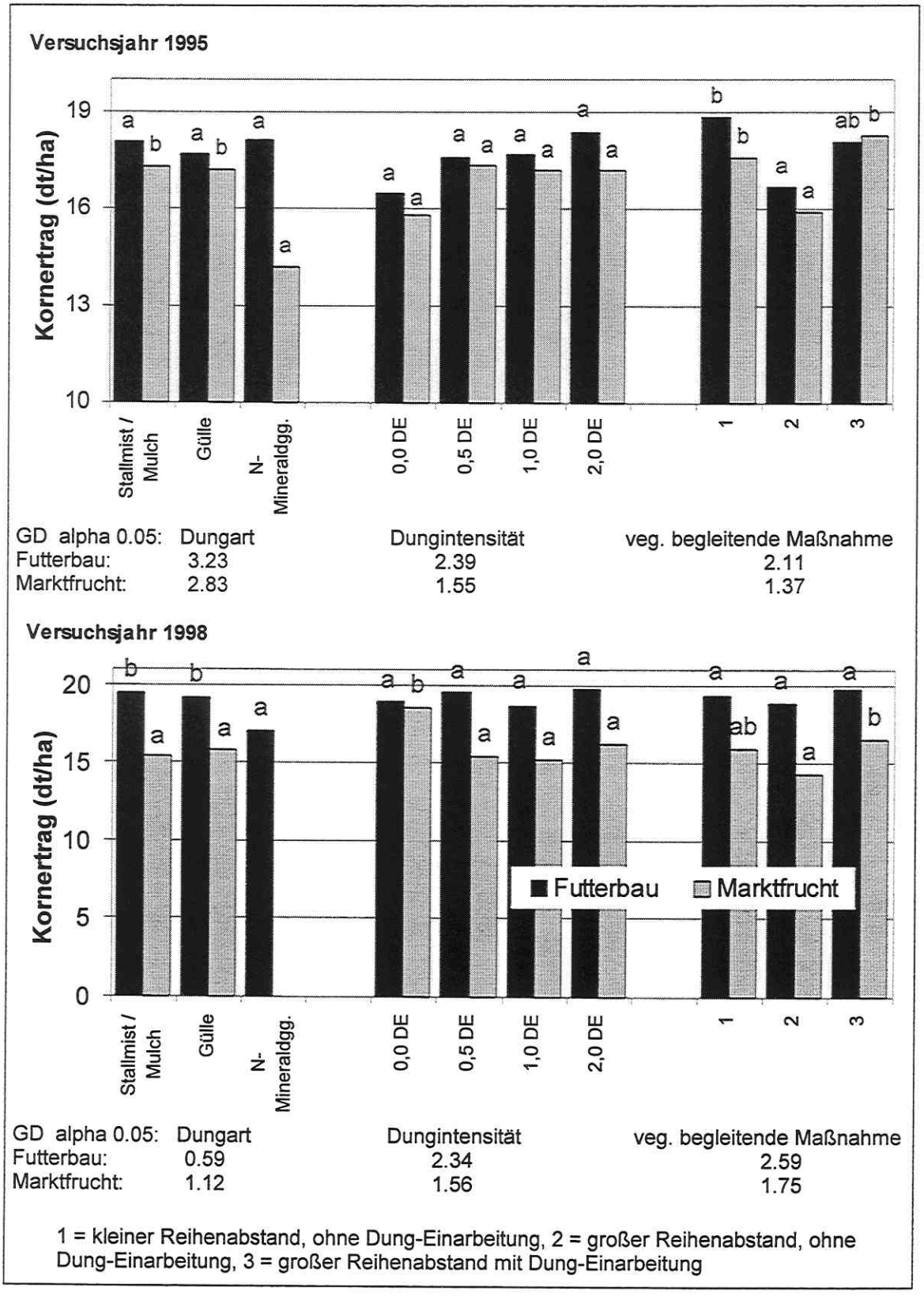


Abb. 5: Trockenmasseerträge von Sommerweizen der Versuchsjahre 1995 und 1998 am Standort Spröda in Abhängigkeit von Düngung und vegetationsbegleitender Maßnahme

Sowohl im Anbaujahr 1995 als auch im Jahr 1998 wiesen die Parzellen des Futterbausystems höhere Erträge auf als die Parzellen des Marktfruchtsystems (Abb. 6). Sie lagen im Durchschnitt ca. 2,0 dt/ha über denen des Marktfruchtsystems. Aufgrund langanhaltender Trockenheit in beiden Anbaujahren lagen die Erträge insgesamt auf sehr niedrigem Niveau. Durchschnittlich wurden nur 17,4 dt/ha Korn-Trockenmasse erreicht.

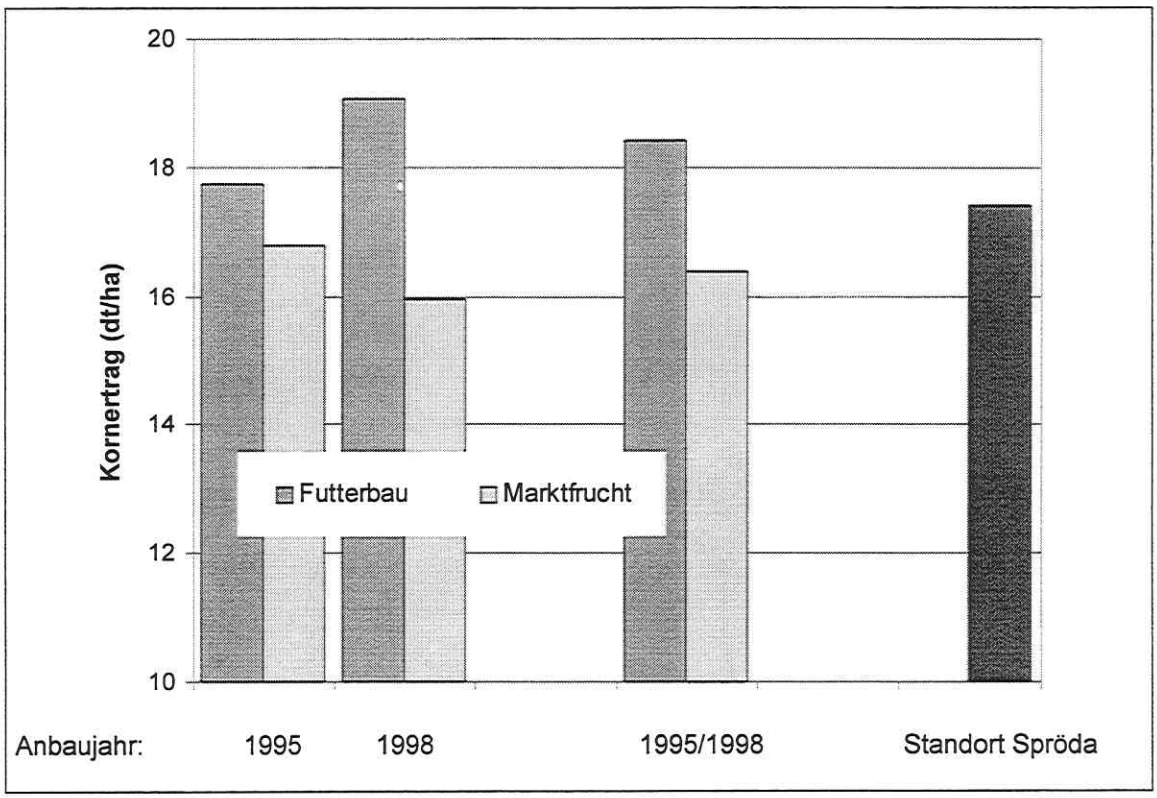


Abb. 6: Trockenmasseerträge von Sommerweizen im Futterbau- und Marktfruchtsystem im Durchschnitt der Jahre 1995 und 1998 (ohne N-Mineraldüngung) am Standort Spröda

Sommerweizenqualität

Im Anbaujahr 1995 wurden nur von einigen Varianten Inhaltsstoffe des Erntematerials untersucht. Im Vergleich zu den höheren Sommerweizenerträgen im Futterbausystem war im Durchschnitt eine geringere Qualität des Kornmaterials zu verzeichnen als auf den Flächen des Marktfruchtsystems (Tab. 6).

Tab. 6: Qualitätsmerkmale von Sommerweizen im Durchschnitt der Jahre 1995 und 1998 im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Standort Spröda

Anbau-system	Versuchsjahr 1995			Versuchsjahr 1998			
	TKM (g)	Roh-protein (%)	Brutto-Energie (kJ/kg)	TKM (g)	Roh-protein (%)	Sedimen-tationswert (cm^3)	Fallzahl (sec.)
Futterbau	25,6	14,3	17,1	37,9	15,4	64	316
Marktfrucht	-	15,5	17,2	38,0	15,1	62	305
Mittelwert	-	14,9	17,2	37,9	15,3	63	310

Ein Vergleich der beiden Anbausysteme macht deutlich, dass im Jahr 1998 im Tausendkorngewicht kein Unterschied festzustellen war. Im Futterbausystem waren etwas höhere Proteingehalte und ein etwas höherer Sedimentationswert sowie etwas geringere Fallzahlen festzustellen. Die Proteingehalte waren in beiden Anbaujahren verhältnismäßig hoch, was mit der großen Trockenheit und den damit verbundenen geringen Erträgen zusammenhängt (Tab. 6).

Im Anbaujahr 1998 waren sowohl im Futterbau- als auch im Marktfruchtsystem jeweils nach Gülledüngung etwas höhere Gehalte an Rohprotein festzustellen (Tab. 7). Durch eine steigende Düngung wurden ansteigende Werte der Merkmale Rohprotein und Sedimentationswert sowie abnehmende Werte in der Fallzahl vorgefunden. Auch das Kornmaterial von den Parzellen mit weitem Reihenabstand mit und ohne Dungeinarbeitung war durch geringfügig höhere Gehalte an Rohprotein und im Sedimentationswert gekennzeichnet.

Nach Untersuchungen von GRUEL (1999) erbringt ein weiter Reihenabstand bei einem geringen N-Angebot eine Qualitätssteigerung um 4 % Feuchtkleber bei gleichzeitigem Ertragsrückgang bei Winterweizen um 7 dt/ha.

Tab. 7: Qualitätsmerkmale im Futterbau- und Marktfruchtsystem von Sommerweizen des Jahres 1998 am Standort Spröda

Futterbau					Marktfrucht				
Variante	TKM	Roh-protein	Sedimenta-tionswert	Fallzahl	**Variante**	TKM	Roh-protein	Sedimenta-tionswert	Fallzahl
	(g)	(%)	(cm³)	(sec.)		(g)	(%)	(cm³)	(sec.)
Düngemittelart									
Stallmist	37,7	15,8	67	304	Mulch	38,4	14,7	63	302
Gülle	38,3	16,1	68	318	Gülle	38,0	16,4	69	305
Düngungsintensität									
0,0 DE	37,4	13,4	50	342	0,0 DE	37,0	13,3	48	310
1,0 DE	38,2	15,5	67	321	1,0 DE	37,8	15,0	64	304
2,0 DE	37,8	16,6	69	296	2,0 DE	38,7	16,0	68	303
Vegetationsbegleitende Maßnahmen									
1	38,2	15,2	63	317	1	38,0	15,0	61	292
2	37,6	16,0	69	322	2	-	-	-	-
3	37,7	15,6	65	313	3	37,9	15,2	64	317

1 = 12 cm Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = 24 cm Reihenabstand ohne Einarbeitung, 3 = 24 cm Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Körner- und Silo-Maisertrag

Im Anbaujahr 1996 waren im Futterbausystem im Vergleich zur Gülledüngung mit annähernd 65 dt/ha gleich hohe Trockenmasseerträge wie mit Stallmistdüngung und im Marktfruchtsystem mit mehr als 70 dt/ha höhere Erträge mit Mulchdüngung erzielt worden (Abb. 7). In beiden Anbausystemen hatte die Düngungssteigerung auch ansteigende Erträge zur Folge, wobei die Flächen ohne Düngung relativ hohe Erträge aufwiesen. Auf den Parzellen mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung wurden in beiden Anbausystemen höhere Erträge als auf den Flächen ohne Dungeinarbeitung erzielt.

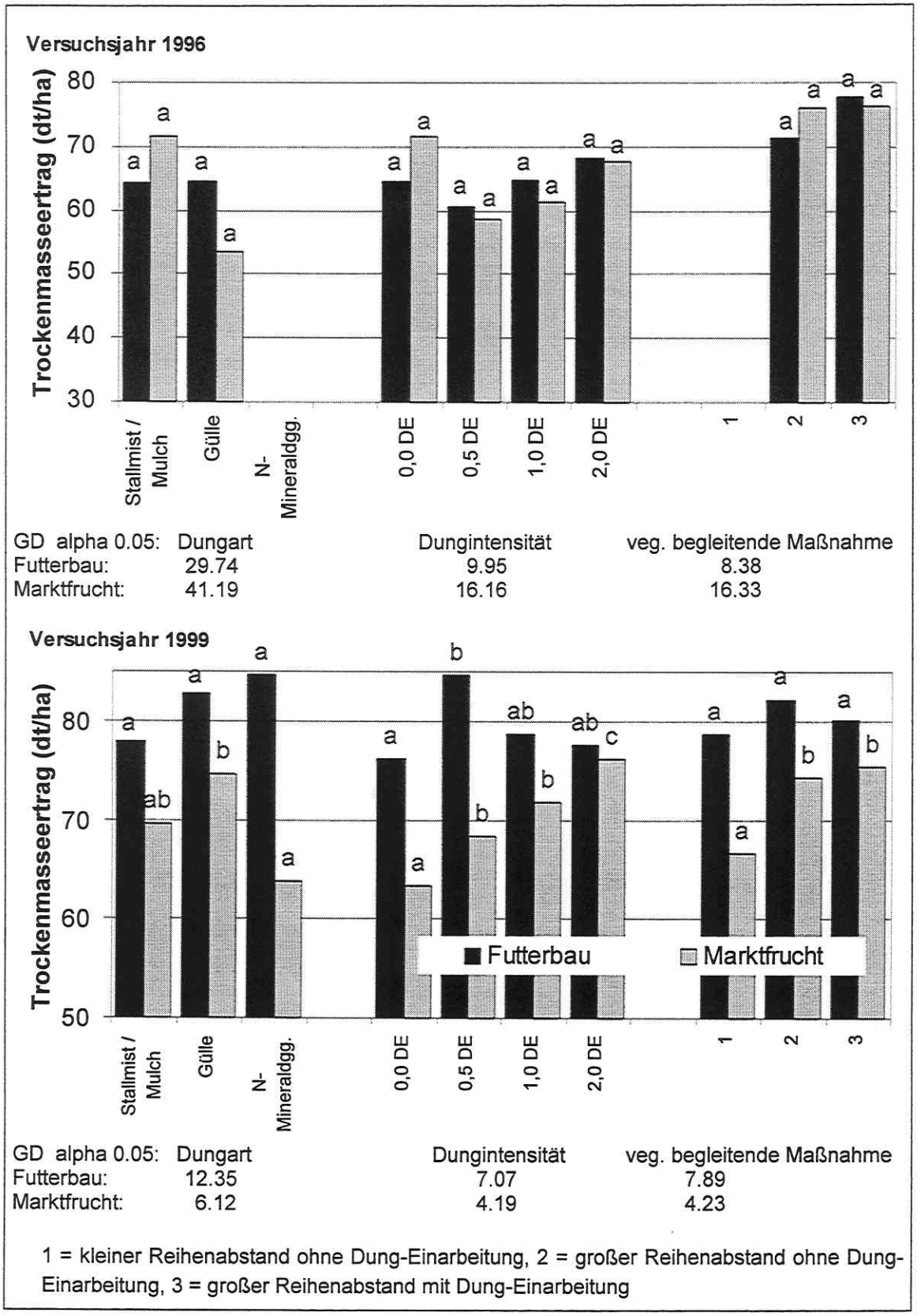


Abb. 7: Erträge von Mais (Futterbau: Ganzpflanze; Marktfrucht: Korn u. Restpflanze) der Jahre 1996 und 1999 am Standort Spröda in Abhängigkeit von Düngung und vegetationsbegleitenden Maßnahmen

Im Anbaujahr 1999 war festzustellen, dass die organische Düngung im Futterbausystem unter der Ertragswirkung der N-Mineraldüngung lag, im Marktfruchtsystem war ein genau entgegengesetztes Ergebnis zu sehen (Abb. 7). Die Flüssigdüngung in Form von Gülle war ertragswirksamer als die Stallmist- und Mulchdüngung. Im Futterbausystem war kein einheitlicher Effekt einer ansteigenden Düngung auf den Maisertrag zu erkennen. Im Marktfruchtsystem war nach steigender Düngung ein deutlich ansteigender Ertrag zu verzeichnen. Wie auch im Anbaujahr 1996 wurden auf den Flächen mit den großen Reihenabständen in beiden Anbausystemen höhere Erträge erzielt. Die Varianten mit Dungeinarbeitung wiesen im Durchschnitt wiederum einen kleinen Ertragsvorteil auf.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei Mais die Ganzpflanzenerträge des Futterbausystems generell höher waren als die Restpflanzen- und Körnererträge im Marktfruchtsystem (Abb. 8). Im Anbaujahr 1996 lagen die Erträge von Mais im Durchschnitt auf etwas niedrigerem Niveau als im Anbaujahr 1999. Auf dem leichten Boden in Spröda wurden im Durchschnitt etwa 70 dt/ha Mais geerntet. Der verhältnismäßig geringe durchschnittliche Ertrag ist eine Folge der großen Trockenheit.

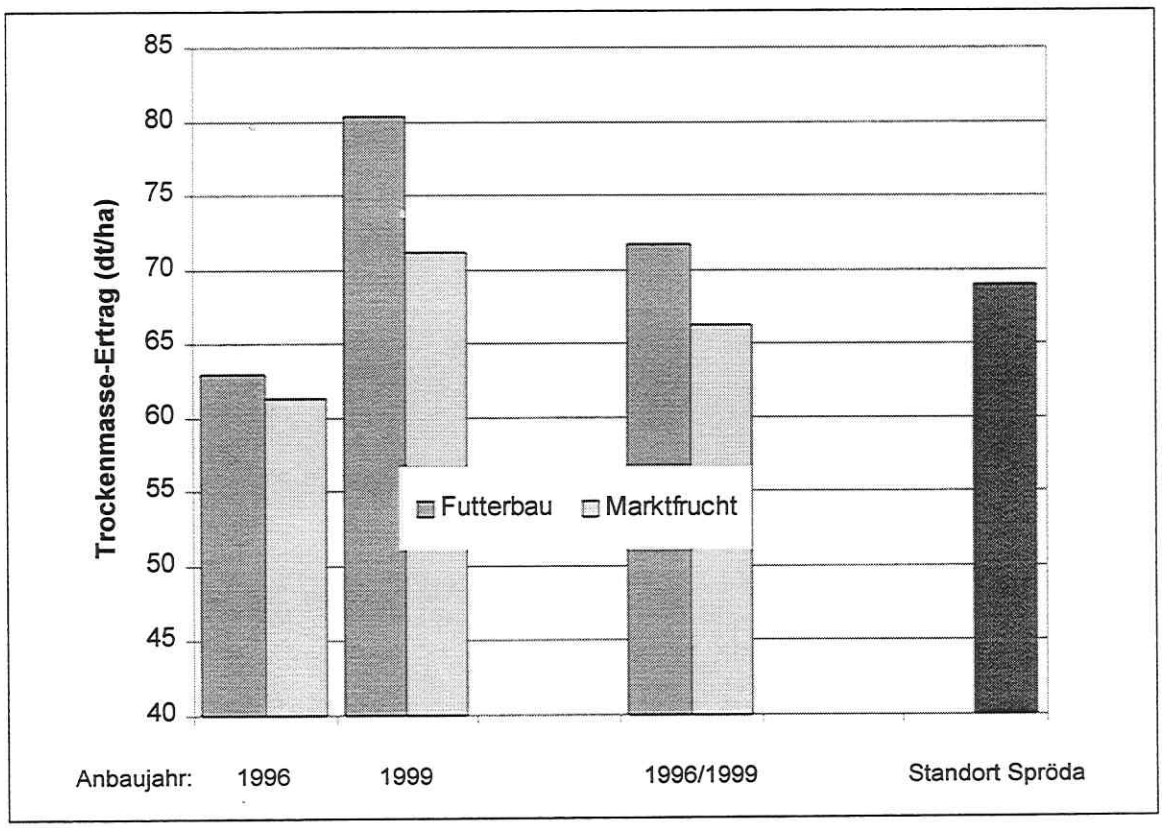


Abb. 8: Erträge von Mais (Futterbau: Ganzpflanze; Marktfrucht: Korn u. Restpflanze) im Durchschnitt der Jahre 1996 und 1999 am Standort Spröda

Körner- und Silomaisqualität

Im Anbaujahr 1996 lag der Gehalt an Trockenmasse (TM) der Silomaisernte des Futterbausystems nach Stallmistdüngung mit 26,5 % niedriger als der nach Gülledüngung mit 28,1 % (Tab. 8). Je höher die Düngung erfolgte, desto höher wurde der TM-Gehalt des Silomaises. Der weite Reihenabstand mit Dungeinarbeitung zog einen höheren TM-Gehalt nach sich als der halbierte Reihenabstand.

Eine steigende Düngung führte in beiden Anbausystemen zu ansteigenden Proteinwerten (RP) im Erntematerial. Im Futterbausystem wurden auf den Parzellen mit dem halbierten Reihenabstand mit Dungeinarbeitung im Vergleich zum weiten Reihenabstand etwa gleich hohe Proteingehalte gemessen. Im Marktfruchtsystem erreichten die Varianten mit weitem Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung den niedrigsten Proteingehalt (Tab. 8).

Tab. 8: Qualitätsmerkmale von Silo- und Körnermais im Jahr 1996 am Standort Spröda

Futterbau: Silomais					**Marktfrucht: Körnermais**			
Variante	Restpfl. u. Kolben TM	Restpfl. u. Kolben RP	Restpflanze Brutto-Energie	Kolben Brutto-Energie	**Variante**	TKM	Körner RP	Körner Brutto-Energie
	(%)	(%)	(kJ/kg)	(kJ/kg)		(g)	(%)	(kJ/kg)
Düngemittelart								
Stallmist	26,5	6,2	17,8	17,9	Mulch	217,4	8,5	18,6
Gülle	28,1	6,2	17,8	17,9	Gülle	203,9	7,5	18,6
Düngungshöhe								
0,0 DE	26,3	5,9	17,8	17,8	0,0 DE	204,5	7,8	18,5
0,5 DE	25,3	6,3	17,8	18,0	0,5 DE	213,2	7,8	18,6
1,0 DE	28,5	6,2	17,7	17,9	1,0 DE	209,4	7,9	18,6
2,0 DE	28,2	6,2	17,8	17,9	2,0 DE	209,4	8,3	18,6
Vegetationsbegleitende Maßnahmen								
1	25,6	6,1	17,8	17,8	1	203,0	8,3	18,5
2	27,9	6,5	17,8	18,0	2	209,2	7,7	18,6
3	28,5	6,0	17,8	18,0	3	219,8	7,9	18,6

1 = 37,5 cm Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = 75 cm Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = 75 cm Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Im Anbaujahr 1999 war der Gehalt an Trockenmasse (TM) des Silomaises nach der organischen Düngung höher als nach der N-Mineraldüngung (Tab. 9). Die ansteigende organische Düngung hatte in beiden Anbausystemen eine uneinheitliche Wirkung auf die TM-Gehalte zur Folge. Im Vergleich zu den weiten Reihenabständen wies das Erntematerial nach Anbau mit halbiertem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung die höchsten TM-Gehalte auf.

Tab. 9: Qualitätsmerkmale von Silo- und Körnermais im Jahr 1999 am Standort Spröda

Futterbau: Silomais/Ganzpflanzen				**Marktfrucht: Körnermais**				
Variante	TM	RP	NEL	**Variante**	TKM	TM	RP	NEL
	(%)	(%)	(MJ/kg)		(g)	(%)	(%)	(MJ/kg)
Düngemittelart								
Stallmist	36,1	6,1	4,93	Gülle	186,3	72,8	6,6	4,73
Gülle	36,2	6,3	4,92	Mulch	187,2	74,0	6,0	4,79
N-Mineral-düngung	35,8	7,6	4,99	N-Mineral-düngung	164,9	70,9	7,3	4,61
Düngungshöhe								
0,0 DE	36,8	5,7	4,94	0,0 DE	164,5	73,9	5,7	4,76
0,5 DE	36,3	5,9	4,91	0,5 DE	176,0	73,1	6,6	4,82
1,0 DE	35,7	6,2	4,94	1,0 DE	191,9	73,4	6,3	4,80
2,0 DE	36,5	6,4	4,94	2,0 DE	192,4	73,7	6,1	4,65
Vegetationsbegleitende Maßnahmen								
1	36,7	6,2	4,98	1	184,3	73,5	6,2	4,76
2	36,4	5,9	4,87	2	183,3			
3	35,3	6,4	4,93	3	183,1			

1 = 37,5 cm Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = 75 cm Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = 75 cm Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Hinsichtlich der geprüften Düngemittelarten hatte das Erntematerial nach N-Mineraldüngung die höchsten Proteingehalte (RP) aufzuweisen (Tab. 9). Im Futterbausystem zog die steigende Düngung zunehmende Proteinwerte nach sich, im Marktfruchtsystem war eine gegenläufige Tendenz zu verzeichnen. Der weite Reihenabstand mit Dungeinarbeitung hatte höhere Proteinwerte aufzuweisen als ohne Dungeinarbeitung. Zwischen den ermittelten Energiegehalten (NEL) der Varianten waren keine großen Unterschiede festzustellen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Silomais auf dem Sandboden in Spröda in beiden Anbaujahren die erforderliche Reife erreicht hatte, im Anbaujahr 1996 mit etwa 27 % und im Anbaujahr 1999 mit mehr als 35 % Trockenmasse, wobei über 30 % TM als günstiger einzustufen sind (Tab. 10). Die niedrigen Wassergehalte der Maiskörner im Marktfruchtsystem von ca. 53 % wiesen ebenfalls das erforderliche Reifestadium nach. Die Proteingehalte des Silomaises im Futterbausystem lagen im Anbaujahr 1996 unter denen der Maiskörner des Marktfruchtsystems. Im Futterbausystem war im Anbaujahr 1996 der Energiegehalt der Maiskolben niedriger als der Energiegehalt der Maiskörner des Marktfruchtsystems. Im Anbaujahr 1999 war der Energiegehalt des Silomaises höher als der Energiegehalt der Ganzpflanzen im Marktfruchtsystem. Die Erträge und die Qualität der Mais-Ernteprodukte haben unter den extremen klimatischen Bedingungen des Anbauortes Spröda stark gelitten.

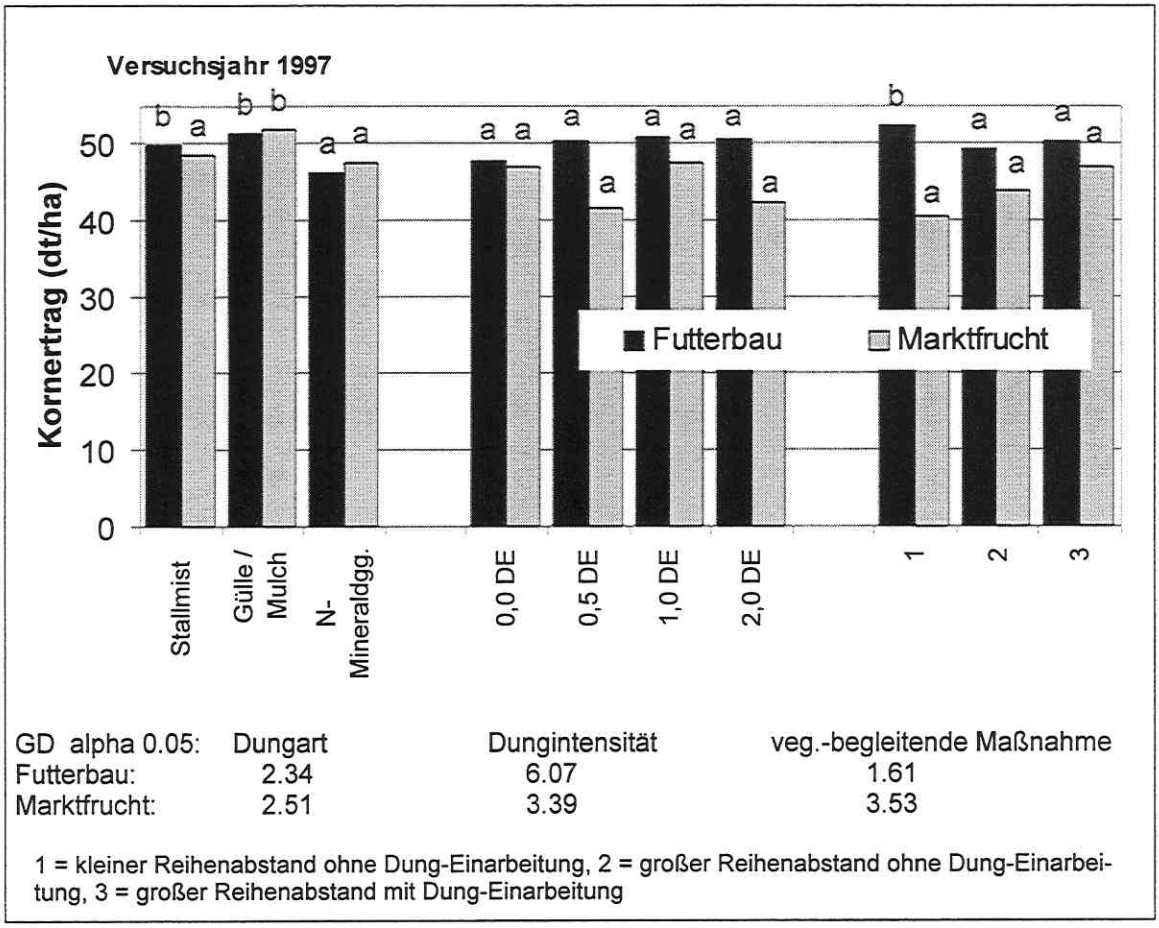
Tab. 10: Qualitätsmerkmale von Silo- und Körnermais im Durchschnitt der Jahre 1996 und 1999 und der Anbausysteme am Standort Spröda

Versuchsjahr 1996					
Anbausystem	TKM (g)	TM (%)	RP (%)	Restpflanze Brutto-Energie (kJ/kg)	Kolben Brutto-Energie (kJ/kg)
Futterbau	-	27,2	6,2	17,8	17,9
Marktfrucht (Körner)	210	52,8	7,9	-	18,6
Versuchsjahr 1999					
Anbausystem	TKM (g)	TM (%)	RP (%)	NEL (MJ/kg)	
Futterbau		36,2	6,3	4,9	
Marktfrucht (Körner)	181	73,2	6,3	4,7	

4.1.2 Versuchsort Methau

Sommerweizenertrag

Im Anbaujahr 1997 waren die Flächen mit Mulchdüngung in der Ertragswirkung zum Teil deutlich den Flächen mit Gülle- bzw. Stallmistdüngung überlegen (Abb. 9). Im Futterbausystem wurden durch einen steigenden Düngemitteleinsatz Ertragssteigerungen erzielt, während im Marktfruchtsystem bei den Dungstufen 0,5 und 2,0 DE/ha eine Ertragsdepression zu erkennen war. Im Futterbausystem waren die Erträge der Varianten mit kleinem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung höher als die Erträge der Varianten mit großem Reihenabstand ohne bzw. mit Dungeinarbeitung, im Marktfruchtsystem verhielt sich die Ertragsbildung entgegengesetzt (Abb. 9).

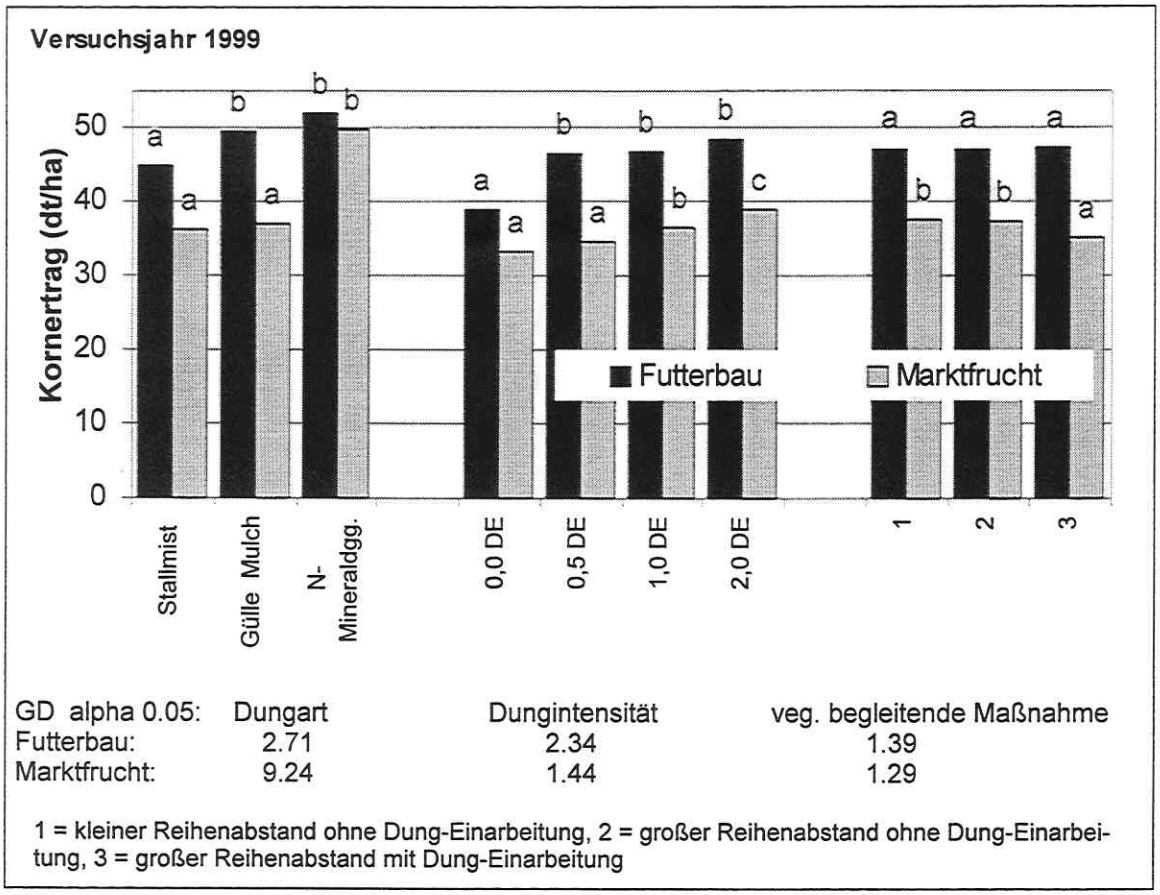


GD alpha 0.05:	Dungart	Dungintensität	veg.-begleitende Maßnahme
Futterbau:	2.34	6.07	1.61
Marktfrucht:	2.51	3.39	3.53

1 = kleiner Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = großer Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = großer Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Abb. 9: Trockenmasseerträge von Sommerweizen des Jahres 1997 am Standort Methau in Abhängigkeit von Düngung, Düngungsintensität und vegetationsbegleitenden Maßnahmen

Im Anbaujahr 1999 waren alle geprüften Varianten des Futterbausystems ertraglich denen des Marktfruchtsystems unterlegen (Abb. 10). Durch Gülle- bzw. Mulchdüngung wurden im Vergleich zur Stallmistdüngung höhere Erträge erzielt. Der höchste Kornertrag wurde nach N-Mineraldüngung erreicht. Auch in diesem Jahr wurden in beiden Systemen durch einen steigenden Düngemitteleinsatz Ertragssteigerungen erzielt. Im Futterbausystem waren die Erträge nach Anbau des Weizens mit großem Reihenabstand und Dungeinarbeitung höher als in den Varianten ohne Dungeinarbeitung. Im Marktfruchtsystem waren die Kornerträge mit herkömmlichem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung am höchsten.



GD alpha 0.05:	Dungart	Dungintensität	veg. begleitende Maßnahme
Futterbau:	2.71	2.34	1.39
Marktfrucht:	9.24	1.44	1.29

1 = kleiner Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = großer Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = großer Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Abb. 10: Trockenmasseerträge von Sommerweizen des Jahres 1999 am Standort Methau in Abhängigkeit von Düngung, Düngungsintensität und vegetationsbegleitenden Maßnahmen

Zusammenfassend dargestellt, erzeugte der schwere Boden in Methau im Durchschnitt einen Sommerweizenertrag von annähernd 45 dt/ha (Abb. 11). Das Futterbausystem war mit 48 dt/ha im Sommerweizenertrag dem Marktfruchtsystem mit annähernd 42 dt/ha überlegen. Beide Anbausysteme hielten das Niveau vom Anbaujahr 1997 nicht. Im Futterbausystem fielen die Erträge im 2. Anbaujahr um etwa 3 dt/ha und im Marktfruchtsystem um 8 dt/ha ab.

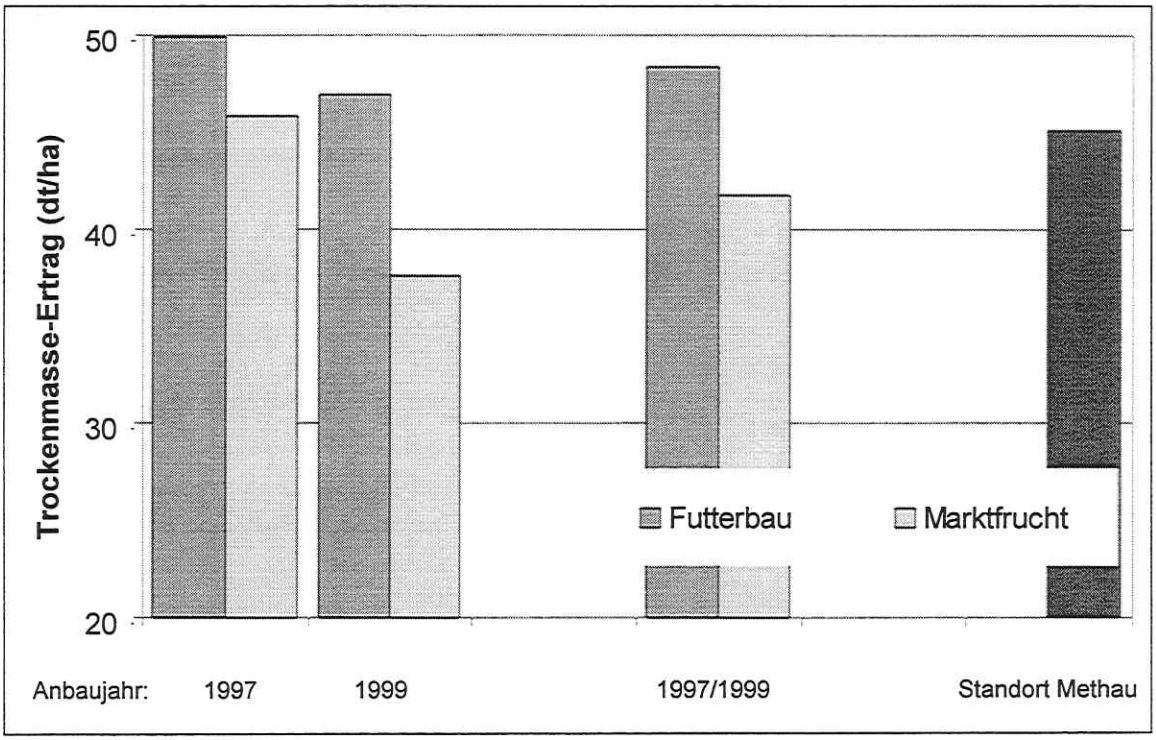


Abb. 11: Trockenmasseerträge von Sommerweizen im Durchschnitt der Jahre 1997 und 1999 am Standort Methau

Sommerweizenqualität

Ein Überblick über die qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe des Weizens kann aus den Tabellen 11 – 12 gewonnen werden. Am Versuchsort Methau waren im Anbaujahr 1997 keine Unterschiede zwischen den Varianten in der Tausendkornmasse (TKM) zu erkennen (Tab. 11). Die Varianten mit Mulchdüngung waren denen mit Stallmist- bzw. Gülledüngung bezüglich der Proteingehalte (RP) überlegen. Nach Untersuchungen von SCHULZ-MARQUARDT et al. (1995) kann je nach Menge und Zeitpunkt der Mulchgabe der Ertrag und der Proteingehalt positiv beeinflusst werden. Der Proteingehalt wurde in Abhängigkeit von der Mulchmenge um 0,8 – 2,0 % erhöht, eine spätere Mulchgabe führte zu einer nochmaligen Proteinerhöhung.

In beiden Anbausystemen hatten die Düngungssteigerungen einen positiven Effekt auf den Proteingehalt des Sommerweizens ausgeübt. Mit steigender Düngung nahmen die Gehalte an Rohprotein im Kornmaterial zu. Das Erntematerial der Flächen mit weitem Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung war in beiden Anbausystemen dem der Flächen mit engem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung bezüglich der Rohprotein- und der Sedimentationswerte überlegen (Tab. 11).

Tab. 11: Qualitätsmerkmale von Sommerweizen des Jahres 1997 im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Standort Methau

Futterbau					Marktfrucht				
Variante	TKM	RP	Sedimentationswert	Fallzahl	**Variante**	TKM	RP	Sedimentationswert	Fallzahl
	(g)	(%)	(cm^3)	(sec.)		(g)	(%)	(cm^3)	(sec.)
Düngemittelart									
Stallmist	37,1	9,5	27	401	Stallmist	37,3	9,2	26	369
Gülle	37,0	9,6	28	375	Mulch	37,1	10,0	29	370
Düngungsintensität									
0,0 DE	37,1	9,2	25	400	0,0 DE	37,6	9,0	22	363
1,0 DE	37,0	9,4	27	389	1,0 DE	37,0	9,4	26	370
2,0 DE	37,0	9,7	28	387	2,0 DE	37,4	9,7	28	370
Vegetationsbegleitende Maßnahmen									
1	36,9	9,4	26	395	1	37,2	9,4	25	360
2	37,2	-	27	386	2	37,3	9,6	27	377
3	37,0	9,6	27	390	3	37,2	9,5	26	368

1 = kleiner Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = großer Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = großer Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Nach Stallmistdüngung war in beiden Anbausystemen im Vergleich zur Gülle- bzw. Mulchdüngung der niedrigste Sedimentationswert festzustellen. Je höher die Düngung erfolgte, desto höher lagen die Sedimentationswerte in beiden Anbausystemen.

Im Futterbausystem waren die Fallzahlen im Kornmaterial nach Stallmistdüngung höher als nach Gülledüngung. Im Marktfruchtsystem waren zwischen Mulch- und Stallmistdüngung keine Unterschiede in der Fallzahl festzustellen. Eine steigende Düngung führte zu einer Absenkung der Fallzahlen des Sommerweizens auf den Futterbauflächen und zu einem Anstieg der Werte auf den Marktfruchtvarianten.

Im Anbaujahr 1999 war das Tausendkorngewicht (TKM) des Sommerweizens im Futterbausystem nach der Gülledüngung am höchsten (Tab. 12). Im Marktfruchtsystem zog die Stallmistdüngung das höchste Tausendkorngewicht nach sich. Nach Ergebnissen von RAUPP et al. (1994) erhöhte die Rottemistdüngung ebenfalls das Tausendkorngewicht bei Sommerweizen. Eine ansteigende Düngung hatte einen uneinheitlichen Effekt auf das Tausendkorngewicht des Sommerweizens in beiden Anbausystemen zur Folge. Im Futterbausystem wurde auf den Varianten mit doppeltem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung das höchste Tausendkorngewicht erzielt. Im Marktfruchtsystem war kein großer Unterschied zwischen den vegetationsbegleitenden Maßnahmen festzustellen.

Im Futterbausystem waren nach Anwendung verschiedener organischer Düngemittelarten kaum Unterschiede hinsichtlich der Proteingehalte (RP) der Körner festzustellen (Tab. 12). Im Marktfruchtsystem waren die Proteingehalte nach der Mulchdüngung etwas höher als nach Stallmistdüngung. Im Futterbausystem wurde nach der N-Mineraldüngung der höchste Proteingehalt gemessen. Eine ansteigende Düngung hatte keine große Wirkung auf die Gehalte an Rohprotein im Kornmaterial, wobei die Standardparzellen ohne Düngung insbesondere im Marktfruchtsystem relativ hohe Werte aufwiesen.

Tab. 12: Qualitätsmerkmale von Sommerweizen des Jahres 1999 im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Standort Methau

Futterbau					**Marktfrucht**				
Variante	TKM	RP	Sedimentationswert	Fallzahl	**Variante**	TKM	RP	Sedimentationswert	Fallzahl
	(g)	(%)	(cm^3)	(sec.)		(g)	(%)	(cm^3)	(sec.)
Düngemittelart									
Stallmist	42,8	10,3	20	354	Stallmist	43,4	9,9	17	344
Gülle	43,2	10,6	20	347	Mulch	42,8	10,4	18	347
N-Mineraldgg.	38,2	12,2	35	369	N-Mineraldgg.	39,7	9,9	36	343
Düngungsintensität									
0,0 DE	42,8	10,5	19	348	0,0 DE	43,5	12,3	16	343
0,5 DE	43,2	10,4	20	356	0,5 DE	43,4	10,1	18	338
1,0 DE	43,0	10,5	20	348	1,0 DE	42,8	10,2	17	351
2,0 DE	42,8	10,5	20	348	2,0 DE	43,1	10,2	18	349
Vegetationsbegleitende Maßnahmen									
1	42,8	10,4	20	346	1	43,2	10,5	17	344
2	43,4	10,4	20	347	2	43,0	10,4	17	341
3	42,8	10,6	20	357	3	43,2	10,6	18	351

1 = kleiner Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = großer Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = großer Reihenabstand, mit Dung-Einarbeitung

Der Sedimentationswert des Sommerweizens lag in beiden Anbausystemen in allen geprüften Varianten mit organischer Düngung auf gleich niedrigem Niveau zwischen 16 - 20 cm^3. Höhere Werte waren nur nach der N-Mineraldüngung mit über 35 cm^3 festzustellen.

Die Fallzahl des Kornmaterials war nach der Stallmistdüngung etwas höher als nach der Gülledüngung, im Marktfruchtsystem war zwischen den Dungarten kein nennenswerter Unterschied festzustellen. In beiden Anbausystemen hatte eine ansteigende Düngung einen uneinheitlichen Effekt auf die Fallzahl des Sommerweizens erzielt. Das Erntematerial von den Va-

rianten mit doppeltem Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung war durch die höchsten Fallzahlen gekennzeichnet.

Im Versuchsdurchschnitt waren kaum Unterschiede in den Qualitätsmerkmalen zwischen den beiden Anbausystemen am Ort Methau aufgetreten (Tab. 13).

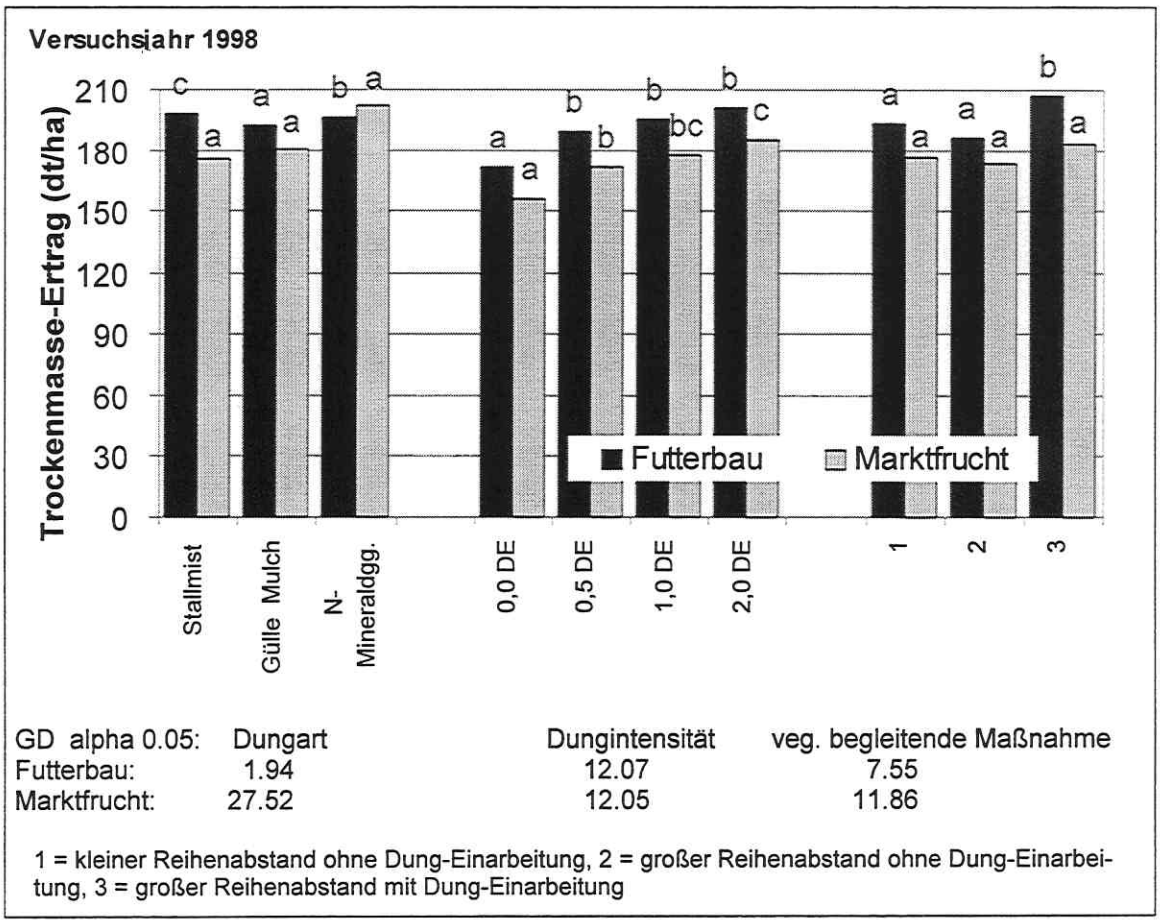
Tab. 13: Qualitätsmerkmale von Sommerweizen im Durchschnitt der Jahre 1997 und 1999 im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Standort Methau

Anbausystem	TKM	RP	Sedimentations-wert	Fallzahl
	(g)	(%)	(cm^3)	(sec.)
Futterbau	39,8	10,1	24	371
Marktfrucht	40,0	10,0	23	357
Mittelwerte	**39,9**	**10,0**	**23**	**364**

Lediglich die Fallzahlen waren im Kornmaterial des Marktfruchtsystems etwas niedriger als im Kornmaterial des Futterbausystems. Der Weizen vom Lößboden in Methau hatte im Vergleich zum Sandboden in Spröda in beiden Anbausystemen z. T. deutlich höhere Tausendkorngewichte und Fallzahlen sowie ebenso deutlich geringere Rohproteingehalte und Sedimentationswerte aufzuweisen. POMMER (1994) stellte fest, dass die besseren Standorte auch eine Tendenz zu besseren Qualitäten zeigten. Durch die eigenen Versuche konnten diese Ergebnisse nicht bestätigt werden, weil die extreme Witterung insbesondere durch Trockenheit am Standort Spröda einen größeren Einfluss ausgeübt hatte.

Maisertrag

Im Anbaujahr 1998 waren auf dem Lößboden in Methau die Maiserträge nach der Stallmistdüngung im Futterbausystem höher und im Marktfruchtsystem niedriger als nach der Gülle- bzw. Mulchdüngung (Abb. 12). Die Erträge nach N-Mineraldüngung lagen insgesamt auf höherem Niveau als nach Applikation organischer Düngemittel. In beiden Anbausystemen wurden als Folge einer ansteigenden Düngung die Erträge deutlich angehoben. Die Flächen mit normal großen Reihenabständen mit Dungeinarbeitung hatten in beiden Anbausystemen die höchsten Maiserträge erbracht. Die Flächen mit halbiertem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung wiesen Ertragsvorteile im Vergleich zu den Flächen mit großem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung auf. Auch bei MAIDL et al. (1999) führte eine sofortige Einarbeitung der Gülle zu höheren Trockenmasseerträgen und N-Entzügen bei Mais.



GD alpha 0.05:	Dungart	Dungintensität	veg. begleitende Maßnahme
Futterbau:	1.94	12.07	7.55
Marktfrucht:	27.52	12.05	11.86

1 = kleiner Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = großer Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = großer Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Abb. 12: Maiserträge (Futterbau: Ganzpflanze; Marktfrucht: Korn u. Restpflanze) des Jahres 1998 am Standort Methau in Abhängigkeit von Düngung, Düngungsintensität und vegetationsbegleitenden Maßnahmen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass am Standort Methau das Ertragsniveau des Futterbausystems höher lag als das des Marktfruchtsystems. Im Durchschnitt wurde auf dem schweren Boden in Methau ein Ertrag von etwas über 185 dt/ha Trockenmasse erreicht (Abb. 13).

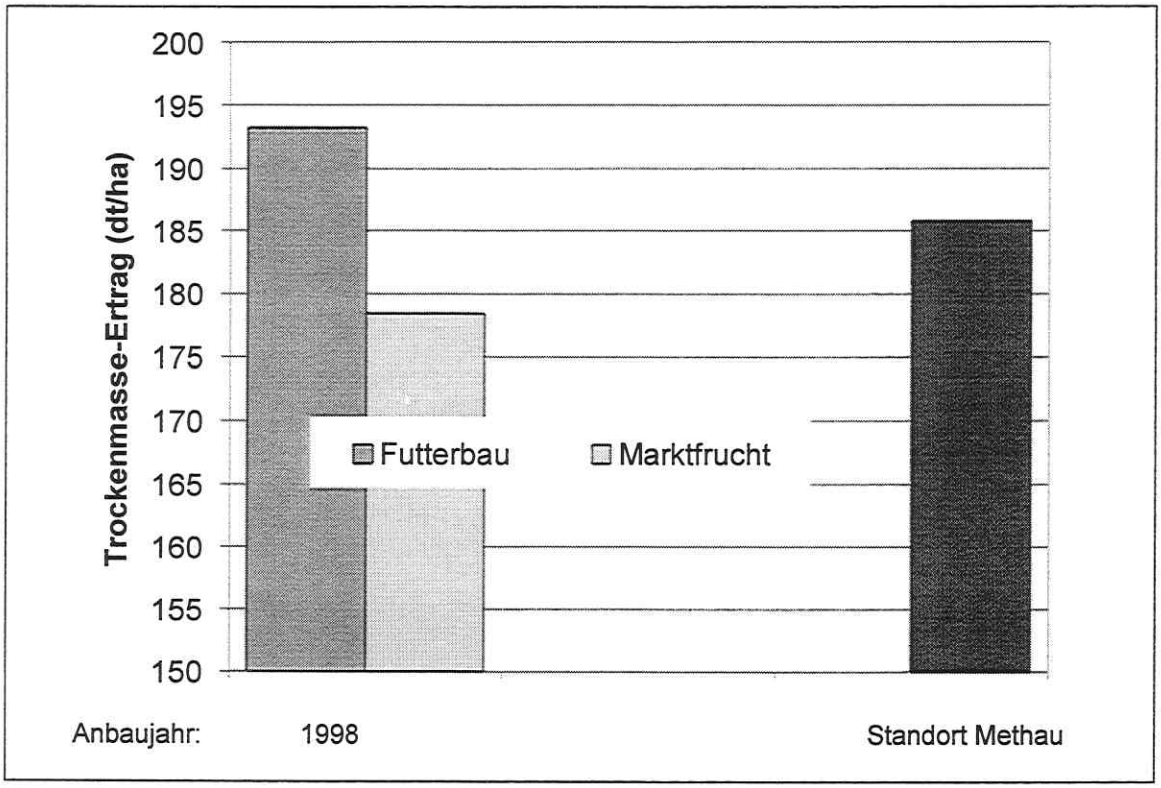


Abb. 13: Durchschnittliche Maiserträge (Futterbau: Ganzpflanze; Marktfrucht: Korn u. Restpflanze) am Standort Methau

An beiden Standorten zeichnete sich ab, dass im Marktfruchtsystem im Durchschnitt der Jahre in allen geprüften Varianten niedrigere Erträge erwirtschaftet worden sind. Das kann an der großen Menge organischen Materials mit einem relativ weiten C:N-Verhältnis in Form von Mais- und Getreidestroh gelegen haben, das sich über die Jahre akkumuliert hatte. Auf diesem Wege könnte Stickstoff festgelegt worden sein, so dass geringere Erträge im Vergleich zu Standorten mit leichter verfügbarem Stickstoff die Folge waren. Auf der anderen Seite sind ebenfalls erheblich höhere Mengen an Gründüngung mit relativ engem C:N-Verhältnis auf der Marktfruchtseite in den Boden gekommen als auf den Parzellen des Futterbaus.

Der positive Ertragseffekt der Gülledüngung bei Weizen könnte durch den leicht verfügbaren Anteil an Stickstoff im Vergleich zu dem schlechter verfügbaren Stickstoff bei den anderen Dungarten erklärt werden. Die Erträge der Marktfruchtvarianten auf dem Standort Methau waren nach Stallmistdüngung geringer als die der Stallmistvarianten der anderen Anbausysteme und des anderen Standortes. Die Marktfruchtvarianten zeigten nach steigender Düngung im Durchschnitt der Jahre keine deutliche Zunahme oder sogar eine Tendenz zu abnehmenden Erträgen, was allerdings auf dem Sandstandort in Spröda nicht so deutlich ausgeprägt war. Es war auf beiden Standorten zu erkennen, dass die Steigerung der Düngung von einer DE/ha auf

zwei DE/ha nur noch zu einem geringen Anstieg der Erträge geführt hat. Nach Zufuhr steigender Stallmistgaben zu Mais ist der Ertrag stärker angestiegen als nach Zufuhr steigender Güllegaben.

Auf beiden Standorten und in beiden Anbausystemen war der kleine Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung die Variante, die den geringsten Ertrag aufwies. Auf dem Standort in Methau war der große Reihenabstand mit Dungeinarbeitung als die Variante mit den höheren Erträgen anzusehen.

Maisqualität

Am Versuchsort Methau waren die Gehalte an Trockensubstanz nach der Gülledüngung im Futterbausystem am höchsten (Tab. 14). Zwischen den geprüften organischen Düngemitteln des Marktfruchtsystems bestand kein Unterschied in der Wirkung auf die TM-Gehalte der Maispflanzen. In beiden Anbausystemen wurden mit ansteigender Düngung sinkende TM-Gehalte zur Ernte festgestellt. Das Erntematerial von den Flächen mit weitem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung wies im Vergleich zu dem Material von den Flächen mit anderen vegetationsbegleitenden Maßnahmen einen etwas höheren TM-Gehalt auf.

Tab. 14: Qualitätsmerkmale von Silo- und Körnermais im Jahr 1998 am Standort Methau

Futterbau: Silomais				**Marktfrucht: Körnermais**			
Variante	TM (%)	RP (%)	NEL (MJ/kg)	**Variante**	TM (%)	RP (%)	NEL (MJ/kg)
Düngemittelart							
Stallmist	37,1	6,8	5,6	Stallmist	37,8	6,4	5,6
Gülle	38,6	7,0	5,7	Mulch	37,2	6,7	5,6
Düngungsintensität							
0,0 DE	41,6	6,5	5,8	0,0 DE	38,3	6,1	5,6
1,0 DE	37,9	6,9	5,7	1,0 DE	37,8	6,4	5,6
2,0 DE	37,7	6,9	5,6	2,0 DE	37,2	6,7	5,6
Vegetationsbegleitende Maßnahmen							
1	38,5	6,8	5,6	1	37,2	6,3	5,5
2	38,7	6,9	5,6	2	38,1	6,6	5,6
3	38,4	6,8	5,7	3	37,9	6,6	5,6

1 = kleiner Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 2 = großer Reihenabstand ohne Dung-Einarbeitung, 3 = großer Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung

Nach Stallmistdüngung wurden im Vergleich zur Gülle- bzw. Mulchdüngung die niedrigsten Proteingehalte (RP) in den Maispflanzen gemessen. In beiden Anbausystemen war ein Anstieg der Gehalte an Rohprotein durch die Dungsteigerung zu verzeichnen. Im Marktfruchtsystem wurden von den Varianten mit weitem Reihenabstand mit und ohne Einarbeitung etwas höhere Proteinwerte ermittelt als von den Flächen mit halbiertem Reihenabstand ohne Einarbeitung.

Zwischen den geprüften Düngemittelarten bestand kaum ein Unterschied in den Energiegehalten (NEL) des Erntematerials. Im Futterbausystem waren nach steigender Düngung etwas sinkende Energiegehalte, im Marktfruchtbau keine Unterschiede festzustellen. Im Futterbausystem waren die Energie-Gehalte des Materials von den Flächen mit weitem Reihenabstand mit Dung-Einarbeitung etwas höher als von den Flächen ohne Einarbeitung.

Im Durchschnitt der Versuche waren am Standort Methau im Futterbausystem die Gehalte an Trockensubstanz in den Maispflanzen etwas höher als im Marktfruchtsystem. Im Futterbausystem wurden ebenfalls im Durchschnitt höhere Gehalte an Rohprotein als im Marktfruchtsystem gemessen (Tab. 15).

Tab. 15: Qualitätsmerkmale von Silo- und Körnermais im Durchschnitt des Jahres 1998 am Standort Methau

Anbausystem	TM (%)	RP (%)	NEL (MJ/kg)
Futterbau	38,6	7,0	5,7
Marktfrucht	37,7	6,7	5,6

4.2 Erträge und N-Bindung durch Leguminosengrasbestände

Die N-Syntheseleistung von Leguminosenbeständen unterliegt hohen Schwankungen (Tab. 16).

Tab. 16: Literaturangaben über Sprossmasse (über Stoppel), Kleeanteil und Stickstoffgehalt von Kleegras im ersten Jahr nach Ansaat (keine wesentliche Düngung) (nach SCHMIDT, 1997)

Autoren	Nutzung	Spross-TM (dt/ha)	Kleeanteil (%)	N-Menge (kg/ha)
Hilbert & Leisen (1990)	Grünbrache bis Oktober	60-100	k.A.*	k.A.
Junge & Marschner (1991)	Grünbrache bis Oktober	80	k.A.	k.A.
Dreesmann (1993)	Grünbrache bis August	149/165	61/62	276/301
Mietkowski & Horst (1995)	Grünbrache bis Herbst	k.A.	k.A.	325
Stopes et al. (1996)	Grünbrache	52-150 ∅ 110	k.A.	150-408 ∅ 273
Boller & Nösberger (1987)	Schnittnutzung	119-173 ∅ 149	66-92 ∅ 76	362-475 ∅ 425
McNeill & Wood (1990)	Schnittnutzung bis Oktober	97	49	295
Besson et al. (1992)	Schnittnutzung	119-152	k.A.	k.A.
Hégh-Jensen & Kristensen (1995)	Schnittnutzung bis November	120	59	228
Hégh-Jensen & Schjérring (1994)	Schnittnutzung bis November	105	56	224

k.A = keine Angaben

Bei Leguminosen-Grasbeständen kann zudem erwartet werden, dass die N-Syntheseleistung bei regelmäßigem Abernten des Aufwuchses (System Futterbau) und regelmäßigem Belassen des Aufwuchses auf den Flächen durch Mulchung und Gründüngung (System Marktfrucht) deutliche Unterschiede aufweisen.

Nach Untersuchungen von LOGES et al. (2000) bestehen beträchtliche Unterschiede in der Syntheseleistung zwischen Futternutzung und Gründüngung (Tab. 17). Im Durchschnitt von den drei bei LOGES at al. geprüften Arten an Leguminosen-Gras-Beständen konnte eine Differenz von 137 kg N-Syntheseleistung je ha ermittelt werden. Diese Differenz war ähnlich hoch bzw. sogar etwas höher als die Differenz der N-Mengen, die zwischen den zwei angegebenen Nutzungsarten auf den Flächen verblieben ist (LOGES et al., 2000). Aus diesen Versuchen wird deutlich, dass die in den Beständen angebotene N_{min}-Menge offenbar eine enorm hohe ausgleichende Wirkung auf die N-Syntheseleistung der Leguminosen ausübt. Die Syntheseleistung der Leguminosenbestände der Marktfruchtflächen sind in den eigenen Versuchen nicht experimentell erfasst worden. Ein verlässliches Verfahren zur Berechnung der

Syntheseleistung für Mulch- und Gründüngungsbestände steht z.Z. nicht zur Verfügung. Daher ist die Syntheseleistung in den eigenen Versuchen für alle Nutzungsarten bzw. Systeme mit dem gleichen Faktor bestimmt worden (vgl. Kap. 3). Dieses ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten. Die für die Marktfruchtflächen ausgewiesenen Ergebnisse sind daher als Beträge anzusehen, die ermittelt worden wären, wenn eine Futternutzung vorgelegen hätte.

Tab. 17: Unterschiede zwischen Futter- und Gründüngungsnutzung auf Erträge, N-Fixierung sowie N-Mengen in verbleibenden Pflanzenresten von Leguminosen-Gras-Arten (nach LOGES et al., 2000)

Pflanzenarten	System	Erntefähige Frischmasse	Leguminosen-Anteil	N in verbl. Pflanzenresten	N-Fixierung
		(dt/ha)	(%)	(kg N/ha)	(kg N/ha)
Weißklee/Gras	Futternutzung	604	66,9	117,2	248,4
Weißklee/Gras	Gründüngung	363	47,9	296,2	208,8
Rotklee/Gras	Futternutzung	946	79,0	111,7	342,7
Rotklee/Gras	Gründüngung	925	66,5	219,9	154,2
Luzerne/Gras	Futternutzung	753	73,9	114,6	320,3
Luzerne/Gras	Gründüngung	857	71,3	199,0	136,2
Mittelwerte	Futternutzung	768	73,3	114,5	303,8
	Gründüngung	715	61,9	238,4	166,4
Mittlere Differenz		**-53**	**-11,4**	**+123,9**	**-137,4**

4.2.1 Versuchsort Spröda

Luzernegras, 1997/98

Am Beispiel des Luzernebestandes am Versuchsort Spröda des Jahres 1997 wurde die N-Fixierungsleistung ermittelt (Tab. 18). Es wurde eine höhere symbiontische N-Fixierung auf den Parzellen mit vorausgegangener Stallmist/Jauche-Düngung im Vergleich zu denen mit Gülledüngung festgestellt. Auch die Parzellen ohne organische Düngemittelzufuhr wiesen einen etwas höheren N-Fixierungsanteil auf als diejenigen nach Gülledüngung. Mit steigender Stallmistdüngung bestand eine Tendenz zu höheren Fixierungsleistungen.

Der Anteil der fixierten Stickstoffmenge am gesamten Leguminosenstickstoff beträgt nach SCHMIDT (1997) in etwa 82 %. Im Durchschnitt werden in den eigenen Untersuchungen etwas geringere Fixierungsleistungen gefunden. Die hohe Standardabweichung zur Zeit der ersten Schnittnutzung ist auf einen sehr heterogenen Luzerne-Grasbestand zurückzuführen.

Die Ursache dafür liegt u.a. in einer sehr stark ausgeprägten Frühjahrstrockenheit in den Monaten April, Mai und Juni des Jahres 1997.

Tab. 18: Symbiontische N-Fixierung (%) ausgewählter Varianten des Futterbausystems des Jahres 1997 am Standort Spröda (bestimmt mittels ^{15}N-Isotopen-Verdünnungsmethode)

Variante	Futterbau	Termin: 02.06.1997 N_{Luft} / N_{gesamt} (N_{gesamt} = 100 %)	SD	Termin: 5.09.1997 N_{Luft} / N_{gesamt} (N_{gesamt} = 100 %)	SD	Mittelwerte N_{Luft} / N_{gesamt} (N_{gesamt} = 100 %)
Standard	0,0 DE	64,3	11,2	86,6	3,8	75,5
Stallmist/Jauche	1,0 DE	62,6	8,0	90,3	2,7	76,5
Stallmist/Jauche	2,0 DE	68,8	2,1	89,5	3,7	79,2
Gülle	2,0 DE	45,1	18,3	84,5	2,3	64,8

N_{Luft} / N_{gesamt} = Anteil des Luftstickstoffs am Gesamtpflanzenstickstoff
SD = Standardabweichung

Die ungünstige Entwicklung des Luzernegrasbestandes und der damit verbundene äußerst geringe Ertrag im ersten Anbaujahr schränkt einen Vergleich mit Literaturangaben stark ein (siehe Tab. 16). Die Stickstoffzufuhr von Grünbrachen variiert auch bei SCHMIDT et al. (1999) infolge negativer Einflüsse auf die Biomasseentwicklung in einem weiten Bereich. Bei PIORR (1992) hinterließ ein zweijähriger Kleegrasbestand bis zu 200 kg N/ha und ein einjähriger Bestand bis zu 132 kg N/ha. Der schwache Luzerne-Grasbestand hinterlässt eine vergleichsweise geringe Menge an Kohlenstoffverbindungen im Boden. Daraus kann gefolgert werden, dass einer starken Nettomineralisierung im Herbst eine schwache Nettoimmobilisierung an Stickstoff gegenüber gestanden hat und damit die Gefahr von N-Verlusten angestiegen sein könnte (siehe SCHELLER et al., 1991).

Wickroggen, 1999

Mit einer Leguminosenzwischenfrucht können ca. 50 - 100 kg N/ha sowohl gebunden als auch konserviert werden (HESS et al., 1993; KÖNIG, 1995; WERNER & BRENK, 1996; KÖPKE, 1996). Der Wickroggen hat als Zwischenfrucht eine gute N-konservierende Eigenschaft.

Im vorliegenden Versuch war der im Wickroggen gebundene Stickstoff in den Varianten des Futterbausystems mit durchschnittlich 158 kg N/ha um ca. 38 kg N höher als der der Marktfruchtbau-Varianten (Abb. 14). Dieser Unterschied liegt in den relativ hohen Trockenmasseerträgen und Stickstoffgehalten der Zwischenfrucht begründet.

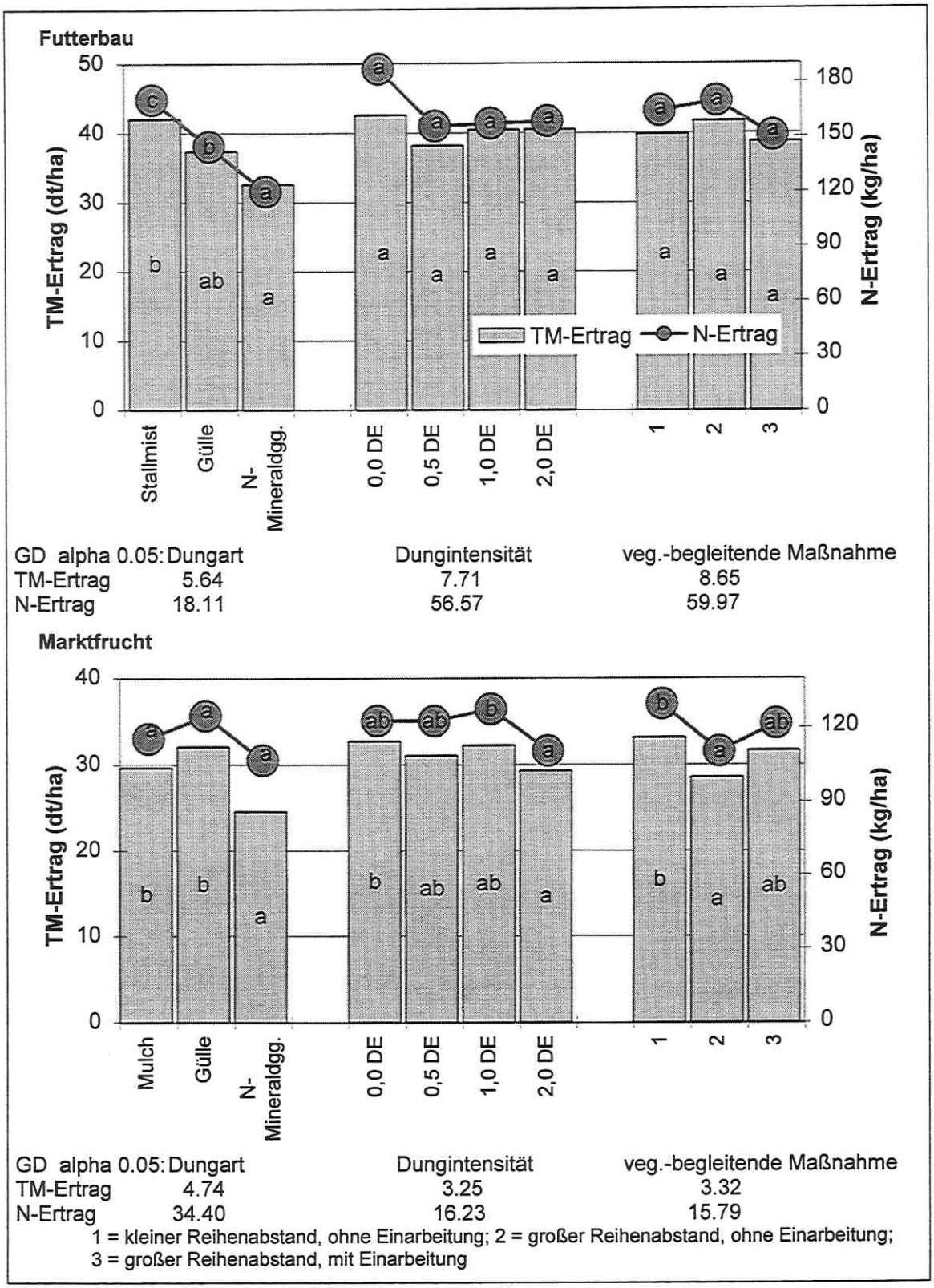


Abb. 14: TM-Ertrag und Stickstoffmenge der Zwischenfrucht Wickroggen des Anbaujahres 1999 am Standort Spröda (Schätzung der fixierten N-Menge nach ALBERT et al., 1997)

Nach Stallmist- und Mulchdüngung waren etwas höhere, nach N-Mineraldüngung geringere N-Erträge als nach Gülledüngung zu verzeichnen. Steigende Düngemittelanwendung hatte in der Tendenz sinkende TM-Erträge und damit verbunden eine abnehmende N-Fixierungsleistung zur Folge.

Zwischenfrüchte verringern die Menge an auswaschungsgefährdetem NO_3–N im September und Oktober im Vergleich zu Fruchtfolgen mit Bracheperioden (WALTHER & JÄGGLI, 1992). Im September 1998 waren die N_{min}-Werte der Futterbauflächen etwas geringer als die der Marktfruchtflächen, die Zwischenfruchterträge und die N-Fixierungsleistung veränderten sich in entgegengesetzter Richtung. Mit der N-Konservierung durch die Winterzwischenfrucht wurde die Gefahr einer N-Verlagerung weitgehend ausgeschlossen. Zudem schränkt ein Leguminosenumbruch im Frühjahr und ein Nachbau von Sommerweizen, Hackfrüchten oder von Mais den Zeitraum einer möglichen Stickstofffreisetzung während der Sickerwasserperiode stark ein (HESS, 1990; GRANSTEDT, 1992; POMMER, 1995). Auch die Ergebnisse von KÖNIG (1995) bestätigten, dass ein Frühjahrsumbruch als Gründüngung oder Schnittnutzung deutlich niedrigere Stickstoffausträge zur Folge hat.

4.2.2 Versuchsort Methau

Kleegras, 1996

Seit dem Jahr 1993 war am Versuchsort Methau Kleegras in Folge angebaut worden. Auf den Marktfruchtbauvarianten war der Aufwuchs seitdem zu den jeweiligen Schnittzeitpunkten gemulcht worden und auf der Fläche verblieben. Zwischen den beiden Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht haben hinsichtlich ihrer Trockenmasserträge und des in den Pflanzen enthaltenen Stickstoffs nur unwesentliche Unterschiede bestanden (Abb. 15).

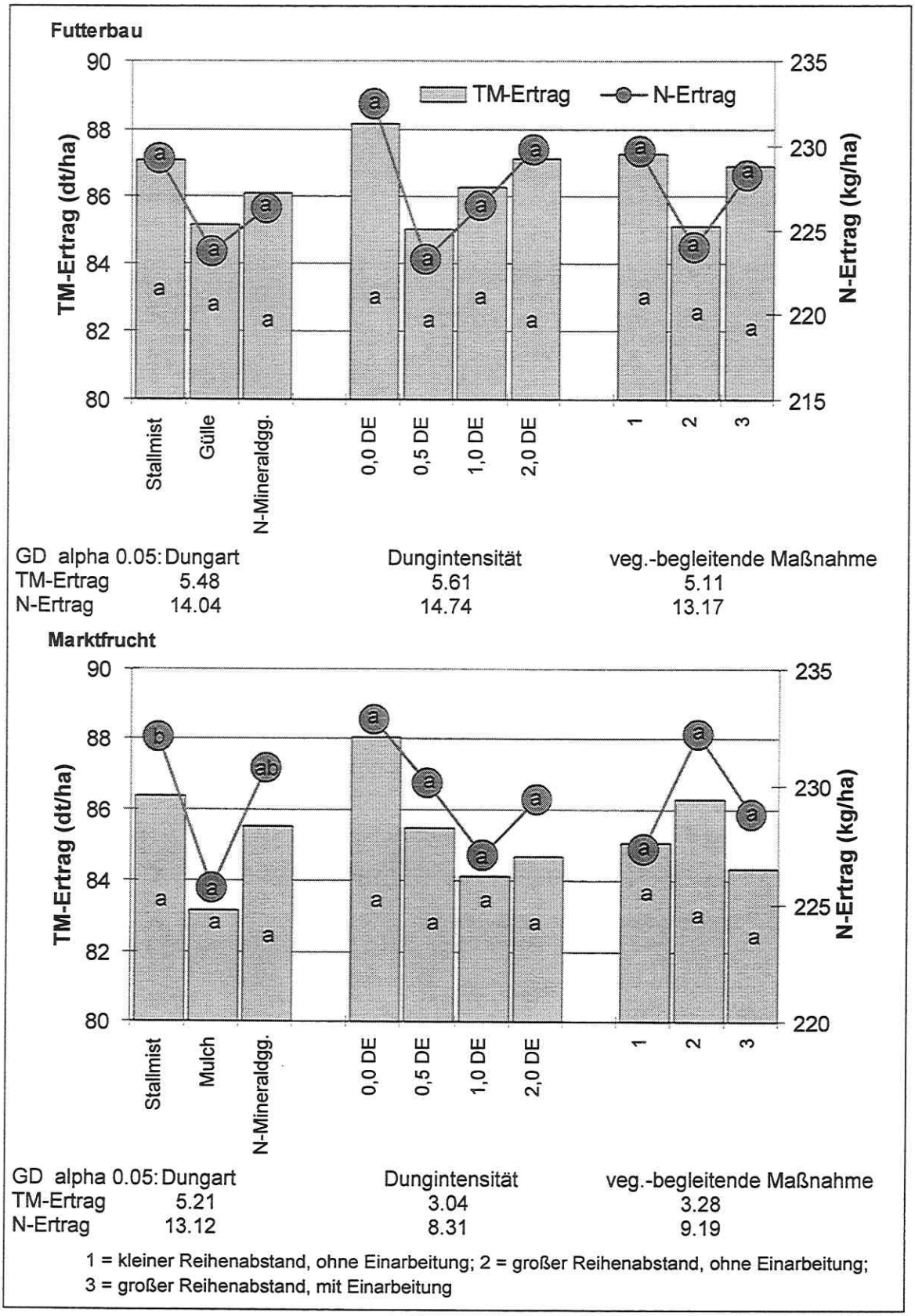


Abb. 15: TM-Erträge und Stickstoffmengen von Kleegras des Anbaujahres 1996 am Standort Methau (Schätzung der fixierten Menge nach ALBERT et al., 1997)

Wegen des etwas größeren Grünmasseanfalls auf den Varianten des Marktfruchtsystems konnte eine geringfügig höhere Menge an Stickstoff gebunden werden. Im Futterbausystem betrug der mittlere N-Ertrag 227 kg und im Marktfruchtsystem 230 kg/ha. Dies führte auch im Frühjahr 1997 zu einem durchschnittlich um 6 kg N/ha geringeren Stickstoffangebot auf den Marktfruchtbauvarianten. Auf den mit Stallmist gedüngten Flächen wurden in diesen Versuchen ebenfalls höhere TM-Erträge und gebundene N-Mengen erreicht als nach Gülle-, Mulch- oder N-Mineraldüngung. Auf den nicht gedüngten Flächen waren z.T. deutlich höhere TM-Erträge und N-Werte in beiden Anbausystemen festzustellen als auf den gedüngten Flächen. Offensichtlich ist für das Leguminosenwachstum und die Fixierungsleistung eine relativ niedrige Versorgung mit Stickstoff über den Boden (Varianten ohne Düngung) bzw. eine Stallmistdüngung als günstiger zu werten als eine entsprechende höhere Nährstoffzufuhr bzw. eine N-Zufuhr mit anderen Düngemitteln.

Durch Zufuhr von organischer Masse kann zwar die Humusbilanz positiv verändert werden. Aber besonders auf stickstoffarmen Böden führt ein weites C:N-Verhältnis in der organischen Masse zu einer vorübergehenden Festlegung von Stickstoff, so dass auftretender Stickstoffmangel verstärkt werden kann (OLFS et al., 1990).

4.3 Veränderung der N_{min}-Werte im Tiefenprofil des Bodens

Im Anschluss an die Vegetationsperiode des Jahres 2000 sind die Gehalte an NO_3- und NH_4-N des Bodens bis auf eine Bodentiefe von 2 m in Spröda und 3,5 m am Ort Methau für einige wichtige Varianten der Versuche ermittelt worden.

4.3.1 Versuchsort Spröda

Zunächst ist festzustellen, dass die ausgewiesenen Mengen an NO_3-N, NH_4-N sowie an N_{min} im gesamten Tiefenprofil auf relativ niedrigem Niveau lagen (Abb. 16). Am Ort Spröda waren zudem nur geringe Differenzen zwischen den verwendeten Düngemittelarten aufgetreten. Unterhalb von 0,6 m Tiefe scheinen die Varianten mit langjähriger Gülledüngung sowie in erhöhtem Maße nach stetiger N-Mineraldüngung zu einer stärkeren N-Verlagerung zu neigen, während nach Mulch- und Stallmistdüngung die geringsten Werte zu verzeichnen waren. Unterhalb von 0,6 m waren bis in einer Tiefe von 2,0 m nach Stallmist/Mulch-Düngung 12,4 kg N, nach Gülledüngung 16,4 kg N und nach N-Mineraldüngung 20,8 kg N je ha vorzufinden.

Infolge steigender Düngung ist insgesamt zu sehen, dass die Tiefenzone um 0,9 m fast völlig von mineralisiertem Stickstoff entleert war (NO_3-N, N_{min}, Abb. 16). Eine steigende Düngung hatte keine eindeutige Anreicherung bzw. Differenzierung der N-Mengen im Untergrund bewirkt.

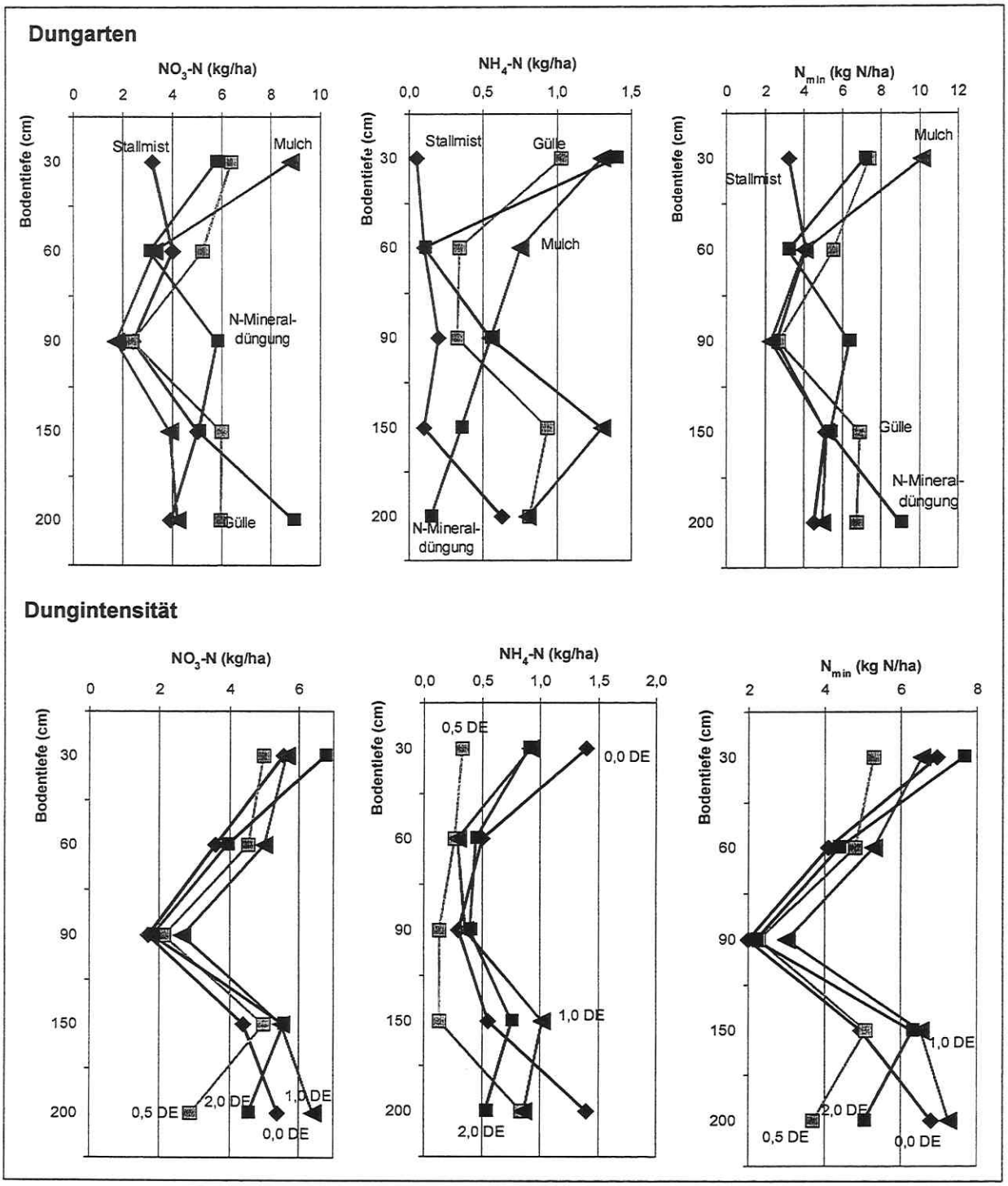


Abb. 16: Einfluss der Dungarten und der Düngungsintensität auf die N_{min}-Gehalte im Tiefenprofil des Sandbodens in Spröda im Spätherbst des Jahres 2000

Auch zwischen den Anbausystemen war keine klare Differenzierung der ermittelten N-Werte möglich (Abb. 17). Ab einer Tiefe von 0,6 m trifft das besonders für die NO_3-N-Werte zu. Auf den Marktfruchtflächen waren in der Tiefe allerdings etwas höhere Werte an NH_4-N zu verzeichnen.

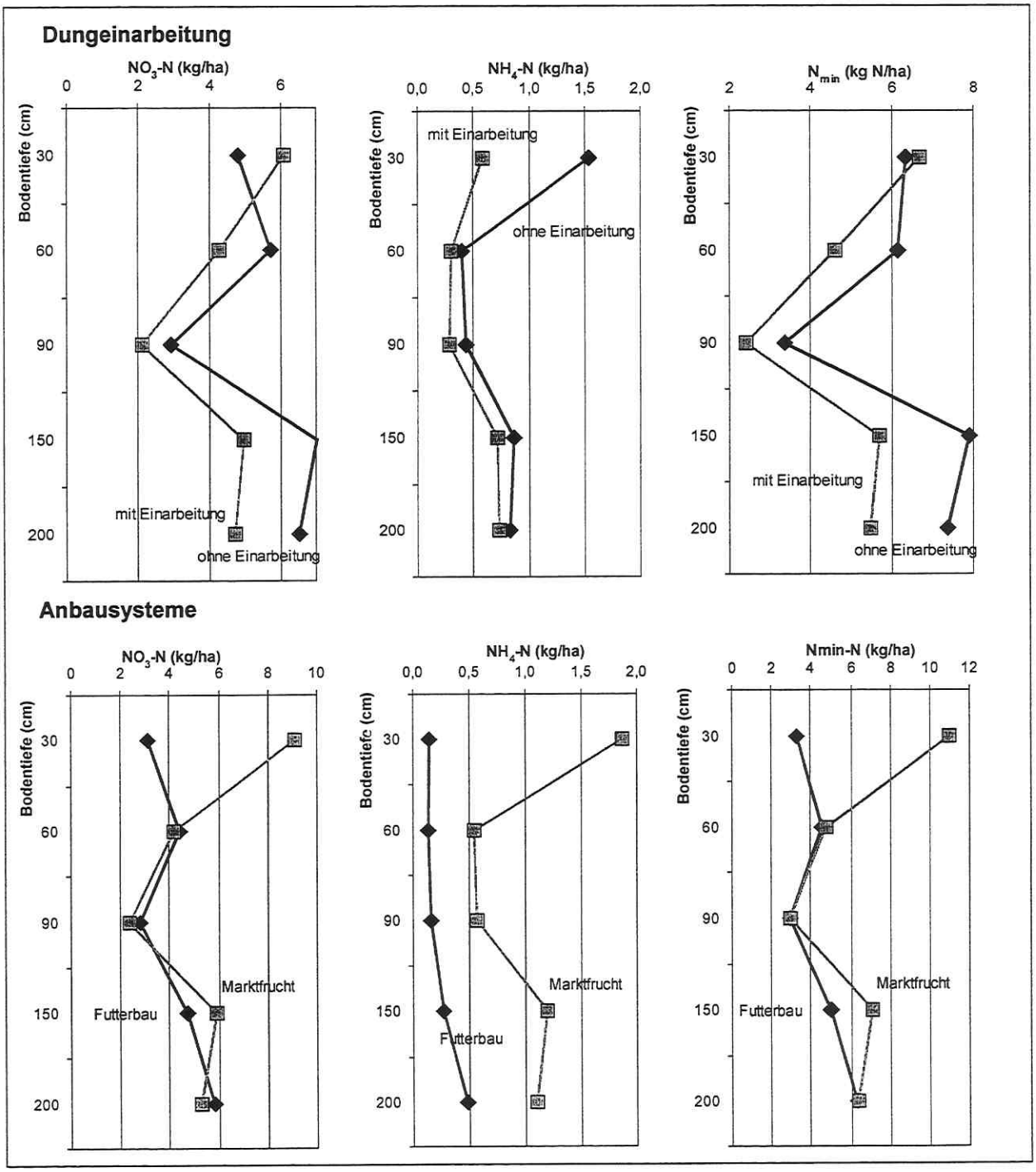


Abb. 17: Einfluss der vegetationsbegleitenden Düngung sowie der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht auf die N_{min}-Gehalte im Tiefenprofil des Sandbodens in Spröda im Spätherbst des Jahres 2000

Zwischen den untersuchten Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen (Nr. 2: großer Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung, Nr. 3: großer Reihenabstand mit Dungeinarbeitung) war im Tiefenprofil eine unterschiedliche N-Anreicherung zu erkennen (Abb. 17). Unterhalb von 0,6 m Tiefe ist auf der Variante ohne Einarbeitung eine um 6,8 kg NO_3-N/ha und um 0,8 kg NH_4-N/ha höhere Menge ermittelt worden als in der Variante mit Einarbeitung. Insgesamt sind die gemessenen Werte aber als sehr niedrig einzustufen.

4.3.2 Versuchsort Methau

Am Standort Methau war unter dem Kleegrasbestand ebenfalls der Bodenhorizont zwischen 0,6 – 0,9 m Tiefe fast völlig von extrahierbarem Stickstoff entleert. In der Abbildung 18 ist deutlich zu sehen, wie der Bereich, der von den Pflanzenwurzeln noch erreicht werden kann (bis 1,5 m Tiefe), unter den gegebenen Anbauverhältnissen weitgehend frei von Stickstoff gehalten wurde.

Im Tiefenprofil gelang lediglich eine klare Trennung zwischen den Parzellen, die eine organische Düngung erhalten haben, und den Flächen, die mit mineralischen N-Düngemitteln versorgt worden sind. Im Tiefenbereich zwischen 0,6 – 3,5 m wurde eine N_{min}-Menge von 82,1 kg N/ha festgestellt. Nach permanenter Stallmistdüngung war ein Wert von 37,6 kg N/ha festzustellen, während an diesem Ort eine stetige Mulchzufuhr mit 27,4 kg N/ha zu den niedrigsten N_{min}-Mengen geführt hat.

Infolge steigender Düngung war in keiner der wiedergegebenen N-Fraktionen eine eindeutige Differenzierung möglich (Abb. 19). In diesen Versuchen wurden dagegen auf den Futterbauflächen unterhalb von 0,6 m Bodentiefe geringfügig höhere N-Mengen gefunden, die in einer Tiefe von 3 m aber höchstens 3,0 kg N/ha betragen haben.

Auch eine vegetationsbegleitende Maßnahme mit weiter Reihe ohne Dungeinarbeitung führte offenbar in einer Tiefe um 3,0 m zur deutlichsten Differenzierung. Insgesamt wurde aber auch zwischen dieser Variante und der Maßnahme mit Dungeinarbeitung lediglich eine Differenz von 2,9 kg N/ha unterhalb von 0,6 m Tiefe ermittelt (Abb. 19).

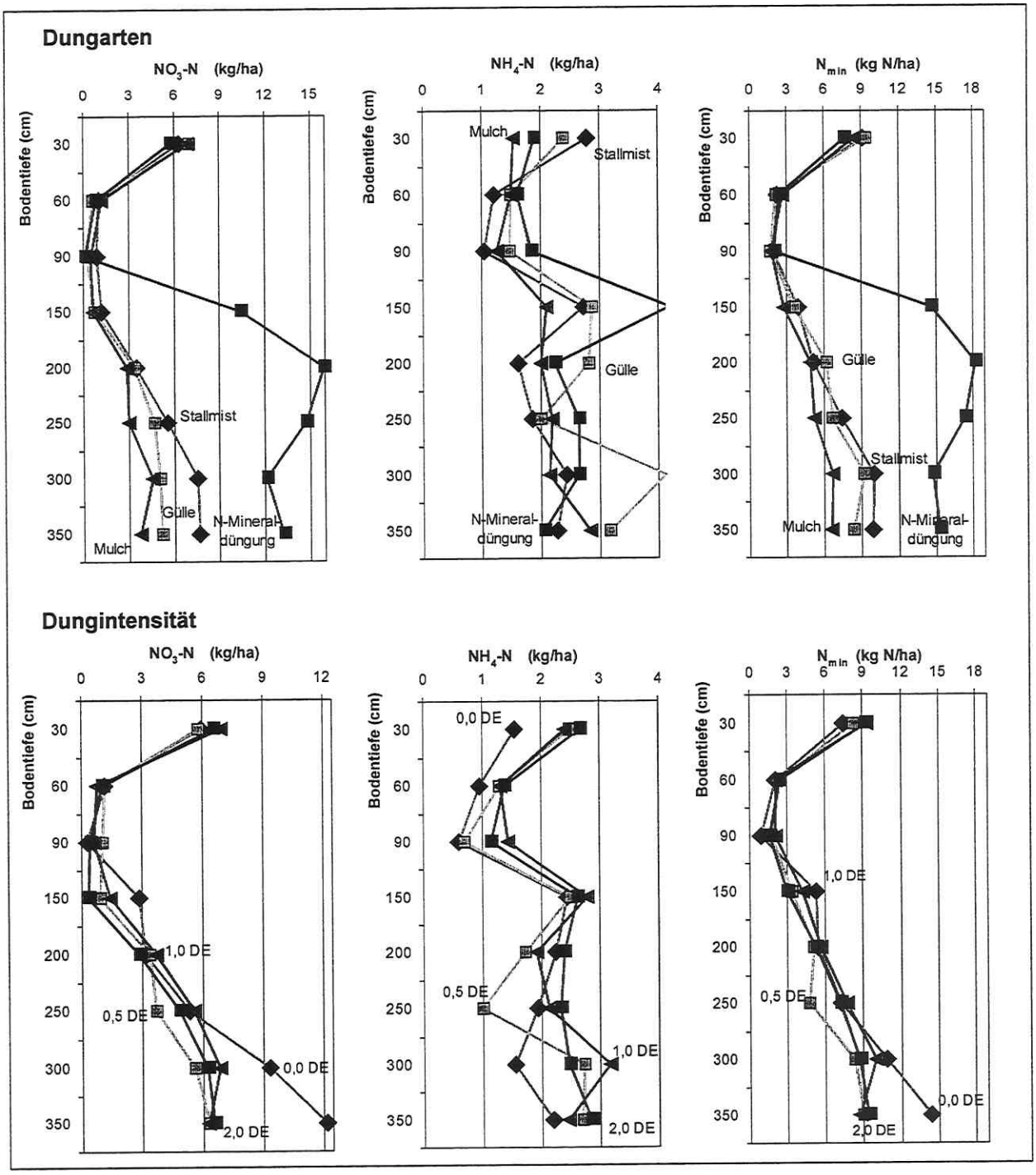


Abb. 18: Unterschiede zwischen den Dungarten und der Düngungsintensität auf die N_{min}-Gehalte im Tiefenprofil des Lößbodens in Methau im Spätherbst des Jahres 2000

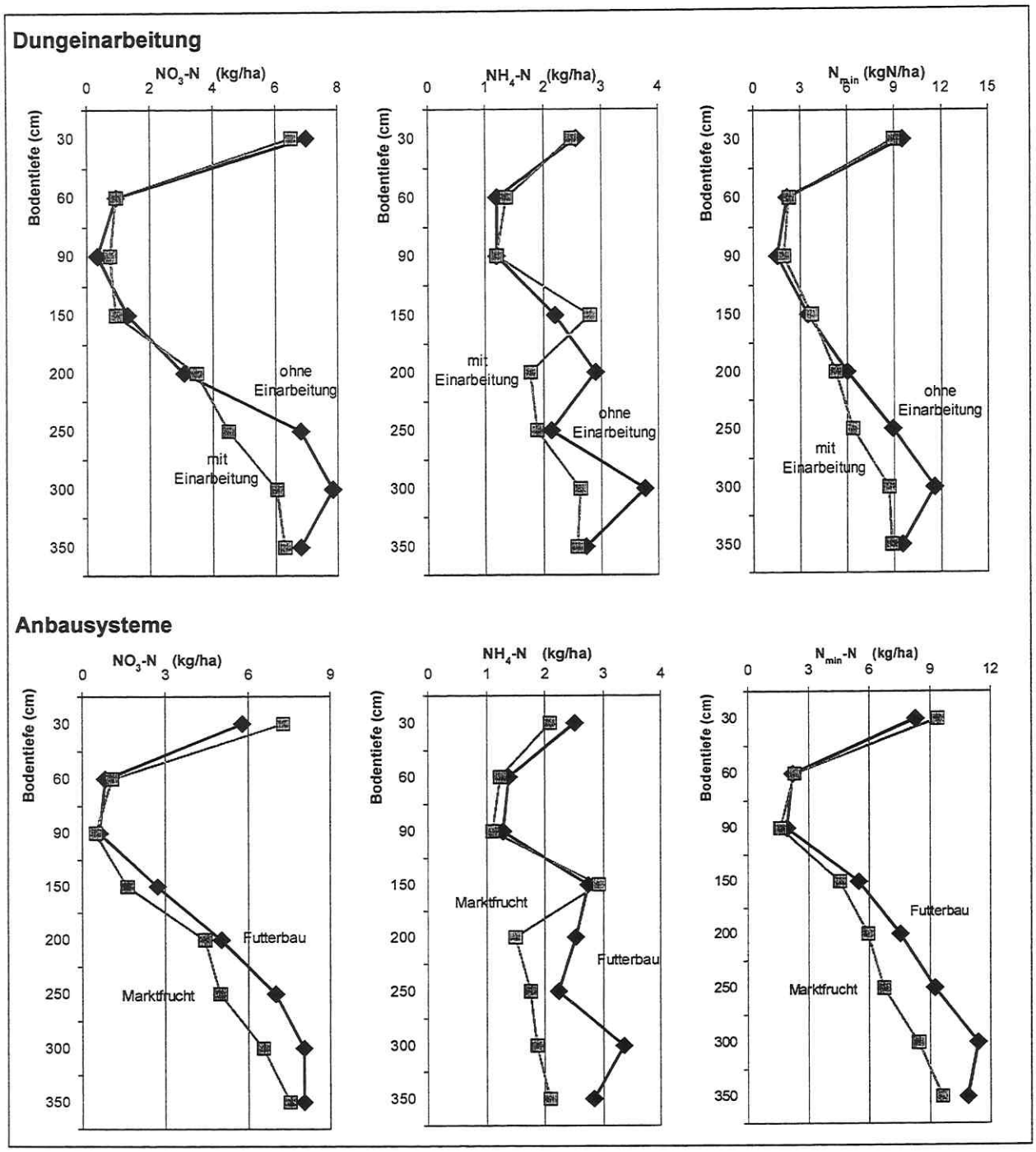


Abb. 19: Unterschiede zwischen vegetationsbegleitender Düngung mit und ohne Einarbeitung sowie zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht auf die N_{min}-Gehalte im Tiefenprofil des Lößbodens in Methau im Spätherbst des Jahres 2000

4.4 Entwicklung der organischen Substanz und des pH-Wertes im Boden

4.4.1 Gehalte an N_t und C_t sowie C:N-Verhältnis

Messbare Änderungen der Gehalte und der Zusammensetzung der organischen Substanz des Bodens können in der Regel erst nach einer verhältnismäßig langen Zeitperiode von ca. 10 Jahren sichtbar gemacht werden. In Anbetracht der Versuchsdauer von lediglich acht Jahren (1992 – 1999) können also nur halbquantitative Ergebnisse abgeleitet werden. Ein weiteres Problem bestand in der Grunduntersuchung, die zu Versuchsbeginn im Herbst 1992 nur von Großteilstücken erhoben worden ist. Da die erhaltenen Werte jährlich starken Schwankungen unterliegen, konnten keine gesicherten Ausgangswerte für den Versuchsbeginn für den Ort Methau ermittelt werden. Durch Zusammenfassen vieler Einzelergebnisse in Mittelwerten ließen sich dennoch schon einige interessante Erkenntnisse aus den Ergebnissen ablesen.

Als Ausgangswerte konnten für den Standort Spröda N_t-Gehalte zwischen 0,076 % und 0,102 % und C_t-Gehalte zwischen 1,1 % und 1,3 % angesehen werden (Abb. 20). Bei mittleren Ausgangswerten nahmen die N_t-Gehalte im Verlauf der Jahre durch die ökologische Bewirtschaftung etwas ab. Die Veränderung der N_t-Gehalte war größer als die der C_t-Werte, so dass die C/N - Verhältnisse etwas angestiegen sind. Von den geprüften Düngemittelarten hinterließen die Stallmist- und Mulchdüngung die höchsten N_t- und C_t-Werte im Boden. Durch die Gülledüngung in vergleichbarer Höhe (gedüngte N-Menge = Bezugsbasis) und in noch stärkerem Ausmaß durch N-Mineraldüngung konnten die N_t- und C_t-Ausgangsgehalte nicht gehalten werden. Trotz der großen Schwankungen der Werte wurde deutlich, dass eine steigende organische Düngung auch einen Anstieg der C_t-Werte zur Folge hatte. Bei Betrachtung der Ergebnisse zu den vegetationsbegleitenden Maßnahmen fiel auf, dass es bei dem Verfahren mit Dungeinarbeitung sowohl eine Reduzierung an N_t als auch einen Abbau an C_t gegeben hatte.

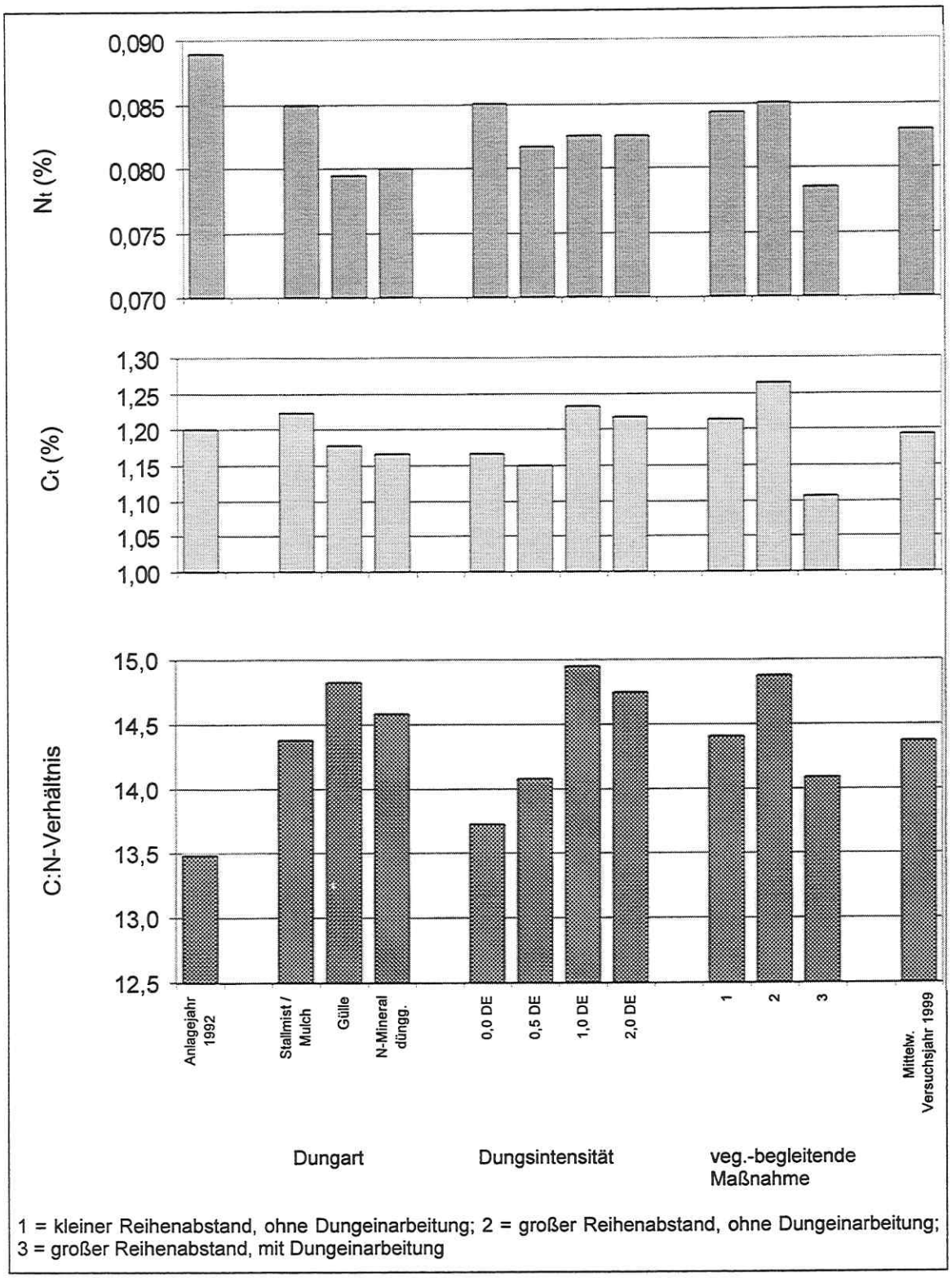


Abb. 20: N_t- und C_t-Gehalte (%) sowie C:N-Verhältnisse des Bodens im Anlagejahr 1992 sowie im Jahr 1999 in Abhängigkeit von den Dungarten, Dungintensitäten und den vegetationsbegleitenden Maßnahmen am Standort Spröda

Im Versuchsdurchschnitt kam es auf dem Lößstandort in Methau zu keinen großen Veränderungen der N_t-Werte, dagegen fielen die C_t-Gehalte bei den angenommenen Ausgangswerten zwischen 1,40 – 1,80 % zum Teil deutlich ab (Abb. 21). Wie am Standort Spröda bereits festgestellt wurde, kam es in Methau ebenfalls zu einem deutlicheren Abfall der C_t-Werte nach Gülle- im Vergleich zur Stallmistdüngung. Steigende Düngeranwendung hatte einen Anstieg der N_t-Werte und das Verfahren der vegetationsbegleitenden Maßnahmen mit großem Reihenabstand und Dungeinarbeitung einen leichten Abfall der N_t- und C_t-Werte des Bodens zur Folge.

Da keine bedeutenden Wechselwirkungen zwischen den Hauptfaktoren und den Standorten auftraten, wurde die Wirkung der Faktoren ausgedrückt als Mittelwerte auf die N_t- und C_t-Werte sehr deutlich (Abb. 22). Im Verlauf der verhältnismäßig kurzen Versuchszeit wurden die N_t- und C_t-Werte des Bodens durch die Stallmist- bzw. Mulchdüngung auf einem höheren Niveau gehalten als nach Gülle- bzw. N-Mineraldüngung. Steigende organische Düngung hatte einen Anstieg sowohl der N_t- als auch der C_t-Werte des Bodens zur Folge. Hierbei führte die Düngung von 0,5 DE/ha und Jahr zu einem stärkeren Anstieg der Werte als alle weiteren Steigerungen. Ebenso trat sehr deutlich hervor, dass von den vegetationsbegleitenden Maßnahmen die Einarbeitung der Flüssigdüngung zu einer Reduktion der N_t- und C_t-Gehalte geführt hatte und nicht die Veränderung des Reihenabstandes bei oberflächlicher Ausbringung der Düngung.

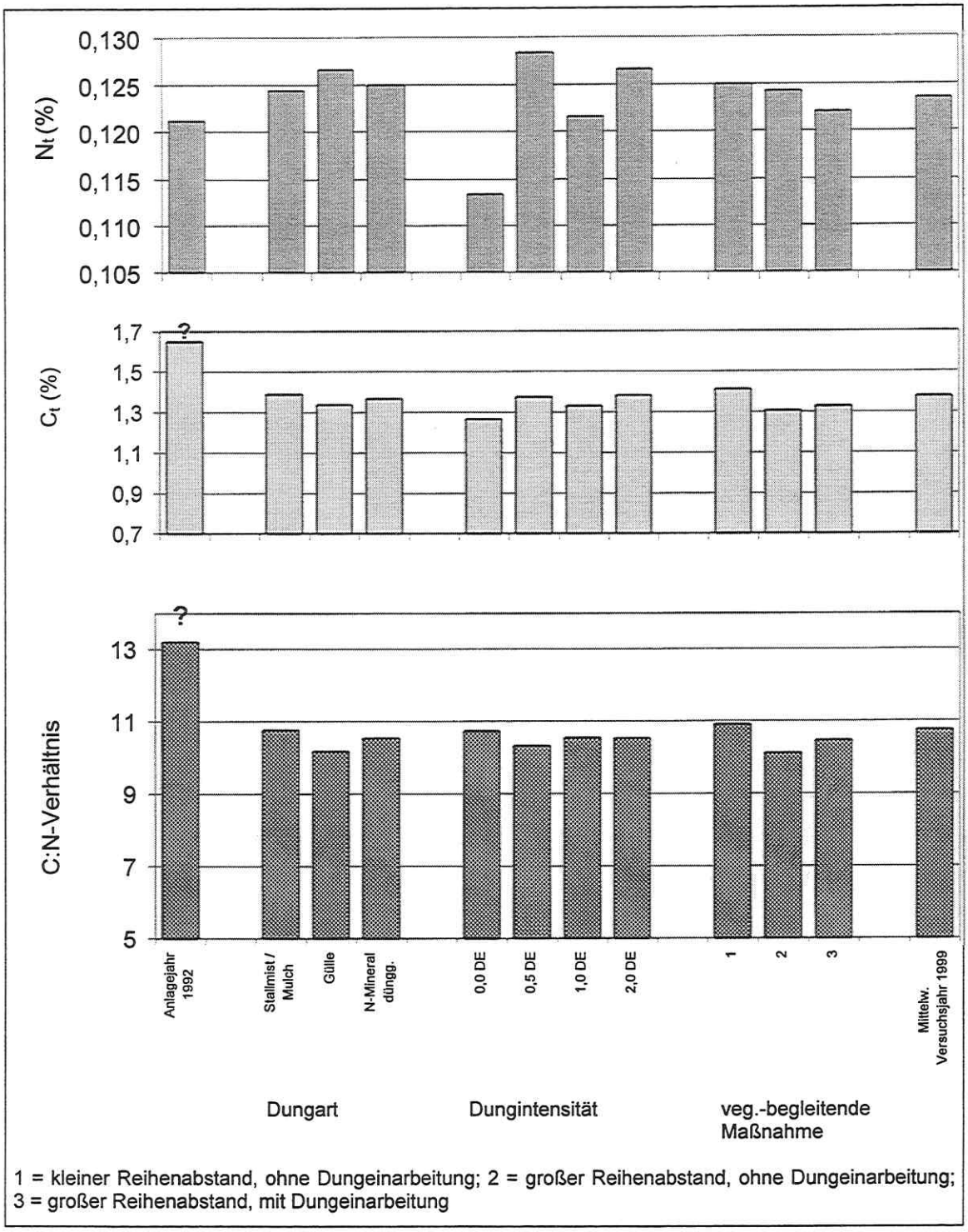


Abb. 21: N_t- und C_t-Gehalte (%) sowie C:N-Verhältnisse des Bodens im Anlagejahr 1992 sowie im Jahr 1999 in Abhängigkeit von den Dungarten, Dungintensitäten und der vegetationsbegleitenden Maßnahmen am Standort Methau (? = Wertgenauigkeit unsicher)

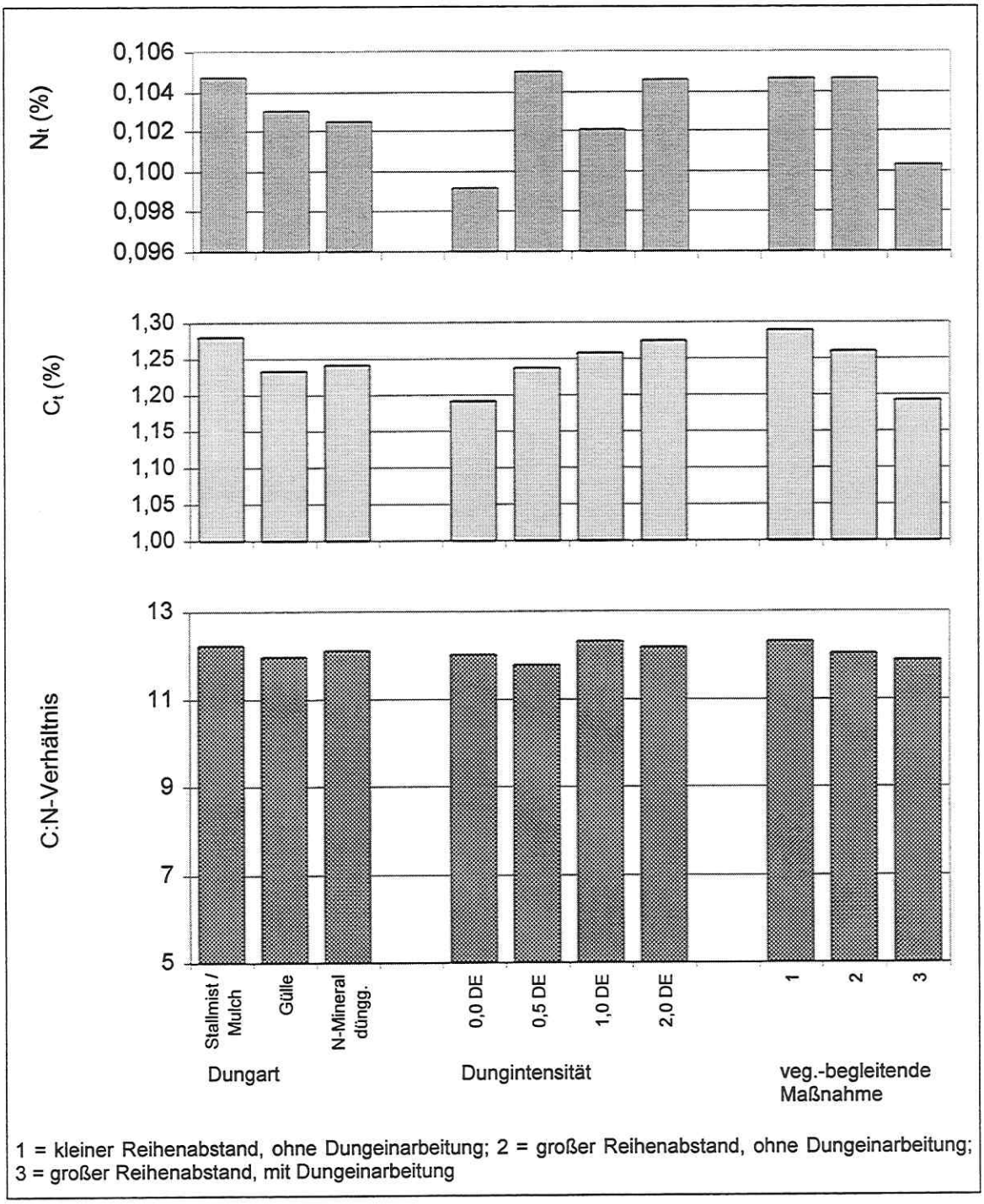


Abb. 22: N_t- und C_t-Gehalte des Bodens im Durchschnitt der Standorte Spröda und Methau im Versuchsjahr 1999 in Abhängigkeit von den Dungarten, Dungintensitäten und vegetationsbegleitenden Maßnahmen

In Anbetracht der verhältnismäßig kurzen Untersuchungszeit ist die Interpretation der Ergebnisse über die Wirkung der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht nicht einfach. Der C_t-Gehalt des Standortes Spröda hatte im Versuchsverlauf auf den Futterbauflächen etwas zugenommen, während auf den Marktfruchtflächen eine Abnahme zu verzeichnen war.

Diese Ergebnisse konnten für den Ort Methau nicht bestätigt werden. Die in dem Lößboden allgemein zu verzeichnende Abnahme der C_t-Gehalte war anscheinend auf den Futterbauflächen etwas stärker ausgeprägt als auf den Marktfruchtflächen. Die C_t-Gehalte auf den viehlosen Marktfruchtflächen (0,0 DE/ha) waren jedoch im Jahr 1999 durch die niedrigsten Werte des gesamten Versuchs gekennzeichnet.

Es ergaben sich ebenfalls niedrigere C_t-Gehalte des Bodens auf den viehlosen Marktfruchtparzellen, wenn die Ergebnisse als Mittelwerte der beiden Versuchsstandorte dargestellt werden (Abb. 23). Obwohl eine eindeutig höhere Applikation an vorwiegend grüner organischer Masse auf den Marktfruchtflächen erfolgte, hatten sich die C_t-Werte des Bodens nicht entsprechend geändert. Wird die grüne organische Masse zusammen mit steigender organischer Düngung eingebracht, so stellte sich eine Wechselwirkung zwischen den Anbausystemen auf die C_t-Gehalte des Bodens ein. Mit steigender Düngung stiegen die C_t-Werte im Boden im Marktfruchtsystem stärker an als im Futterbausystem. Nach hoher Düngung glichen sich die Werte beider Anbauverfahren weitgehend an.

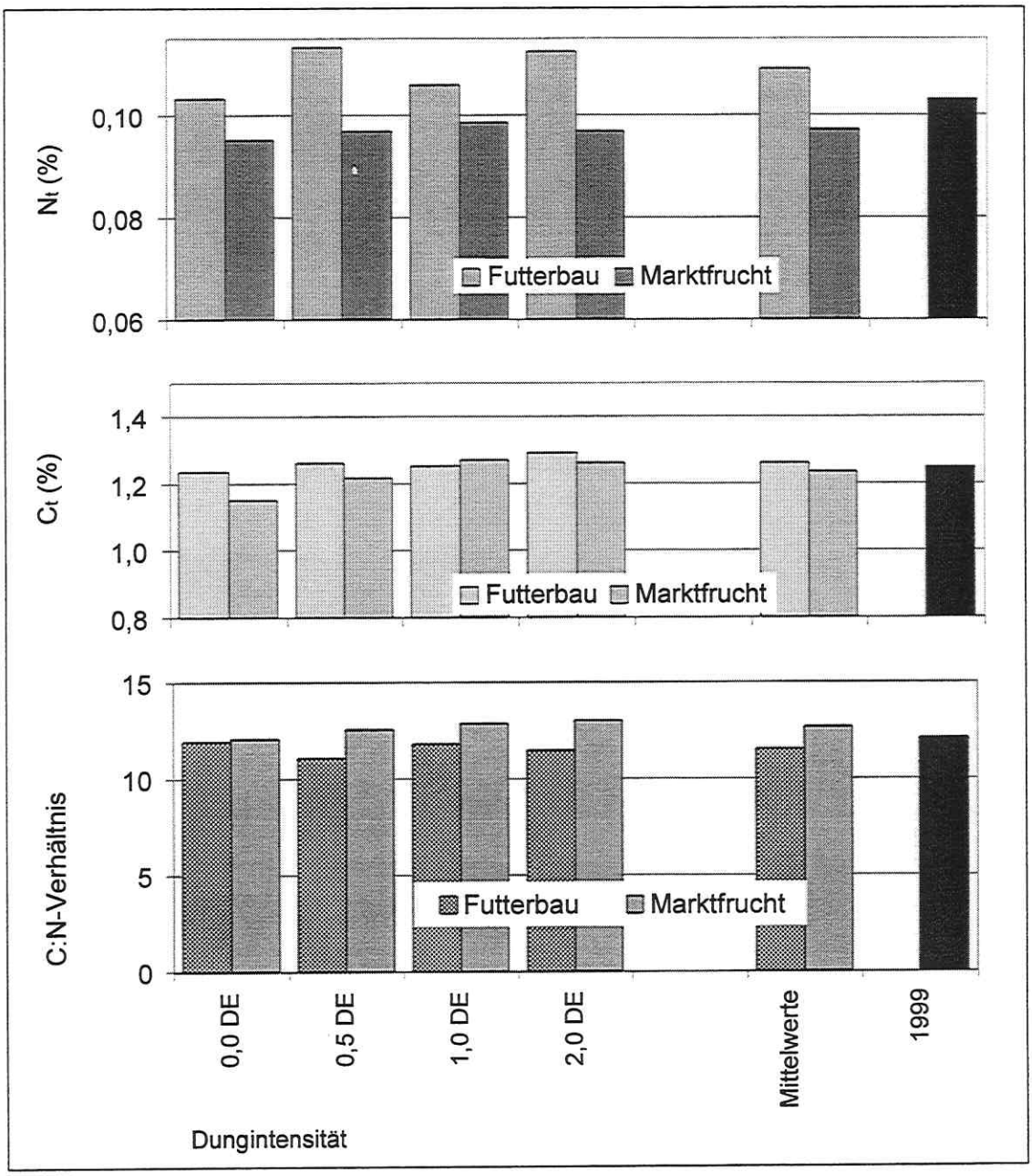


Abb. 23: Wechselwirkungen zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht auf die N_t- und C_t-Gehalte sowie die C:N-Verhältnisse des Bodens infolge steigender organischer Düngung (Mittelwerte der Standorte Spröda und Methau)

4.4.2 pH-Wert

Der durchschnittliche pH-Wert des Sandbodens in Spröda lag um 5,3; der des Lößbodens in Methau um 6,1. Die unterschiedliche Bewirtschaftung hatte keinen großen Einfluss auf den pH-Wert der Böden ausgeübt (Abb. 24).

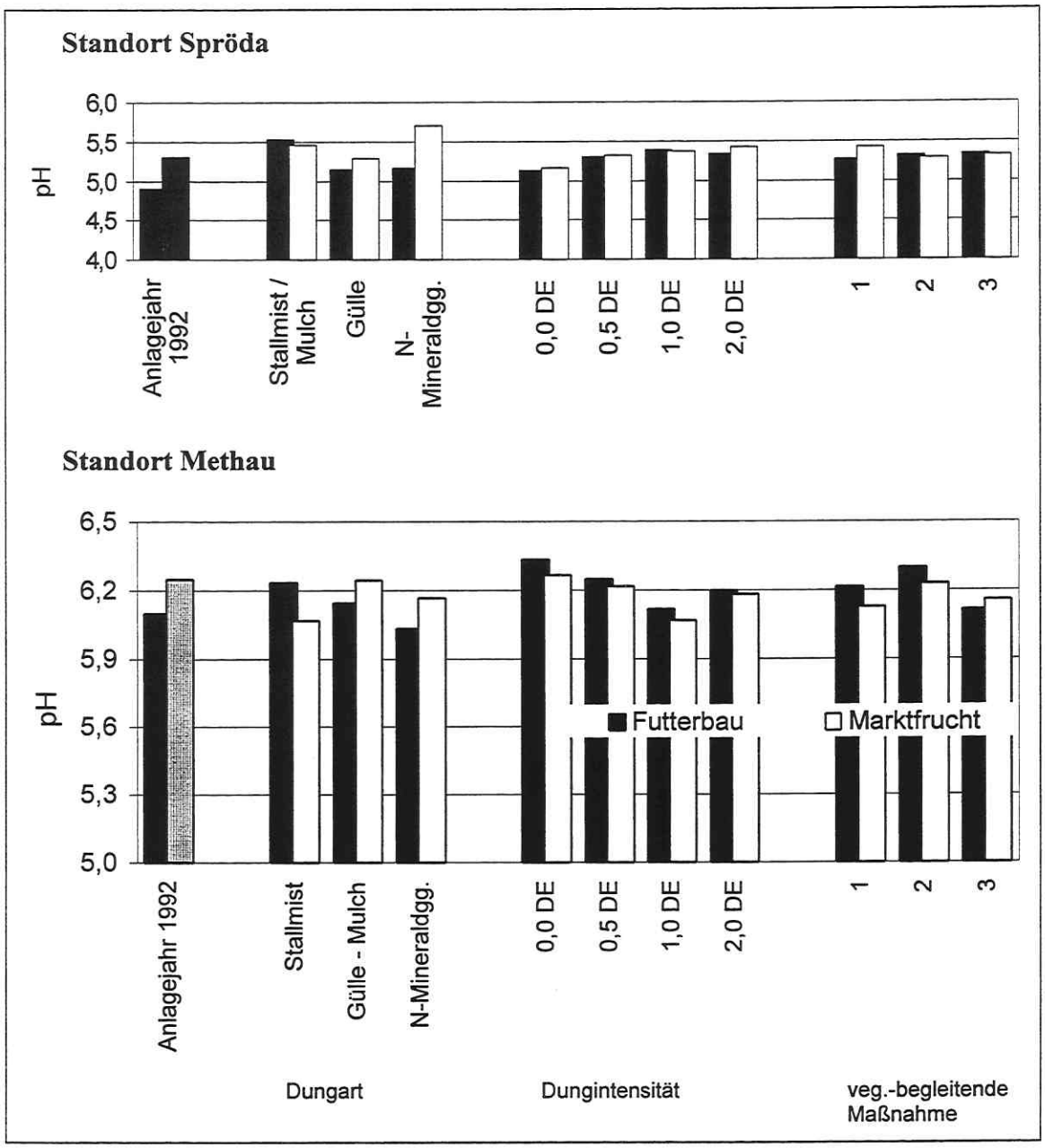


Abb. 24: pH-Werte im Anlagejahr 1992 und im Jahr 1999 an den Standorten Spröda und Methau

4.5 N-Bilanz- und –Effizienzkennzahlen im System Boden – Pflanze – Atmosphäre

4.5.1 N-Aufnahme der Kulturpflanzen

Unter der Stickstoffaufnahme ist die Menge an Stickstoff zu verstehen, die während der Vegetation insgesamt von den Pflanzen aufgenommen und im Aufwuchs gespeichert wird. Der N-Entzug entspricht demgegenüber der Menge an Stickstoff, die durch die Ernteprodukte dem Boden entzogen und vom Felde abgefahren wird.

4.5.1.1 Versuchsort Spröda

Leguminosengras, 1997; Wickroggen, 1998/99

Durch den äußerst schwach ausgebildeten Bestand des Luzernegrases im ersten Anbaujahr kann davon ausgegangen werden, dass die N-Aufnahme in dieser Zeit gering war. Die Zwischenfrucht **Wickroggen**, die nach dem Sommerweizen 1998 angesät wurde, hatte auf den Futterbauvarianten eine deutlich höhere Menge an Stickstoff als auf den Marktfruchtvarianten entzogen, da der TM-Ertrag sowie der N-Gehalt in den Pflanzen höher lagen (Abb. 25). Im Futterbausystem waren auf den Flächen mit Stallmistdüngung, im Marktfruchtsystem auf denen mit Gülledüngung die höchste N-Aufnahme zu verzeichnen. Im Futterbausystem zeigte der Wickroggen auf den Varianten ohne Düngung die höchste Stickstoffaufnahme. Nach steigender Düngeranwendung lag die N-Aufnahme der Pflanzen demgegenüber auf niedrigerem Niveau. Im Marktfruchtbau lagen die aufgenommenen N-Mengen des Wickroggens nach steigender Düngeranwendung gleichbleibend bei etwa 120 kg N/ha. Nur die Flächen mit der höchsten Düngung wiesen eine um 10 kg N/ha geringere N-Aufnahme auf.

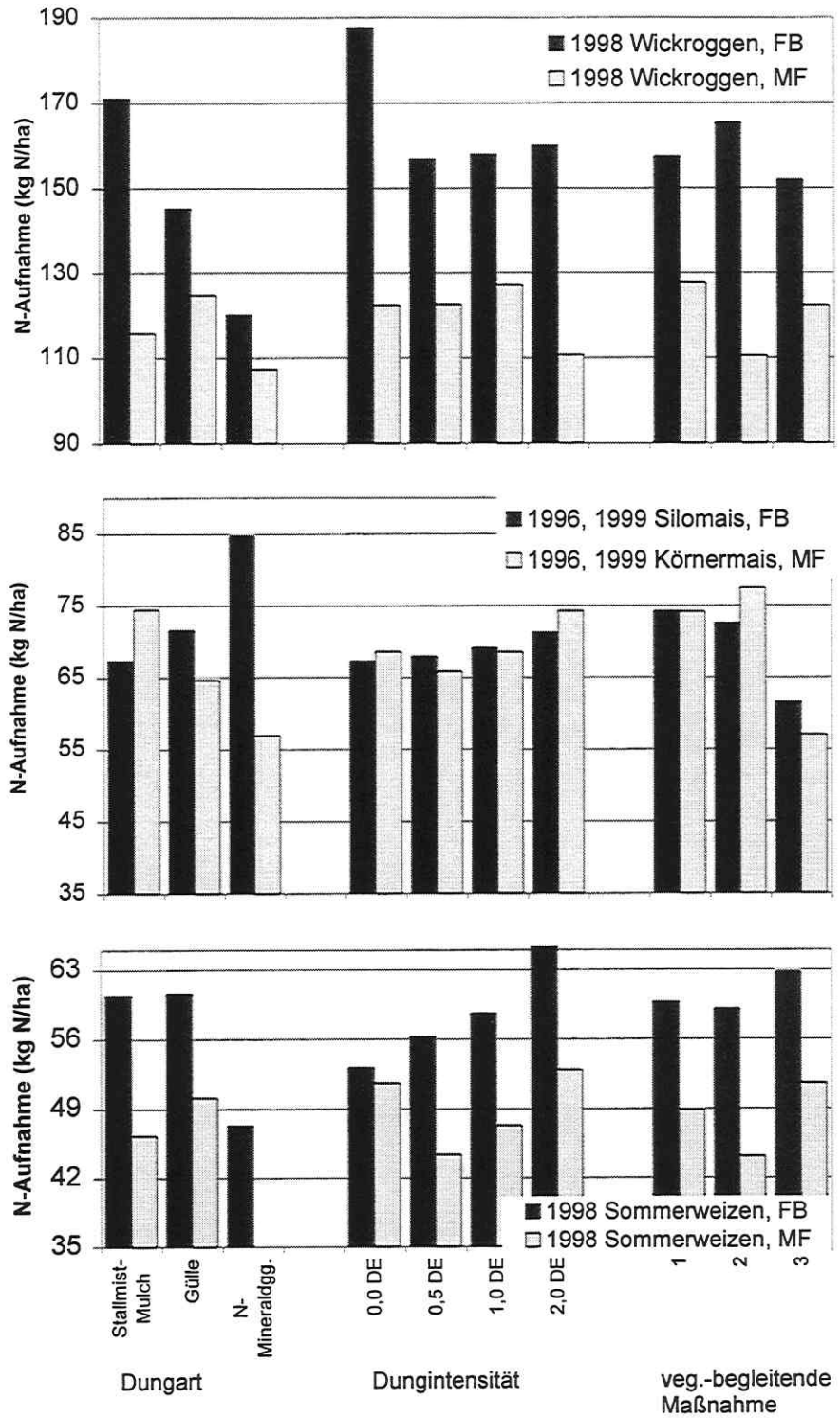
Mais, 1996, 1999

Die Stickstoffaufnahme des Maises war sehr niedrig (Abb. 26). Die Ursache lag in den geringen TM-Erträgen aufgrund der überaus trockenen Witterung am Standort Spröda. Gerade in der empfindlichen Jungendentwicklung des Maises im Juni 1996 fielen nur 18,3 mm Niederschlag (vgl. Kap. 3). Zudem war das Jahr 1996 durch eine verhältnismäßig kühle Witterung gekennzeichnet. Im Durchschnitt der Monate blieben die Temperaturen mit 7,4 °C deutlich unter dem Jahresmittel von 8,3 °C.

Der Stickstoffbedarf von Mais ist relativ hoch und kann recht gut über Wirtschaftsdünger abgedeckt werden (LAURENZ, 1997). Die Stickstoffaufnahme hängt vom zeitlichen Verlauf des N-Bedarfes und vom N-Aneignungsvermögen (Ausbildung der Wurzelmasse) der Kulturpflanzen wie auch von dem Mineralisierungsverlauf und der –intensität im Vegetationsverlauf ab (WALTHER, 1995a).

Im Jahr 1996 war der Mais vor der Saat mit Stallmist, Gülle bzw. mit Kalkammonsalpeter gedüngt worden. Es ist bekannt, dass Mais späte N-Gaben (6 - 8-Blattstadium) in leicht verfügbarer Form oft besser (50 – 70 %) nutzen kann als frühe N-Gaben zur Saat oder Pflanzung, da der N-Bedarf zu diesem Zeitpunkt noch relativ gering ist (WALTHER, 1995a,b). Zudem besteht die Gefahr, dass bei niederschlagsreicher Witterung Stickstoff in tiefere Bodenschichten verlagert wird. Der Grund liegt in der langsamen Jugendentwicklung des Maises. Er nimmt im ersten Fünftel der Vegetationszeit weniger als 10 % des Gesamtbedarfs auf (MAIDL, 1990a, b; KB, 1997). Obwohl der Stickstoff im Mulch als nicht leicht verfügbar anzusehen ist, zeichnete sich die im Juni durchgeführte vegetationsbegleitende Mulchdüngung durch die höchste N-Aufnahme aus (Abb. 25). Steigende Düngung war generell gekennzeichnet durch ansteigende N-Aufnahmen, obgleich das am Standort Spröda nicht deutlich sichtbar wurde, da sich die nicht gedüngten Standardparzellen mit Ausnahme des Jahres 1998 in den Marktfrucht-Varianten immer durch eine relativ hohe Stickstoffaufnahme auszeichneten.

Im Jahr 1996 wies der Mais der Marktfrucht-Varianten bei geringeren Erträgen etwas höhere Stickstoffgehalte auf, so dass die Stickstoffaufnahme hier im Durchschnitt höher lag als die Werte der Futterbau-Varianten. Im Durchschnitt der Jahre 1996 und 1999 bestand eine deutliche Wechselwirkung zwischen den Düngerarten auf die N-Aufnahme. Im Futterbausystem waren die N-Aufnahmen nach der Stallmistdüngung sowie nach Gülledüngung deutlich geringer als nach der N-Mineraldüngung.



1 = kleiner Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Einarbeitung

Abb. 25: N-Aufnahme (kg/ha) von Wickroggen des Jahres 1998, von Mais der Anbaujahre 1996 und 1999 sowie von Sommerweizen des Anbaujahres 1998 in den Systemen Futterbau (FB) und Marktfrucht (MF) in Abhängigkeit von den Hauptvarianten am Standort Spröda

Im Marktfruchtsystem war ein entgegengesetzter Verlauf der N-Aufnahme zu erkennen (Abb. 25). In beiden Anbausystemen war eine steigende Stickstoffaufnahme nach steigender Düngung eingetreten.

Sommerweizen, 1998

Bedingt durch höhere TM-Erträge bei gleich hohen Stickstoffgehalten in der Pflanze war der Sommerweizen der Futterbauvarianten im Durchschnitt durch eine höhere N-Aufnahme gekennzeichnet (Abb. 25). Die Wirkung der Stallmist- bzw. Jauchedüngung auf die N-Aufnahme unterschied sich nur unwesentlich von der Wirkung einer Gülledüngung. Bei DEWES & SCHMITT (1995) führte Jauche- im Vergleich zur Gülleausbringung zu höheren TM-Erträgen und N-Entzügen, wenn diese Düngemittel während der Vegetation appliziert wurden. In den eigenen Versuchen führte eine steigende Düngung auch zu einer ansteigenden Stickstoffaufnahme. Die Futterbauvarianten haben durch die erhöhte TM-Bildung deutlich höhere Mengen an Stickstoff aufgenommen als die Marktfruchtvarianten. Von den vegetationsbegleitenden Maßnahmen bewirkte der große Reihenabstand mit Dungeinarbeitung eine höhere Stickstoffaufnahme als der kleine Abstand ohne Einarbeitung.

Eine zusammenfassende Gegenüberstellung der im Untersuchungszeitraum angebauten Kulturen lässt erkennen, dass die N-Aufnahme des Wickroggens deutlich über den Werten von Sommerweizen und Mais lag. Die N-Aufnahme des Maises lag im Verhältnis hierzu nur unwesentlich höher als die des Sommerweizens (Abb. 26). Die N-Aufnahme lag im Marktfruchtsystem im Vergleich zum Futterbausystem bei jeder angebauten Kulturart z. T. deutlich niedriger. Im Durchschnitt betrug der gewichtete Unterschied zwischen 12 und 13 kg N/ha und Jahr.

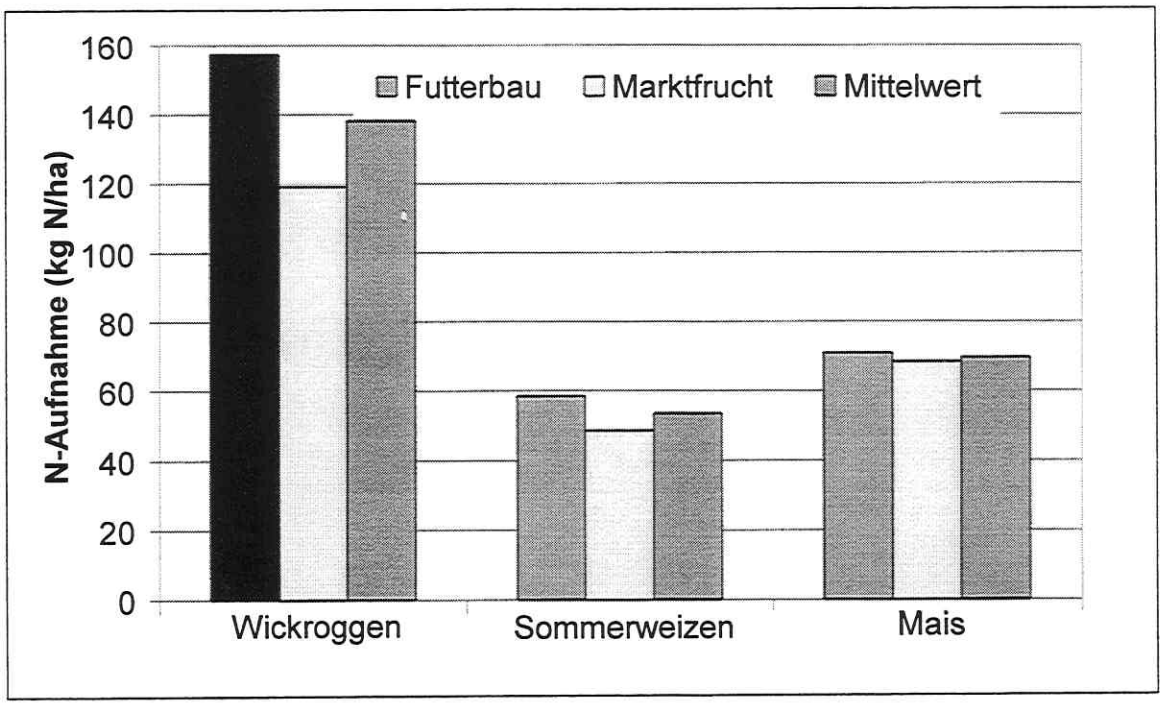
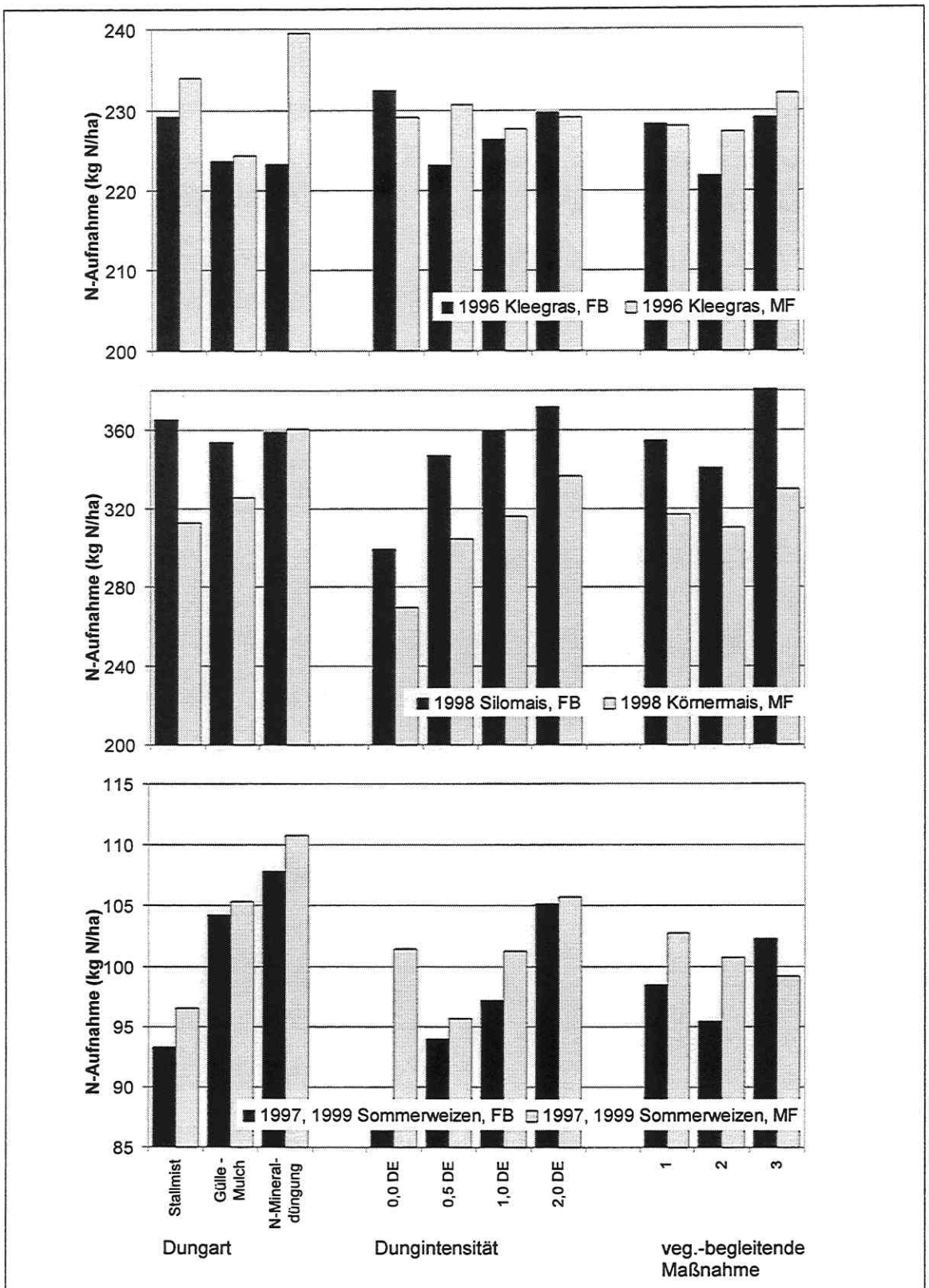


Abb. 26: N-Aufnahme (kg/ha) der Kulturarten des Futterbausystems und des Marktfruchtsystems am Standort Spröda

4.5.1.2 Versuchsort Methau

Kleegras, 1996

Im Jahr 1996 war am Standort Methau das 4. Jahr in Folge Kleegras angebaut worden. Da keine Düngungsmaßnahmen durchgeführt wurden, waren kaum Unterschiede zwischen den Prüffaktoren Düngemittelart und –steigerungsstufen in der N-Aufnahme des Kleegrases festzustellen (Abb. 27).



1 = kleiner Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Einarbeitung

Abb. 27: N-Aufnahme (kg/ha) von Kleegras, Sommerweizen sowie von Mais in den Systemen Futterbau (FB) und Marktfrucht (MF) in Abhängigkeit von den Hauptvarianten am Standort Methau

Sommerweizen, 1997, 1999

Die durchschnittliche N-Aufnahme des Sommerweizens des Jahres 1997 lag bei 98 kg N/ha. Die Stallmistdüngung hatte in beiden Anbausystemen eine geringere N-Aufnahme zur Folge als die Düngung mit Gülle- bzw. Mulch, obwohl die Varianten mit Stallmistdüngung zu Vegetationsbeginn höhere N_{min}-Werte aufwiesen. Nach WALTHER (1995c) dürfte nicht genutzter Düngungsstickstoff in Höhe von 25 – 35 % bei Getreide zu einem kleineren Teil in den Stoppeln und Wurzelresten vorübergehend gebunden, der größte Anteil aber durch Denitrifikation entwichen sein. SCHMITT & DEWES (1995) stellten fest, dass der NH_4-N in Gülle und Jauche unterschiedlich schnell von Winterweizen verwertet wurde. Eine Ursache sehen sie in der Konkurrenz der Pflanzen und der Bodenmikroflora um die Stickstoffreserven. Sommerweizenanbau mit dem großen Reihenabstand mit Einarbeitung führte zu einer höheren N-Aufnahme als ein Anbau mit anderen Reihenweiten ohne Dungeinarbeitung (Abb. 27). Nach SPIELHAUS (1990) kann Sommerweizen analog zum Winterweizen 25 – 35 m³/ha Gülle mit Einarbeitung verwerten.

Im Anbaujahr 1999 waren zwischen den geprüften organischen Dungarten ähnliche Unterschiede in den aufgenommenen N-Mengen des Sommerweizens festzustellen wie im Jahr 1997. Die N-Aufnahme nach Gülle- bzw. Mulchdüngung war höher als nach Stallmistdüngung. Abweichend von dem Anbaujahr 1997 war 1999 die N-Aufnahme nach der N-Mineraldüngung am höchsten. Eine steigende organische Düngung hatte sowohl in beiden Anbaujahren als auch in beiden Anbausystemen deutlich steigende N-Aufnahmen zur Folge (Abb. 27).

Mais, 1998

Der Mais wies auf den Futterbau-Varianten höhere TM-Erträge und Stickstoffgehalte in den Pflanzen auf, so dass insgesamt die Stickstoffaufnahme z.T. deutlich über der der Marktfrucht-Varianten lag (Abb. 27). Die Stallmistdüngung zum im Jahr 1998 angebauten Mais erfolgte bereits im Herbst 1997. Bei GEBAUER & SCHAAF (1993) haben Stallmistgaben zu Silomais zu Ertragseinbußen geführt, wenn sie unmittelbar vor der Saat ausgebracht worden waren. In den Marktfrucht-Varianten des Jahres 1998 war die N-Aufnahme nach Stallmistdüngung geringer als in den Futterbau-Varianten. Die Ursache hierfür lag in den wiederum niedrigeren Erträgen, die auf den Marktfrucht-Versuchsflächen ermittelt worden waren.

Auch der Anbau von Mais mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung wies eine etwas höhere N-Aufnahme als die anderen Verfahren auf. Nach AUFHAMMER et al. (1991) kann die N-Aufnahme durch höhere Bestandesdichten bei engen Reihenweiten und geeigneter Sortenwahl verbessert werden. Diese Ergebnisse können im vorliegenden Versuch nicht bestätigt werden.

Durch Maisanbau ist eine hohe N-Aufnahme zu verzeichnen, die gewöhnlich nicht allein aus der Düngung stammt. Getreide hat einen höheren Bedarf an direkt verfügbarem Stickstoff als Hackfrüchte, da unter den garebildenden Blattfrüchten in der Regel eine größere Menge an Bodenstickstoff mobilisiert wird als unter Getreide (LORENZ et al., 1991). Die Vorfrucht Sommerweizen nutzte daher den angebotenen Stickstoff in geringerer Rate aus. Auf den Marktfrucht-Varianten konnte der Mais den vom gemulchten Kleegras stammenden Stickstoff von etwa 130 kg N/ha nicht nutzen. Auf den Flächen der Futterbau-Varianten waren dagegen höhere Werte in der N-Aufnahme festzustellen. Eine steigende organische Düngung hatte in beiden Anbausystemen eine deutliche Anhebung der N-Aufnahme bei Mais zur Folge.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass die Stickstoffaufnahme der einzelnen Kulturarten durch die höheren TM-Erträge am Standort Methau deutlich höher lagen, als auf dem Sandboden am Standort Spröda (vgl. Abb. 26 u. Abb. 28). Auf dem Lößboden waren kaum Unterschiede zwischen den Anbausystemen bezüglich der Stickstoffaufnahme festzustellen. Nur die durchschnittliche Stickstoffaufnahme des Maises auf den Flächen des Futterbausystems war deutlich höher als die im Marktfruchtsystem. Im gewichteten Durchschnitt der Versuchsjahre 1996 – 1999 war, vergleichbar mit den Ergebnissen am Standort Spröda, im Futterbausystem eine ca. 13 kg N/ha und Jahr höhere N-Aufnahme zu verzeichnen als im Marktfruchtsystem.

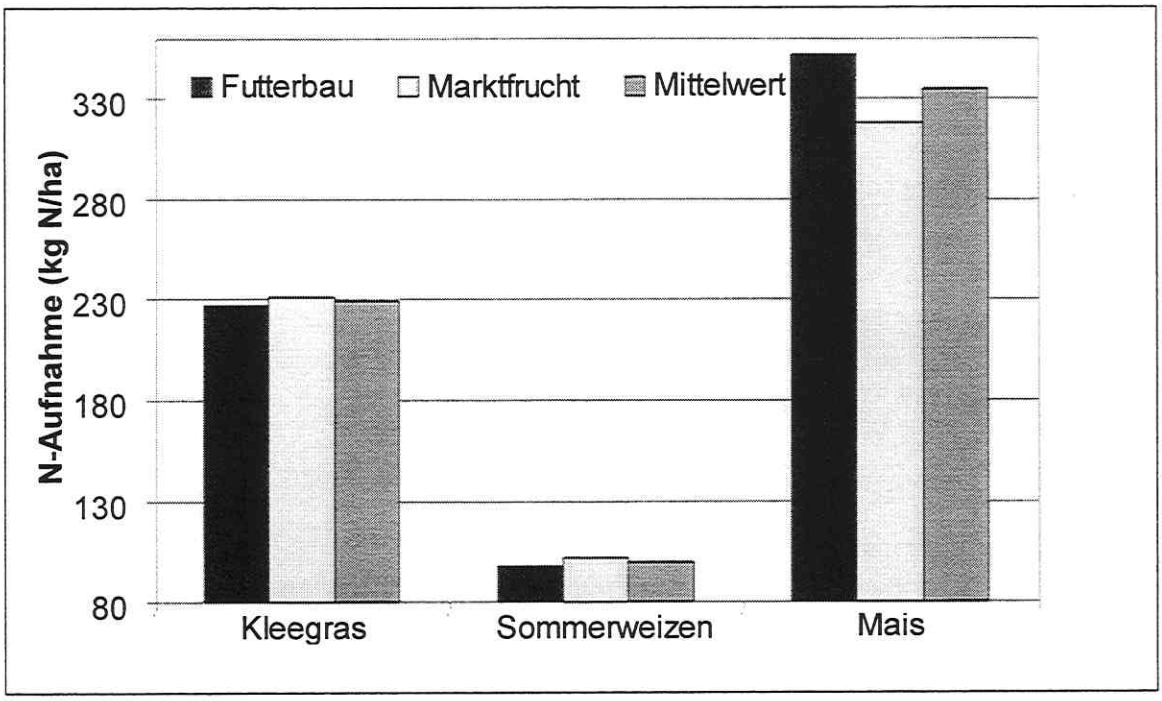


Abb. 28: N-Aufnahme (kg/ha) der Kulturarten im Vergleich der Anbausysteme am Standort Methau

4.5.2 N-Bilanzierung

Bei der Schlagbilanzierung wird die Zufuhr an Stickstoff in Form der organischen und mineralischen Düngung, der symbiontischen N-Fixierung und der N-Immission aus der Atmosphäre mit dem N-Entzug über die Ernteprodukte gegeneinander verrechnet (siehe Kap. 3). Aus der Differenz zwischen Zufuhr und Abfuhr ergeben sich der Saldo und damit Hinweise auf die Ausnutzung der N-Zufuhr.

Allgemein gilt, dass nach Ackerfutter stark positive N-Bilanzen, nach Hackfrüchten relativ hohe negative N-Bilanzsalden zu verzeichnen sind. Schlagbezogene N-Bilanzen schwanken fruchtartspezifisch stark. MENGE et al. (1998) sehen nach Auswertung zweijähriger Schlagkarteien hohe negative Salden als Folge der verringerten Düngung im ökologischen Landbau. Diese Schlussfolgerung lässt sich jedoch nicht bestätigen, wenn Bilanzierungen über mehrere Jahre oder über eine gesamte Fruchtfolge durchgeführt werden (SCHEFFER, 1996). Langfristig gesehen sind auch die Nährstoffmengen aus organischen Düngern voll anrechenbar. Damit eine möglichst exakte Bilanzierung gelingt, werden für die nachfolgenden Berechnungen die applizierten Düngermengen zu 100 %, eine jährliche N-Deposition von 30 kg pro ha

u. Jahr für den Ort Spröda und von 45 kg N/ha und Jahr für Methau (LIPPOLD, 2000) sowie die gesamte Versuchszeit berücksichtigt.

Außerdem kamen zwei Bilanzierungsverfahren zur Anwendung. Das eine Verfahren beruht auf der Nutzung der experimentell ermittelten Daten, wobei Zufuhr, Abfuhr und Saldo für jede Hauptvariante sowie für den Versuchsmittelwert getrennt aufgeführt werden. Darüber hinaus wurde mit Hilfe des Programms REPRO für beide Standorte und die untersuchten Anbausysteme aus der sogenannten erweiterten Bilanzrechnung zusätzlich die Änderung des Boden-N-Vorrats ermittelt.

4.5.2.1 Versuchsort Spröda

Die Stickstoffbilanzen der Futterbau- und der Marktfruchtvarianten unterscheiden sich stark voneinander, da auf den Futterbauflächen alle Ernte- und Koppelprodukte abgeerntet wurden und in den Marktfruchtvarianten nur die Ernteprodukte abgefahren und die Koppelprodukte inkl. Gründüngungsaufwüchse auf dem Acker verblieben waren (Tab. 9).

Nach dieser Berechnung ist der N-Input der Futterbauvarianten um ca. 45 kg N/ha und der Saldo um ca. 94 kg N/ha geringer als in den Marktfruchtvarianten. Die durchschnittlichen Salden sind in beiden Anbausystemen am Versuchsort Spröda positiv, so dass keine Stickstoffunterversorgung in der Fruchtfolge auftrat. Ein positiver Saldo entspricht einem N-Überhang, der nicht mit der wirklichen Höhe der Nitratauswaschung, sondern mit einer potentiellen Stickstoffbelastung gleichzusetzen ist (BACH et al., 1991).

Der hohe Stickstoffüberschuss von über 100 kg N/ha in den vieharmen Varianten ist zunächst als eine Ursache der sich akkumulierenden N-Menge infolge stetiger Gründüngung mit Leguminosen anzusehen. Es ist allerdings zu bedenken, dass die N-Syntheseleistung der Leguminosen zwischen Futterbau und Marktfrucht mit ein und dem selben Faktor berechnet worden ist. Es war aber zu erwarten, dass die Syntheseleistung auf den Marktfruchtflächen deutlich abnehmen kann, da der Aufwuchs immer als Mulch auf der Fläche verblieben ist. Im Futterbau ist der Saldo mit 9 kg N/ha nur leicht positiv. Auf die relativ geringe Nitratauswaschungsgefahr über den Winter in den einzelnen Anbaujahren wurde bereits hingewiesen. Wegen der ermittelten nur leicht positiven N-Bilanz erwarten HEGE & WEIGELT (1991) nur einen Nitratgehalt um den Richtwert von 25 mg NO_3/l Wasser in alternativ bewirtschafteten Betrieben.

Tab. 19: Zufuhr, Abfuhr und Bilanzsalden für Stickstoff (kg N/ha u. Jahr) der Versuchsjahre 1993 bis 1999 in Abhängigkeit von den Prüffaktoren im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Standort Spröda (Zufuhr inkl. 30 kg N/ha Immission, Kleegrasanteil i. d. Fruchtfolge ca. 30 %)

	Düngemittelart			Düngungshöhe				Vegetationsbegleitende Maßnahmen			
FUTTERBAU											
	Stall-mist	**Gülle**	**N-Mine-raldgg.**	**0,0 DE**	**0,5 DE**	**1,0 DE**	**2,0 DE**	**1**	**2**	**3**	**Mittel-werte**
Zufuhr	144,5	150,1	116,4	78,3	110,9	150,3	176,3	146,9	148,0	147,1	136,9
Abfuhr	130,1	130,7	110,9	128,5	127,4	128,7	132,9	126,5	132,2	132,5	128,0
Saldo	14,4	19,4	5,5	-50,2	-16,5	21,5	43,5	20,4	15,8	14,6	8,9
MARKTFRUCHT											
	Mulch	**Gülle**	**N-Mine-raldgg.**	**0,0 DE**	**0,5 DE**	**1,0 DE**	**2,0 DE**	**1**	**2**	**3**	**Mittel-werte**
Zufuhr	192,8	193,7	152,5	116,8	150,6	184,0	245,1	189,0	194,4	196,3	181,5
Abfuhr	80,3	79,0	72,0	77,7	77,4	78,8	82,9	75,4	80,5	83,1	78,7
Saldo	112,5	114,6	80,6	39,2	73,2	105,2	162,2	113,5	113,9	113,2	102,8
DURCHSCHNITT											
	Stall-mist Mulch	**Gülle**	**N-Mine-raldgg.**	**0,0 DE**	**0,5 DE**	**1,0 DE**	**2,0 DE**	**1**	**2**	**3**	**Mittel-werte**
Zufuhr	168,7	171,9	134,5	97,5	130,8	167,1	210,7	167,9	171,2	171,7	159,2
Abfuhr	105,2	104,9	91,4	103,1	102,4	103,7	107,9	101,0	106,3	107,8	103,4
Saldo	63,5	67,0	43,1	-5,5	28,4	63,4	102,9	67,0	64,9	63,9	55,8

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Einarbeitung

Zwischen den unterschiedlichen Dungarten sowie den vegetationsbegleitenden Maßnahmen mit und ohne Dungeinarbeitung waren kaum Unterschiede in den berechneten N-Bilanzen aufgetreten. Die größten Unterschiede waren infolge steigender Düngung zu verzeichnen (Tab. 19). Die Stickstoffzufuhr auf den ungedüngten Varianten setzt sich aus der Immission sowie aus den Wurzel- und Stoppelrückständen des Leguminosengrases in der Fruchtfolge zusammen. Die Varianten ohne Düngung sowie mit 0,5 DE/ha Zufuhr hatten im Futterbausystem im Durchschnitt der Jahre deutlich negative Salden zu verzeichnen. Zur Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen N-Bilanz würde nach diesen Ergebnissen die N-Zufuhr in Höhe von 1,0 DE/ha im Futterbau ausreichen, im Marktfruchtbau wäre keine zusätzliche Düngung außer der legumen Stickstoffbindung nötig.

Für den leichten Standort war im Versuchsdurchschnitt eine leicht positive Änderung des Bodenvorrats von 18 kg N/ha und Jahr festzustellen (Tab. 20). Das Marktfruchtsystem wies in Folge des höheren N-Inputs durch die auf den Flächen verbliebene organische Masse einen scheinbar deutlich höheren N-Saldo auf. Zwischen den Anbausystemen bestand in der Anrei-

cherung des Bodenvorrates allerdings nur ein geringer Unterschied von etwa 8 kg N/ha und Jahr. Trotz des positiven Einflusses des höheren N-Inputs auf die Boden N-Vorratsänderung, wurde auch nach diesen Berechnungen im Marktfruchtsystem eine geringere N-Abfuhr über die Ernteprodukte ermittelt als im Futterbausystem. Tabelle 20 zeigt Ergebnisse der erweiterten Bilanzrechnung für den Standort Spröda.

Tab. 20: Erweiterte Bilanzierung zur Berechnung der Änderung des Bodenvorrats an Stickstoff im Durchschnitt der Varianten während der Versuchsperiode 1993 – 1999 am Standort Spröda mit Hilfe des Programms REPRO

Variante	N-Zufuhr (kg N/ha*a)	N-Abfuhr (kg N/ha*a)	Änderung Boden-N-Vorrat (kg N/ha*a)	N-Saldo (kg N/ha*a)	N-Gesamt-Saldo inkl. Bodenändg. (kg N/ha*a)
Futterbau	135,5	113,9	13,8	7,8	21,6
Marktfrucht	177,6	100,1	22,1	55,4	77,5
Mittelwert	156,6	107,0	18,0	31,6	49,6

4.5.2.2 Versuchsort Methau

Im Vergleich zum Standort Spröda sind in Methau die N-Salden der Futterbauvarianten durch zum Teil hohe negative Werte gekennzeichnet. Aus versuchstechnischen Gründen wurde aber eine relativ lange Periode Feldfutter in Form von Kleegras angebaut, was mit einer hohen Stickstoffbindung durch die Leguminosen in den Jahren 1993 bis 1996 verbunden war. In diesen Jahren erfolgte keine Zufuhr organischer Düngemittel und die Kleegrasernte inkl. der erheblichen N-Mengen wurde von den Flächen abgeführt. Im Marktfruchtsystem erfolgte keine Abfuhr des Kleegrasaufwuchses. Hier konnten daher in allen Varianten deutlich positive N-Salden berechnet werden. Die N-Bilanz des Standortes Methau ist bei Betrachtung des gesamten Versuchszeitraumes seit 1993 mit annähernd 34 kg N/ha als leicht positiv zu bezeichnen. Zwischen den Salden der Varianten mit organischer Düngung trat eine Differenz von annähernd 20 kg N/ha auf, wobei die Salden der Varianten mit Stallmistdüngung in etwa die Höhe der Varianten mit N-Mineraldüngung erreichten (Tab. 21).

Tab. 21: Zufuhr, Abfuhr und Bilanzsalden für Stickstoff (kg N/ha u. Jahr) der Versuchsjahre 1993 – 1999 in Abhängigkeit von den Prüffaktoren im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Standort Methau (Zufuhr inkl. 45 kg N/ha Immission, Kleegrasanteil i. d. Fruchtfolge ca. 60 %)

	Düngemittelart			Düngungshöhe				Vegetationsbegleitende Maßnahmen			
FUTTERBAU											
	Stall-mist	**Gülle**	**N-Mine-raldgg.**	**0,0 DE**	**0,5 DE**	**1,0 DE**	**2,0 DE**	**1**	**2**	**3**	**Mittel-werte**
Zufuhr	176,8	164,5	182,8	108,1	142,4	165,7	203,8	168,7	169,6	173,5	165,6
Abfuhr	194,3	202,7	195,2	184,6	195,0	197,7	202,8	194,4	194,9	206,3	196,8
Saldo	-17,5	-38,3	-12,4	-76,5	-52,7	-32,0	1,0	-25,7	-25,2	-32,8	-31,2
MARKTFRUCHT											
	Stall-mist	**Mulch**	**N-Mine-raldgg.**	**0,0 DE**	**0,5 DE**	**1,0 DE**	**2,0 DE**	**1**	**2**	**3**	**Mittel-werte**
Zufuhr	276,1	258,1	269,5	208,2	237,7	262,9	300,6	262,2	267,5	271,5	261,4
Abfuhr	162,5	161,9	169,7	159,9	160,5	162,5	163,6	159,3	161,7	165,5	162,7
Saldo	113,6	96,2	99,8	48,3	77,2	100,4	137,1	102,9	105,8	105,9	98,7
DURCHSCHNITT											
	Stall-mist	**Gülle, Mulch**	**N-Mine-raldgg.**	**0,0 DE**	**0,5 DE**	**1,0 DE**	**2,0 DE**	**1**	**2**	**3**	**Mittel-werte**
Zufuhr	226,4	211,3	226,2	158,1	190,0	214,3	252,2	215,5	218,6	222,5	213,5
Abfuhr	178,4	182,3	182,5	172,2	177,8	180,1	183,2	176,9	178,3	185,9	179,8
Saldo	48,0	29,0	43,7	-14,1	12,2	34,2	69,0	38,6	40,3	36,5	33,8

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Einarbeitung

Zum besseren Vergleich der beiden Standorte wurde in der Tabelle 22 die Bilanzierung unter Zugrundelegung eines Kleegrasanteils in der Fruchtfolge berechnet, der am Ort Spröda vorgefunden wurde.

Tab. 22: Zufuhr, Abfuhr und Bilanzsalden für Stickstoff (kg N/ha u. Jahr) der Versuchsjahre 1996 – 1999 in Abhängigkeit von den Prüffaktoren im Futterbau- und Marktfruchtsystem am Standort Methau (Zufuhr inkl. 45 kg N/ha Immission, Kleegrasanteil i. d. Fruchtfolge ca. 30 %)

	Düngemittelart			Düngungshöhe				Vegetationsbegleitende Maßnahmen			
FUTTERBAU											
	Stall-mist	Gülle	N-Mine-raldgg.	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	1	2	3	Mittel-werte
Zufuhr	169,5	131,2	168,0	71,6	114,7	142,6	193,8	150,6	149,9	150,7	144,3
Abfuhr	151,8	154,5	157,1	139,9	148,6	152,3	158,5	152,4	148,1	159,0	152,2
Saldo	17,7	-23,3	11,0	-68,3	-33,9	-9,7	35,2	-1,8	1,8	-8,3	-8,0
MARKTFRUCHT											
	Stall-mist	Mulch	N-Mine-raldgg.	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	1	2	3	Mittel-werte
Zufuhr	233,8	202,1	235,6	134,9	176,3	208,3	269,2	217,2	217,5	219,2	211,4
Abfuhr	146,1	149,9	161,0	140,5	143,7	146,9	153,3	148,3	146,2	149,5	148,5
Saldo	87,8	52,2	74,6	-5,6	32,6	61,4	115,9	68,9	71,3	69,7	62,9
DURCHSCHNITT											
	Stall-mist	Gülle, Mulch	N-Mine-raldgg.	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	1	2	3	Mittel-werte
Zufuhr	201,7	166,7	201,8	103,3	145,5	175,5	231,5	183,9	183,7	185,0	177,8
Abfuhr	148,9	152,2	159,0	140,2	146,2	149,6	155,9	150,3	147,1	154,3	150,4
Saldo	52,7	14,5	42,8	-36,9	-0,7	25,9	75,6	33,6	36,5	30,7	27,5

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Einarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Einarbeitung

Bei der N-Bilanz des Standortes Methau mit einem Kleegrasanteil in der Fruchtfolge von 30 % wird deutlich, dass sich mit annähernd 28 kg N/ha der N-Überschuss nicht wesentlich von dem Saldo unterscheidet, der mit annähernd 34 kg N/ha im gesamten Versuchszeitraum gefunden worden war.

Bei einem vergleichbaren Kleegrasanteil wie am Ort Spröda war im Versuchsdurchschnitt immer noch ein Unterschied von annähernd 70 kg N/ha und Jahr zwischen den Salden im Futterbausystem und im Marktfruchtsystem festzustellen (Tab. 22). Die scheinbare N-Zufuhr im Marktfruchtsystem war in Folge der Koppelrückstände um ca. 67 kg N/ha und Jahr höher und die N-Abfuhr jedoch um nur annähernd 4 kg N/ha geringer als die jeweiligen Werte im Futterbausystem.

Aus den Ergebnissen der erweiterten Bilanzrechnungen geht hervor, dass für den Standort Methau für den Zeitraum der gesamten Versuchsdurchführung (1993 - 1999) im Durchschnitt ebenfalls eine positive Änderung des Bodenvorrates von annähernd 34 kg N/ha und Jahr festzustellen war (Tab. 23).

Tab. 23: Erweiterte Bilanzierung zur Berechnung der Änderung des Bodenvorrats an Stickstoff im Durchschnitt der Varianten während der Versuchsperiode 1993 – 1999 sowie der Periode 1996 – 1999 am Standort Methau mit Hilfe des Programms REPRO

Versuchs-periode 1993-1999	N-Zufuhr (kg N/ha*a)	N-Abfuhr (kg N/ha*a)	Änderung Boden-N-Vorrat (kg N/ha*a)	N-Saldo (kg N/ha*a)	N-Gesamt-Saldo (inkl. Bodenändg.) (kg N/ha+a)
Futterbau	174,6	188,4	17,0	-30,8	-13,8
Marktfrucht	276,1	158,0	50,7	67,4	118,1
Mittelwert	225,4	173,2	33,9	18,3	52,2
Versuchsperiode 1996-1999					
Futterbau	130,2	142,6	-42,5	-12,4	30,1
Marktfrucht	226,2	145,8	14,2	66,3	80,5
Mittelwert	178,2	144,2	-14,2	34,0	48,2

Zwischen den Anbausystemen bestand gleichermaßen ein Unterschied in der Anreichung des Boden-N-Vorrates von etwa 33 kg N/ha. Das Futterbausystem hatte mit 17 kg N/ha eine geringere Anhebung des Bodenvorrates als das Marktfruchtsystem zur Folge. Mit Berücksichtigung der Änderung der Boden-N-Vorräte, betrug der N-Saldo im Futterbausystem –14 kg N/ha, ohne Einbeziehung der positiven Änderung der Boden-Vorräte –31 kg N/ha und Jahr. Das Marktfruchtsystem bewirkte anscheinend durch den annähernd um 100 kg N/ha höheren Input eine Anhebung des Boden-N-Vorrates um 51 kg, sowie einen noch etwas höheren N-Saldo. In diesem Anbausystem ist trotz der Anhebung der Boden-N-Vorräte ein geringerer N-Output festzustellen als im Futterbausystem.

Unter Zugrundelegung eines zum Standort Spröda vergleichbaren Leguminosenanteils in der Fruchtfolge während der Hauptuntersuchungsperiode (1996 - 1999) war im Durchschnitt eine leicht negative Änderung des Bodenvorrates von etwa –14 kg N/ha und Jahr festzustellen (Tab. 23). Der Abbau des Stickstoffs im Boden am Standort Methau hatte seine Ursache in dem mit –43 kg N/ha stark negativem Wert im Durchschnitt des Futterbausystems. Ohne Berücksichtigung der Änderung der Boden-N-Vorräte betrug der Saldo im Futterbausystem über –12 kg N/ha, mit Einbeziehung der negativen Änderung der Bodenvorräte +30 kg N/ha und Jahr. Trotz der Verringerung der Boden-N-Werte war ein ähnlich hoher N-Output wie im Marktfruchtbau festzustellen. Im Marktfruchtsystem dagegen war durch einen um annähernd 100 kg N/ha höheren Input eine leicht positive Änderung des Bodenvorrates von etwa 14 kg N/ha berechnet worden, der Unterschied zwischen den Anbausystemen betrug in etwa 57 kg N/ha und Jahr.

Folgende Schlussfolgerungen können aus den Bilanzrechnungen gezogen werden. Es waren keine großen Unterschiede in der langfristigen Wirkung der getesteten organischen Düngemittel festzustellen. Eine steigende Düngung führte besonders am Standort Spröda zu keiner deutlichen Anhebung der N-Abfuhren, so dass die Salden sich entsprechend stark differenziert haben. Im Durchschnitt der Versuche wurden am Ort Methau auf den Flächen ohne Düngung Werte um –37 kg N/ha und nach Düngung mit 2,0 DE/ha N-Salden von über +75 kg gefunden. Am Vergleichsort Spröda waren es –6 kg N/ha ohne Düngung und sogar über 100 kg bei hoher Düngung. Ein ausgeglichener Saldo wurde am Ort Spröda zwischen 0,0 DE und 0,5 DE/ha und am Ort Methau zwischen 0,5 DE und 1,0 DE/ha ermittelt.

Von den drei vegetationsbegleitenden Maßnahmen war diejenige mit großem Reihenabstand und Dungeinarbeitung am günstigsten zu bewerten. Bei dieser Variante wurden an beiden Versuchsorten etwas höhere Entzüge und geringere positive N-Salden ermittelt. Entsprechend den günstigeren Bedingungen des Bodens und der Witterung wurden am Anbauort Methau im Versuchsdurchschnitt ungefähr 50 % höhere N-Abfuhren und ebenfalls 50 % geringere N-Überschüsse je Hektar und Jahr vorgefunden.

Zwischen den beiden Anbausystemen gab es erhebliche Unterschiede in den ermittelten Bilanzparametern. Auf den Marktfruchtflächen wurden im Vergleich zu den Futterbauvarianten deutlich höhere N-Zufuhren und geringfügig (Methau) bis deutlich (Spröda) geringere Abfuhren ermitttelt. Diese jeweils ungünstigeren Konstellationen zwischen In- und Output hatten zur Folge, dass die N-Salden im Marktfruchtsystem mit +63 kg N/ha (Methau) und +103 kg N/ha (Spröda) sehr hoch waren, während im Versuchsdurchschnitt auf den Futterbauflächen annähernd ausgeglichene N-Salden vorgefunden wurden.

Zwischen den beiden angewendeten Berechnungsverfahren zur Bilanzierung gab es nur rel. geringe Unterschiede in der Ausweisung der Werte für Zufuhr und Abfuhr. Dagegen wurden die mit der erweiterten Bilanzrechnung ermittelten Saldowerte z. T. deutlich reduziert. Nach diesen Modellkalkulationen können z. B. in den Marktfruchtsystemen über 25 % der Saldowerte auf dem Sandboden in Spröda und ca. 18 % der Werte auf dem Lößboden in Methau einer positiven Boden-N-Vorratsänderung zugeschrieben werden. Der verbleibende Rest würde auf die N-Auswaschung sowie auf flüchtige N-Verbindungen (N_2, NH_3-N) entfallen oder nur als ein scheinbar existierender Betrag anzusehen sein, da die N-Synthese der Leguminosen immer nur mit einem feststehenden Faktor berechnet worden ist.

Die mit dem Programm REPRO berechneten Werte für die Bodenänderung des N-Vorrates stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen, die in den Feldversuchen an beiden Orten gemessen worden sind (vgl. Kap. 44). Eine genaue Analyse wird im 2. Teil der Ergebnisdarstellung vorgenommen (siehe BECKMANN et al., 2001).

4.5.3 N-Effizienzberechnungen

4.5.3.1 Ressourcen-Effizienz

Für die Nährstoff- oder Ressourcen-Effizienzen wurden Relationen zwischen dem N-Aneignungsvermögen der Pflanzen bzw. der Menge an aufgenommenem Stickstoff und der Menge an angebotenem Stickstoff berechnet (CZAUDERNA, 1990). Der aufgenommene Stickstoff der Pflanzen errechnet sich aus dem Trockenmasse-Ertrag und dem Stickstoffgehalt im Erntegut.

Es wurden Teilbereiche der Zufuhr (organische und mineralische Düngung, N_{min}-Werte im Frühjahr) der N-Aufnahme bzw. dem N-Ertrag der angebauten Kulturarten der Zeitperiode 1996 – 1999 gegenübergestellt (N-Aneignungsvermögen). Eine weitergehende Beurteilung der N-Effizienz stellt die Einbeziehung aller Stickstoffquellen aus der N-Bilanz dar. In diesen Berechnungen sind die seit Versuchsbeginn im Jahr 1993 erhobenen Daten einbezogen worden. Die Verwertung des angebotenen Stickstoffs durch die Kulturpflanzen wurde im Hinblick auf die N-Abfuhr- bzw. N-Entzugseffizienz sowie für die N-Aufnahme- bzw. N-Ertragseffizienz für die beiden Versuchsstandorte getrennt und im Gesamtüberblick dargestellt.

Zur Bewertung von gasförmigen N-Emissionen, die im 2. Teilbericht detailliert abgehandelt werden (BECKMANN et al., 2001), wird zunächst nur für den Standort Spröda auf Effizienzkennzahlen verschiedener Düngungsverfahren eingegangen. Hierzu wurden abweichend von den anderen Berechnungsverfahren die gasförmigen Verluste an N_2O-N und NH_3-N jeweils in Relation zur Düngungszufuhr von 100 kg Gesamt-N bzw. NH_4-N gesetzt.

Versuchsort Spröda

N-Emissionen in Relation zur vegetationsbegleitenden Düngung

Im Zuge der vegetationsbegleitenden Düngungsmaßnahmen sind die N_2O-N- und NH_3-Emissionen gemessen worden (siehe BECKMANN et al., 2001). Nach Abzug der Emission der ungedüngten Standardparzellen wurden bei Verwendung der Bezugsbasis Gesamt-N N_2O-N-Werte zwischen 0,38 kg und 0,48 kg N/ha, bei Verwendung der Bezugsbasis NH_4-N Werte zwischen 1,0 kg und 2,3 kg N/ha berechnet (Tab. 24). Im Durchschnitt der Versuche wurden die Emissionen aus der Gülledüngung durch Einarbeitung um ca. 5 % reduziert und nach Jauchedüngung zwischen 10 % und 17 % erhöht.

Im Durchschnitt wurden aus dem Mulchmaterial ähnlich hohe N_2O-Emissionen gemessen wie aus den untersuchten Flüssigdüngern. Nach Jaucheapplikation wurden um 1,3 kg N/ha je 100 kg NH_4-N-Düngung emittiert. Die Beträge lagen nach Gülledüngung um 35 – 40 % deutlich niedriger.

Unabhängig von der verwendeten Bezugsbasis liegen die NH_3-Emissionen deutlich über den N_2O-N-Emissionen (Tab. 25). Nach Gülleausbringung ohne Einarbeitung werden im Durchschnitt 9,3 kg NH_3-N/ha je 100 kg N_t bzw. 18,5 kg NH_3-N/ha je 100 kg NH_4-N gemessen. Je nach Bezugsbasis lagen die Emissionswerte nach Jauchedüngung um 81 % bzw. 71 % deutlich niedriger als die nach Gülledüngung. Die direkte Düngemittelinjektion in den Boden hatte bewirkt, dass die NH_3-Emissionen unabhängig von der verwendeten Dungart um 60 % reduziert worden waren. Diese Reduktion betrug bei Verwendung der Jauche 3,3 kg und bei Verwendung der Gülle 11,1 kg/ha NH_3-N je 100 kg NH_4-N-Applikation.

Tab. 24: N_2O-N-Emissionen (kg N/ha) nach vegetationsbegleitenden Düngungsmaßnahmen berechnet für eine Ausbringung von 100 kg Gesamt-N bzw. 100 kg NH_4-N/ha

	Bezugsbasis 100 kg –Gesamt-N/ha			Bezugsbasis 100 kg NH_4-N/ha		
Versuchsjahr:	1999	1999	Mittelwert	1998	1999	Mittelwert
Kulturart:	S.-Weizen	Mais		S.-Weizen	Mais	
Ohne Abzug der Emission aus dem Standard (ohne Düngung)						
Ohne Dungeinarbeitung						
Mulch MF	0,298	1,136	0,717	-	-	-
Jauche FB	0,657	0,865	0,761 = 100 %	1,648	2,703	2,176 = 100 %
Gülle FB	0,521	0,805	0,663 = 100 %	1,080	1,570	1,325 = 100 %
Mit Dungeinarbeitung						
Jauche FB	0,447	1,162	0,805 = 105,8 %	1,121	3,631	2,376 = 109,2 %
Gülle FB	0,411	0,801	0,606 = 91,4 %	0,853	1,719	1,286 = 97,1 %
Gülle MF	0,474	1,017	0,746	0,983	1,983	1,483
Mit Abzug der Emission aus dem Standard (ohne Düngung)						
Ohne Dungeinarbeitung						
Mulch MF	0,040	0,748	0,394	-	-	-
Jauche FB	0,425	0,430	0,428 = 100 %	1,067	1,343	1,205 = 100 %
Gülle FB	0,272	0,526	0,399 = 100 %	0,565	1,026	0,796 = 100 %
Mit Dungeinarbeitung						
Jauche FB	0,215	0,727	0,470 = 109,8 %	0,539	2,270	1,405 = 116,6 %
Gülle FB	0,163	0,602	0,383 = 95,9 %	0,338	1,174	0,756 = 95,0 %
Gülle MF	0,226	0,738	0,482	0,468	1,439	0,954

FB = Futterbau; MF = Marktfrucht

Tab. 25: NH_3-N-Emissionen (kg N/ha) nach vegetationsbegleitenden Düngungsmaßnahmen berechnet für eine Ausbringung von 100 kg Gesamt-N bzw. 100 kg NH_4-N/ha

	Bezugsbasis 100 kg Gesamt-N/ha			Bezugsbasis 100 kg NH_4-N/ha		
Versuchsjahr:	1998	1999	Mittelwert	1998	1999	Mittelwert
Kulturart:	S.-Weizen	Mais		S.-Weizen	Mais	
Ohne Dungeinarbeitung						
Gülle	7,232	11,304	9,268 = 100 %	14,980	22,044	18,512 = 100 %
Jauche	0,168	3,289	1,729 = 100 %	0,421	10,276	5,349 = 100 %
Mit Dungeinarbeitung						
Gülle	1,551	5,959	3,755 = 40,5 %	3,213	11,621	7,417 = 40,1 %
Jauche	0,341	1,060	0,701 = 40,5 %	0,855	3,312	2,084 = 39,0 %
Applikationstechnik						
Ohne Einarbeitung	3,700	7,297	5,499 = 100 %	7,701	16,160	11,931 = 100 %
Mit Einarbeitg.	0,946	3,510	2,228 = 40,5 %	2,034	7,467	4,751 = 39,8 %

N-Emissionen in Relation zur Gründüngungs- und Gesamt-N-Zufuhr

Tabelle 26 zeigt zunächst die auf den untersuchten Varianten ermittelten durchschnittlichen N_2O-N-Emissionen. Sie lagen zwischen 2,4 kg und 3,1 kg N/ha und Jahr (Mittelwert 2,7 kg N/ha). Es wurde keine große Schwankung zwischen den einzelnen Varianten vorgefunden. Werden die entsprechenden N_2O-N-Emissionen auf die Basis 100 kg N-Zufuhr aus Leguminosengras bezogen, so ist eine wesentlich größere Schwankung der Werte zwischen den Varianten zu registrieren. Es konnten Werte zwischen 1,0 kg und 7,1 kg N_2O-N/ha je 100 kg N-Zufuhr berechnet werden (Mittelwert 5,6 kg N/ha).

Werden Mittelwerte der N-Zufuhr aus langfristigen Zeitperioden als Bezugsbasis verwendet, so nehmen die Werteschwankungen wieder deutlich ab, während die Variantenunterschiede jedoch bestehen bleiben. Bei Verwendung der Zeitperiode 1993 – 1999 als Bezugsbasis wurde eine mittlere Emission von 1,9 kg N_2O-N/ha je 100 kg N-Zufuhr ermittelt. Die Schwankung beträgt nur noch 1,5 – 3,1 kg N/ha.

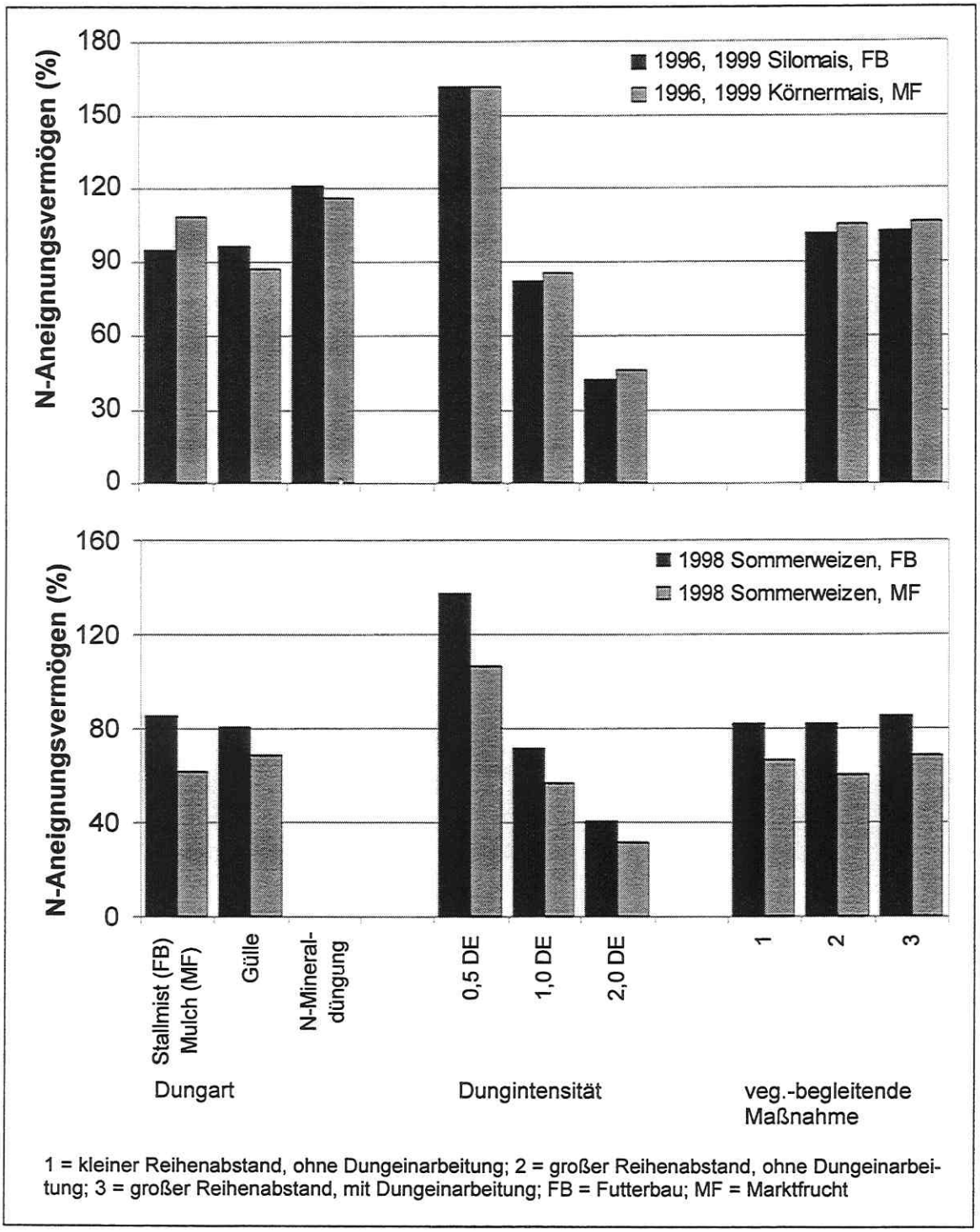
Tab. 26: Jahresmittelwerte sowie auf Bezugsbasis 100 kg N-Zufuhr berechnete N_2O-N-Emission der untersuchten Varianten

Bezugsbasis:	Jahresmittelwert (kg N_2O-N/ha u. J.)	100 kg N-Zufuhr aus Leguminosengras (kg N_2O-N/ha)	100 kg Gesamt-N-Zufuhr (kg N_2O-N/ha)	
			1998 – 1999	1993 - 1999
Futterbau				
Standard 0,0 DE/ha	2,42	7,08	3,77	3,09
Jauche 1,0 DE/ha	2,76	4,89	1,93	1,84
Gülle 1,0 DE/ha	2,38	3,37	1,59	1,58
Marktfrucht				
Mulch 1,0 DE/ha	2,84	1,37	1,19	1,54
Gülle 1,0 DE/ha	3,06	1,02	1,29	1,66
Mittelwert	**2,69**	**3,55**	**1,95**	**1,94**
Düngungshöhe				
0,0 DE/ha	2,42	7,08	3,77	3,08
1,0 DE/ha	2,57	4,06	1,76	1,71
Mittelwert	**2,50**	**5,57**	**2,77**	**2,40**
Anbausysteme				
Futterbau	2,57	4,06	1,76	1,71
Marktfrucht	2,95	1,19	1,24	1,60
Mittelwert	**2,76**	**2,63**	**1,50**	**1,66**

N-Aneignungsvermögen

Wie aus Abbildung 29 hervorgeht, waren für die Maiskulturen der Jahre 1996 und 1999 keine großen Unterschiede im Aneignungsvermögen des Stickstoffangebots (Düngemittel-N zu 100 % angerechnet) zwischen dem Futterbau- und dem Marktfruchtsystem zu erkennen. Im Jahr 1996 war das N-Aneignungsvermögen des Körnermaises auf den Marktfruchtvarianten im Durchschnitt um etwa 13 % höher als auf den Futterbauvarianten. Im Jahr 1999 lag das N-Aneignungsvermögen des Silomaises im Futterbausystem um 10 % höher. Im Durchschnitt der Versuche war die Stickstoffaneignung des Maises unter der Mineraldüngung mit fast 119 % am höchsten. Die Varianten der Gülledüngung hatten im Vergleich zur Stallmist- bzw. Mulchdüngung in den Futterbau- und Marktfruchtvarianten eine etwas niedrigere Stickstoff-aneignung zur Folge. Je höher die Düngung erfolgte, desto geringer wurde das N-Aneignungsvermögen des Maises. Die größte Wirkung auf die Stickstoffaneignung hatte in beiden Anbausystemen mit etwa 160 % eine Düngungshöhe von einer halben Dungeinheit ausgeübt.

Im Durchschnitt der untersuchten Prüffaktoren war das Stickstoff-Aneignungsvermögen von Sommerweizen des Anbaujahres 1998 im Anbausystem Futterbau mit 83 % höher als das des Marktfruchtsystems mit etwa 65 % (Abb. 29). Zwischen den Varianten der Düngemittelarten waren kaum Unterschiede zu erkennen. Die Varianten der N-Mineraldüngung konnten wegen Versuchsfehlern nicht zum Vergleich herangezogen werden. Je höher die Düngung erfolgte, desto geringer wurde das N-Aneignungsvermögen des Sommerweizens.



1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung; FB = Futterbau; MF = Marktfrucht

Abb. 29: N-Aneignungsvermögen bezogen auf die organische bzw. mineralische Düngung (= 100 %) von Mais der Anbaujahre 1996 und 1999 sowie von Sommerweizen des Jahres 1998 in Abhängigkeit von den einzelnen Prüffaktoren am Standort Spröda

Setzt man den im Frühjahr verfügbaren Stickstoff im Boden (Frühjahrs-N_{min}) ins Verhältnis zur Stickstoffaufnahme des Maises, so war im Jahr 1996 im Futterbausystem ein geringeres N-Aneignungsvermögen und im Jahr 1999 ein etwas höheres N-Aneignungsvermögen als im Marktfruchtsystem festzustellen (Abb. 30). Im Hinblick auf die verwendeten Dungarten war im Jahr 1996 im Marktfruchtsystem ein hoher Unterschied im N-Aneignungsvermögen des Maises zu beobachten. Im Durchschnitt der Versuche waren die Varianten mit der N-Mineraldüngung mit etwa 80 % durch verhältnismäßig niedrige und die Flächen mit Mulchdüngung mit mehr als 125 % durch relativ hohe Werte im Aneignungsvermögen gekennzeichnet. In beiden Anbaujahren stieg das Aneignungsvermögen bis zur Düngungshöhe von 0,5 - 1,0 DE/ha an. Dem gegenüber sank das N-Aneignungsvermögen nach sehr hoher Düngung (2,0 DE/ha) wieder ab.

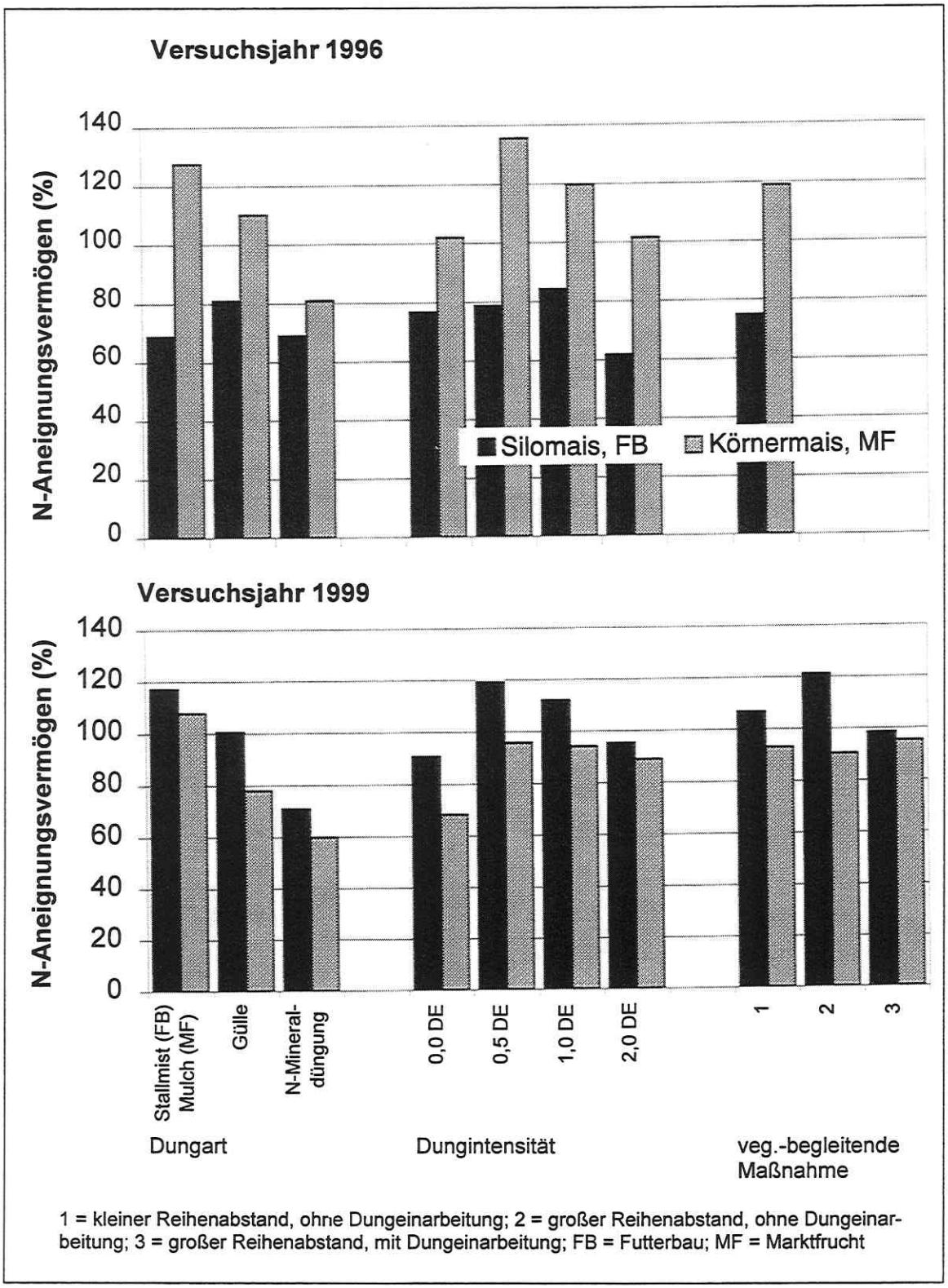


Abb. 30: N-Aneignungsvermögen in Relation zur Menge an Frühjahrs-N_{min} (= 100 %) von Mais in Abhängigkeit von den einzelnen Prüffaktoren am Standort Spröda (1996 - 1999)

N-Abfuhr- und N-Ertragseffizienz

Die durchschnittliche N-Gesamteffizienz auf dem Sandboden war im Futterbausystem mit mehr als 95 % annähernd doppelt so hoch wie im Marktfruchtsystem mit etwa 50 % (Abb. 31). Auf dem leichten Standort war für das Futterbausystem im Vergleich zum Marktfruchtsystem eine um annähernd 50 % höhere N-Abfuhr-Effizienz und eine noch um 30 % höhere N-Ertrags-Effizienz abzulesen. Als Ursache für diese Unterschiede konnte aufgezeigt werden, dass im Futterbausystem im Vergleich zum Marktfruchtsystem außer den in den Ernte- und Wurzelrückständen verbliebenen Stickstoffmengen der gesamte N-Ertrag abgefahren wurde.

Die Effizienzunterschiede zwischen den organischen Dungarten waren in beiden Anbausystemen unerheblich. Dagegen waren ebenfalls in beiden Anbausystemen deutlich sinkende N-Verwertungen auf den Flächen mit ansteigender Düngung zu beobachten. Von den Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen war eine geringfügig bessere N-Abfuhr-Effizienz in der Variante mit großen Reihenabständen mit Dungeinarbeitung festzustellen. Bezüglich der N-Ertrags-Effizienz ergaben sich für die Varianten ohne Dungeinarbeitung geringfügig bessere Werte in der N-Verwertung.

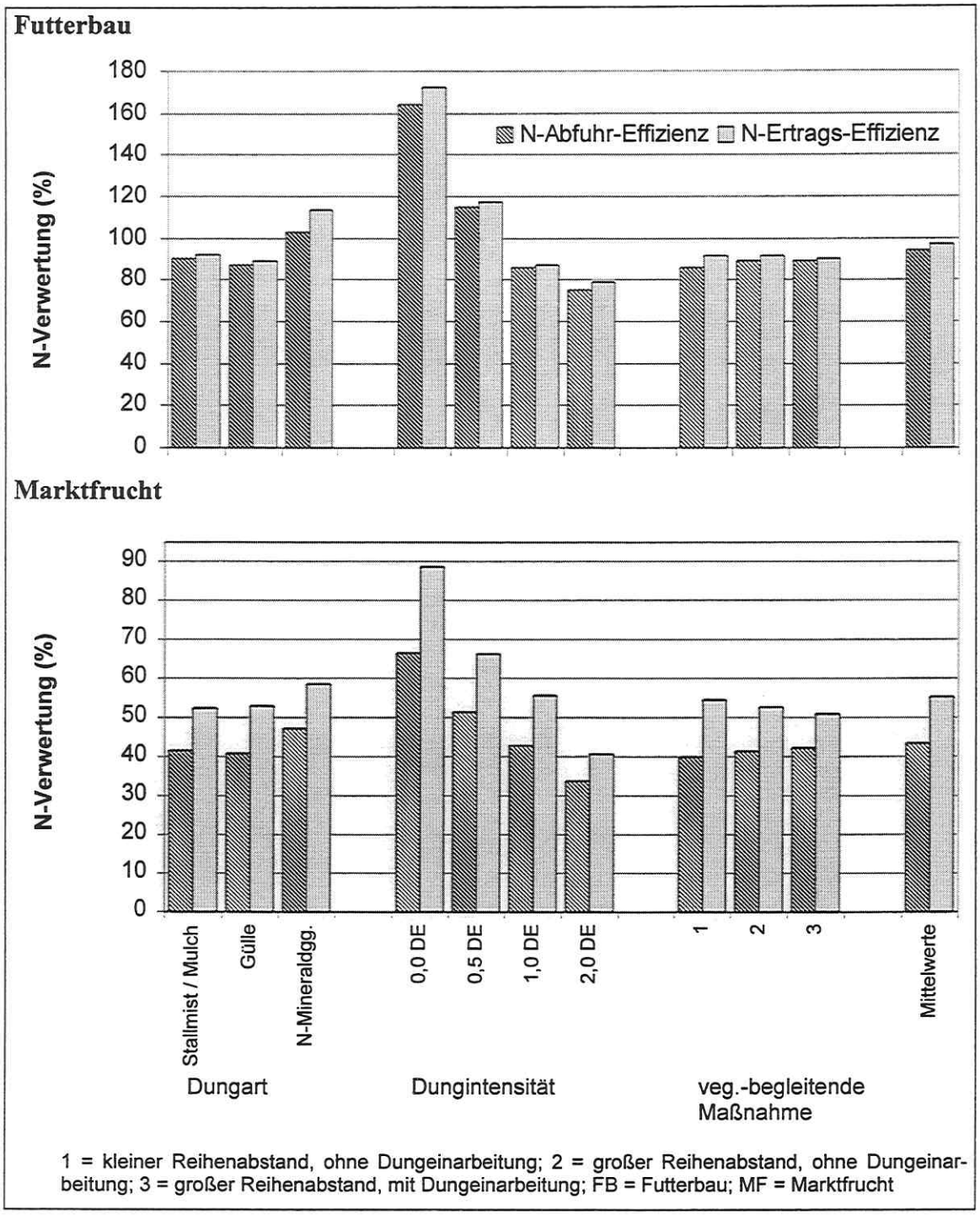


Abb. 31: N-Abfuhr- und N-Ertragseffizienz bezogen auf die Gesamt-N-Zufuhr (= 100 %) der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht der Versuchsjahre 1993 – 1999 in Abhängigkeit von den Prüffaktoren am Standort Spröda (Kleegrasanteil in der Fruchtfolge 30 %)

Versuchsort Methau

N-Aneignungsvermögen

Der Sommerweizen nutzte im Durchschnitt der Anbaujahre 1997 und 1999 den aus der Düngung angebotenen Stickstoff auf den Futterbau- und Marktfruchtvarianten zu etwa 140 % (Abb. 32). Der Einfluss einer steigenden Düngung auf das N-Aneignungsvermögen des Sommerweizens war in den Futterbauvarianten weniger stark ausgeprägt als in den Marktfruchtvarianten. Die Düngung in Höhe von 0,5 DE/ha hatte bei den Marktfruchtvarianten eine höhere N-Aneignung zur Folge als bei den Futterbauvarianten. Die Bestände mit normalem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung hatten eine geringfügig höhere N-Aneignung aufzuweisen als die Bestände mit anderen vegetationsbegleitenden Maßnahmen. Im Vergleich zur organischen Düngung wiesen die Bestände mit N-Mineraldüngung ein geringeres Aneignungsvermögen des angebotenen Dünger-Stickstoffes auf. Mit ansteigender Düngung wurde das Aneignungsvermögen deutlich verringert.

Die besten Werte im Aneignungsvermögen des Jahres 1998 zeigten wiederum die Varianten mit einer Düngung in Höhe von einer halben Dungeinheit (Abb. 32). Darüber hinaus führte steigende Düngung zu einer deutlichen Abnahme der N-Ausnutzung. Die Varianten mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung hatten in diesen Versuchen eine etwas höhere N-Aufnahme des Maises aufgewiesen als die anderen vegetationsbegleitenden Maßnahmen.

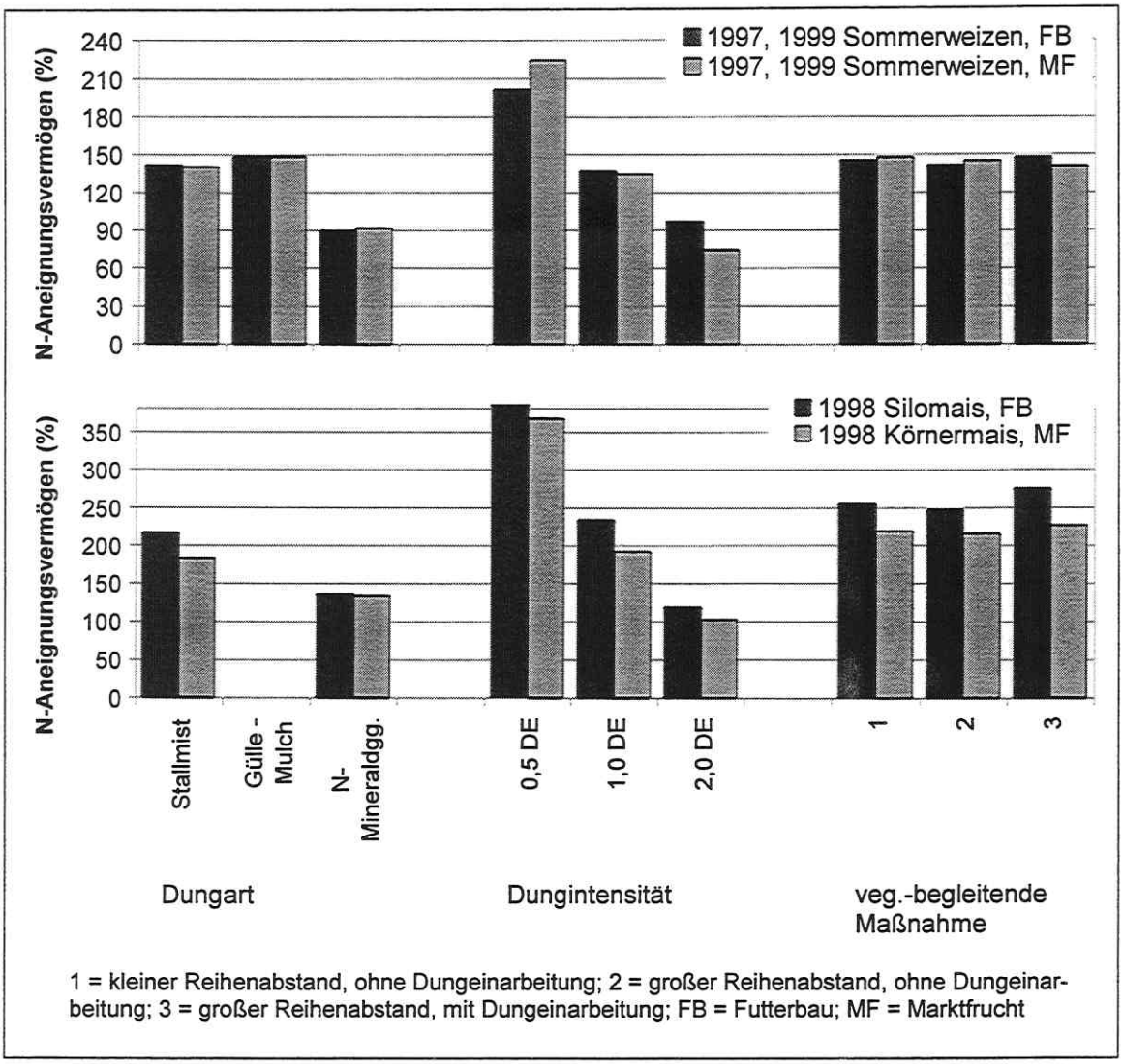


Abb. 32: N-Aneignungsvermögen bezogen auf die organische bzw. mineralische Düngung (= 100 %) von Sommerweizen und Mais in Abhängigkeit von den einzelnen Prüffaktoren am Standort Methau (1996 - 1999)

Durch mulchgedüngten Sommerweizen der Marktfruchtvariante wurde der im Frühjahr angebotene Stickstoff (Frühjahrs-N_{min}) im Vergleich zu den anderen Dungvarianten am besten ausgenutzt. Am schlechtesten war die N-Ausnutzung auf den stallmistgedüngten Varianten (Abb. 33). Der Einfluss einer steigenden Düngung auf das N-Aneignungsvermögen des Sommerweizens war in den Futterbauvarianten weniger stark ausgeprägt als in den Marktfruchtvarianten. Die Marktfruchtvarianten mit einer Düngung von 1,0 Dungeinheit wiesen eine verhältnismäßig hohe Ausnutzung auf. Der normale Weizen-Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung hatte im Futterbausystem eine geringere N-Aneignung der Pflanzen als die anderen vegetationsbegleitenden Maßnahmen bedingt. Im Marktfruchtsystem zeigte sich ein entgegengesetzter Effekt.

Im Maisanbaujahr 1998 zeigte die Mulchvariante wiederum das beste N-Aneignungsvermögen. Eine steigende Düngung führte erneut zu einer starken Abnahme der Verwertung der Frühjahrs-N_{min}-Gehalte. Im Futterbausystem waren zwischen den Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen keine Unterschiede festzustellen. Im Marktfruchtsystem zeigte sich für die Maisbestände auf den Flächen mit normalem Mais-Reihenabstand mit Dungeinarbeitung eine höhere N-Aneignung der Pflanzen.

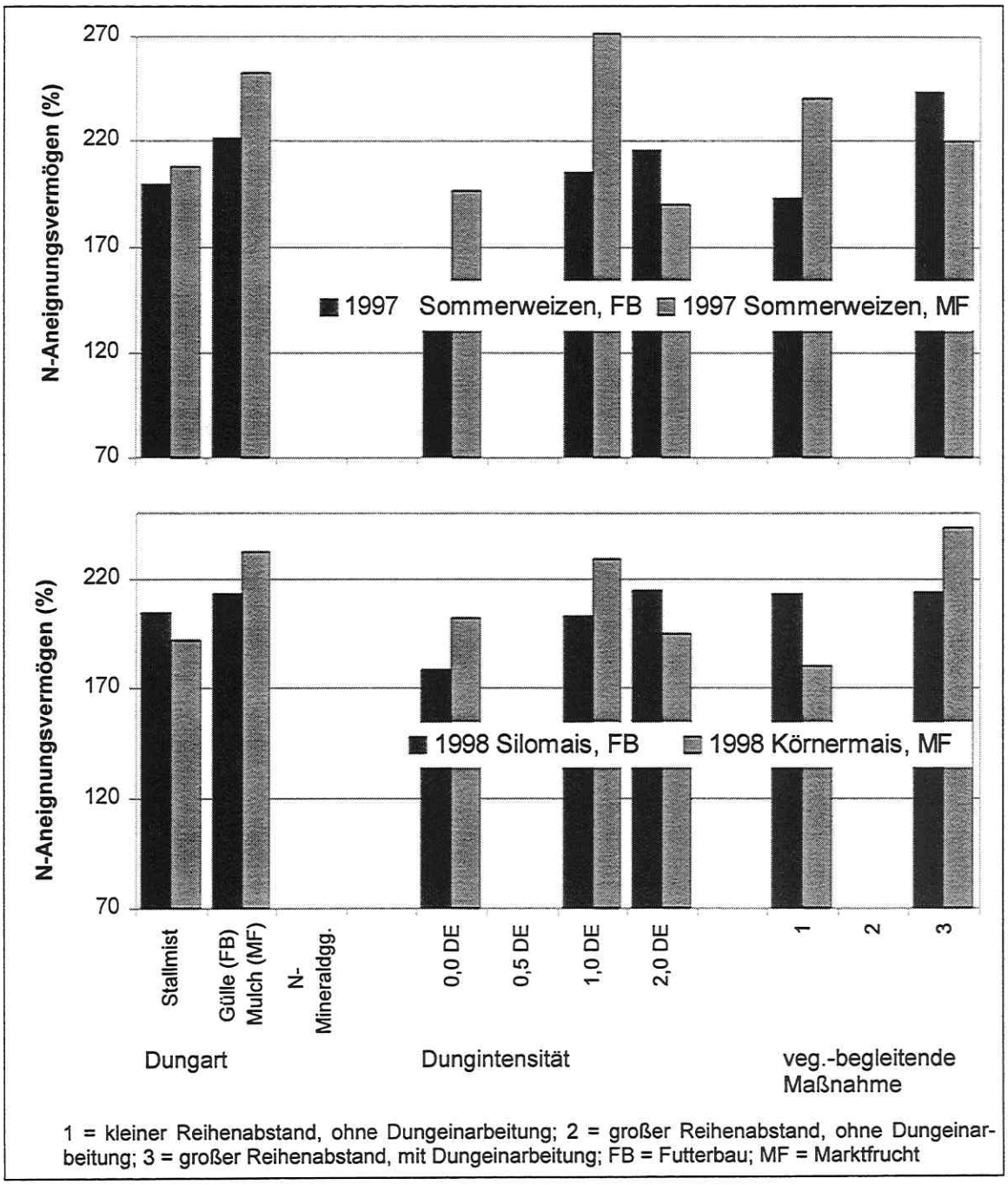


Abb. 33: N-Aneignungsvermögen bezogen auf die Frühjahrs-N_{min}-Werte (= 100 %) von Sommerweizen und Mais in Abhängigkeit von den einzelnen Prüffaktoren am Standort Methau (1996 - 1999)

Im Durchschnitt der Versuche wies an beiden Standorten das Futterbausystem ein etwas besseres Aneignungsvermögen des über die Düngung angebotenen Stickstoffs als das Marktfruchtsystem auf (Abb. 34). Auf dem Sandboden in Spröda erreichte das Futterbausystem mit 98 % in etwa das gleiche Niveau wie das Marktfruchtsystem mit cirka 96 % Aneignungsvermögen. Auf dem Lößboden in Methau war insgesamt eine wesentlich höhere N-Effizienz zu verzeichnen. Darüber hinaus wies das Futterbausystem mit fast 173 % ein um cirka 12 % höheres Aneignungsvermögen als das Marktfruchtsystem auf.

Auf dem leichten Boden am Standort Spröda wiesen die Varianten mit N-Mineraldüngung im Vergleich zu den anderen Dungarten in beiden Anbausystemen ein etwas besseres Aneignungsvermögen auf (Abb. 34). Auf dem schweren Boden in Methau zeigten die Varianten der organischen Düngung ein gleich hohes Aneignungsvermögen für den Düngerstickstoff. Wie in den einzelnen Auswertungsabschnitten bereits aufgezeigt wurde, hatte an beiden Standorten eine steigende Düngung eine sinkende Ausnutzung der Düngung zur Folge. An beiden Standorten waren auf den Varianten mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung etwas höhere Werte im Aneignungsvermögen zu ermitteln.

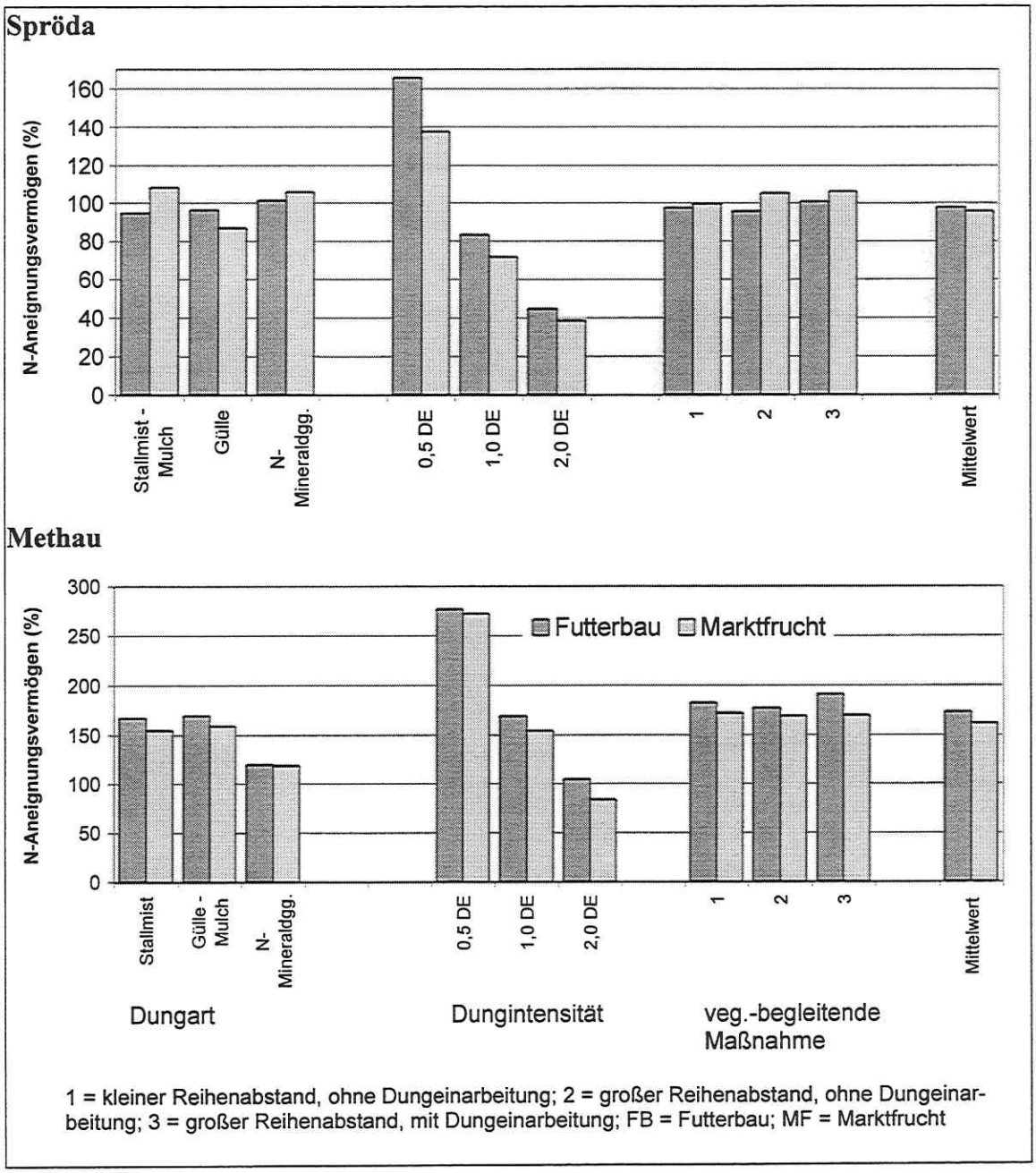


Abb. 34: N-Aneignungsvermögen bezogen auf die Düngemittelzufuhr (= 100 %) im Durchschnitt der beiden Versuchsstandorte Spröda und Methau in Abhängigkeit von den Prüffaktoren (1996 - 1999)

N-Abfuhr und N-Ertragseffizienz

Die N-Ertrags-Effizienz wies im Vergleich zur N-Abfuhr-Effizienz im Futterbausystem, wie auch am Standort Spröda festgestellt wurde, eine etwa 10 % höhere N-Verwertung auf. Im Marktfruchtsystem war der Unterschied zwischen den Systemen wiederum mit etwa 40 % aus den schon oben genannten Gründen deutlich höher. Bei Betrachtung des Zeitraumes 1996 - 1999 war am Standort Methau für das Futterbausystem immer noch eine um etwa 35 % höhere N-Abfuhr-Effizienz im Vergleich zum Marktfruchtsystem festzustellen. Die Varianten der Gülledüngung des Futterbausystems wiesen höhere N-Verwertungen auf als die anderen beiden Dungarten. Die Varianten der ansteigenden Düngung und die Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen verhielten sich bezüglich ihrer N-Verwertungen ebenfalls wie in der vorhergehenden Ausführung dargestellt.

Es wurden für den Versuchsstandort Methau Effizienzberechnungen bezogen auf die Gesamt-Zufuhr für zwei Zeitperioden durchgeführt. Zum einen wurde eine Berechnung über den Zeitraum 1993 - 1999 und zum anderen Berechnungen mit dem gleichen Leguminosengrasanteil in der Fruchtfolge wie am Versuchsort Spröda (ca. 30 %) vorgenommen.

Das so berechnete N-Aneignungsvermögen war im Futterbausystem mit einem Leguminosengrasanteil von 30 % in der Fruchtfolge mit etwa 120 % bzw. mit fast 110 % bei einem Leguminosengrasanteil von 60 %, ungefähr doppelt so hoch wie im Marktfruchtsystem (Abb. 35 u. Abb. 36).

In beiden Vergleichsberechnungen wiesen die Flächen mit Gülle- bzw. Mulchdüngung eine höhere Gesamt-Effizienz als die Flächen der anderen Düngerarten auf. Dies kann mit der etwas geringeren durchschnittlichen N-Zufuhr begründet werden. Eine steigende Düngung hatte eine sinkende Gesamt-Effizienz zur Folge. Wie auf dem leichten Boden in Spröda festgestellt wurde, zeigten auch auf dem Lößboden in Methau die Varianten mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung mit durchschnittlich fast 84 % im Vergleich zu den anderen vegetationsbegleitenden Maßnahmen eine höhere durchschnittliche Gesamt-Effizienz auf.

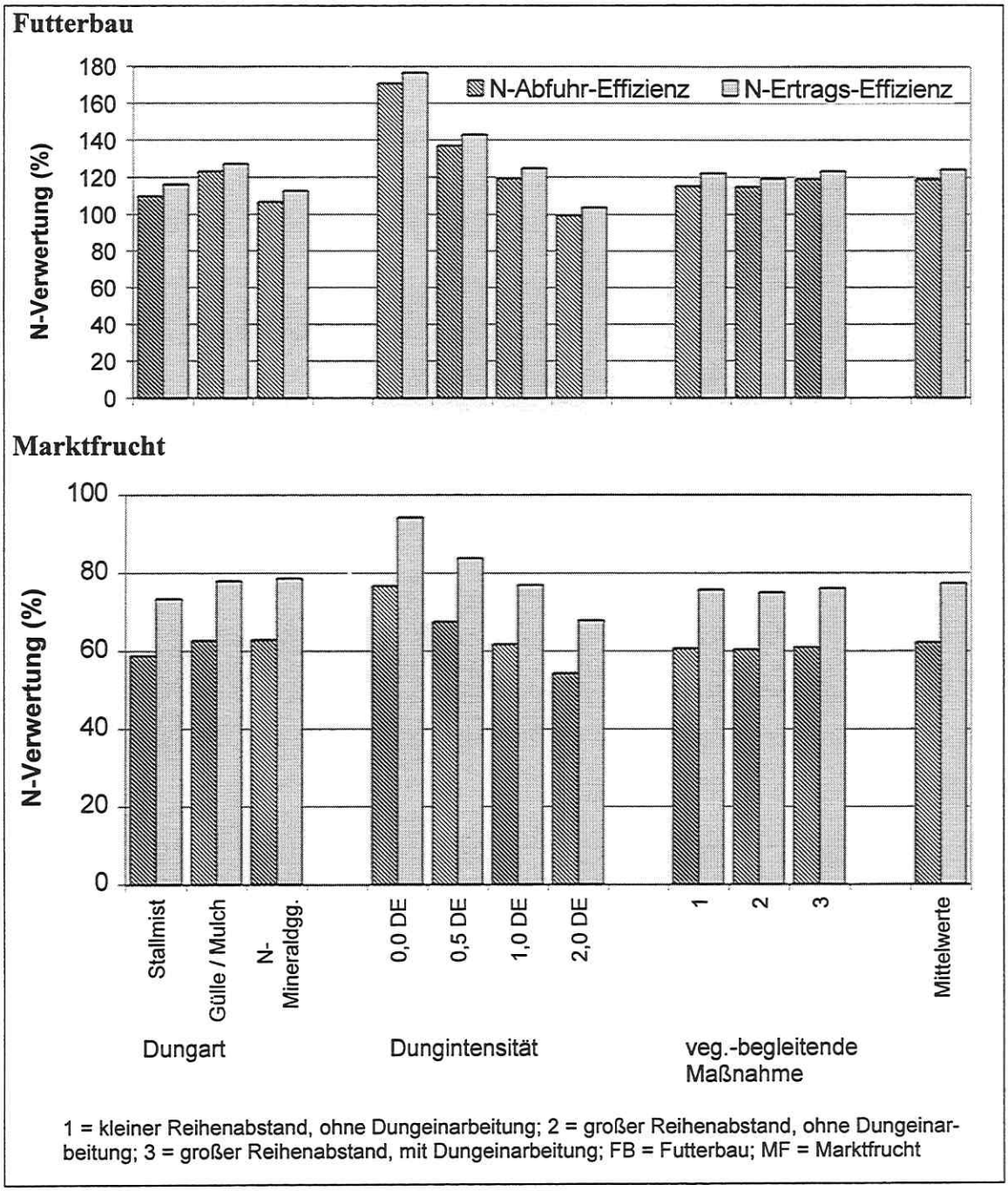


Abb. 35: N-Abfuhr- und N-Ertragseffizienz bezogen auf die Gesamt-Zufuhr (= 100 %) der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht in Abhängigkeit von den Prüffaktoren über die gesamte Versuchsperiode (1993 – 1999) am Standort Methau (Leguminosengrasanteil in der Furchtfolge: 60 %)

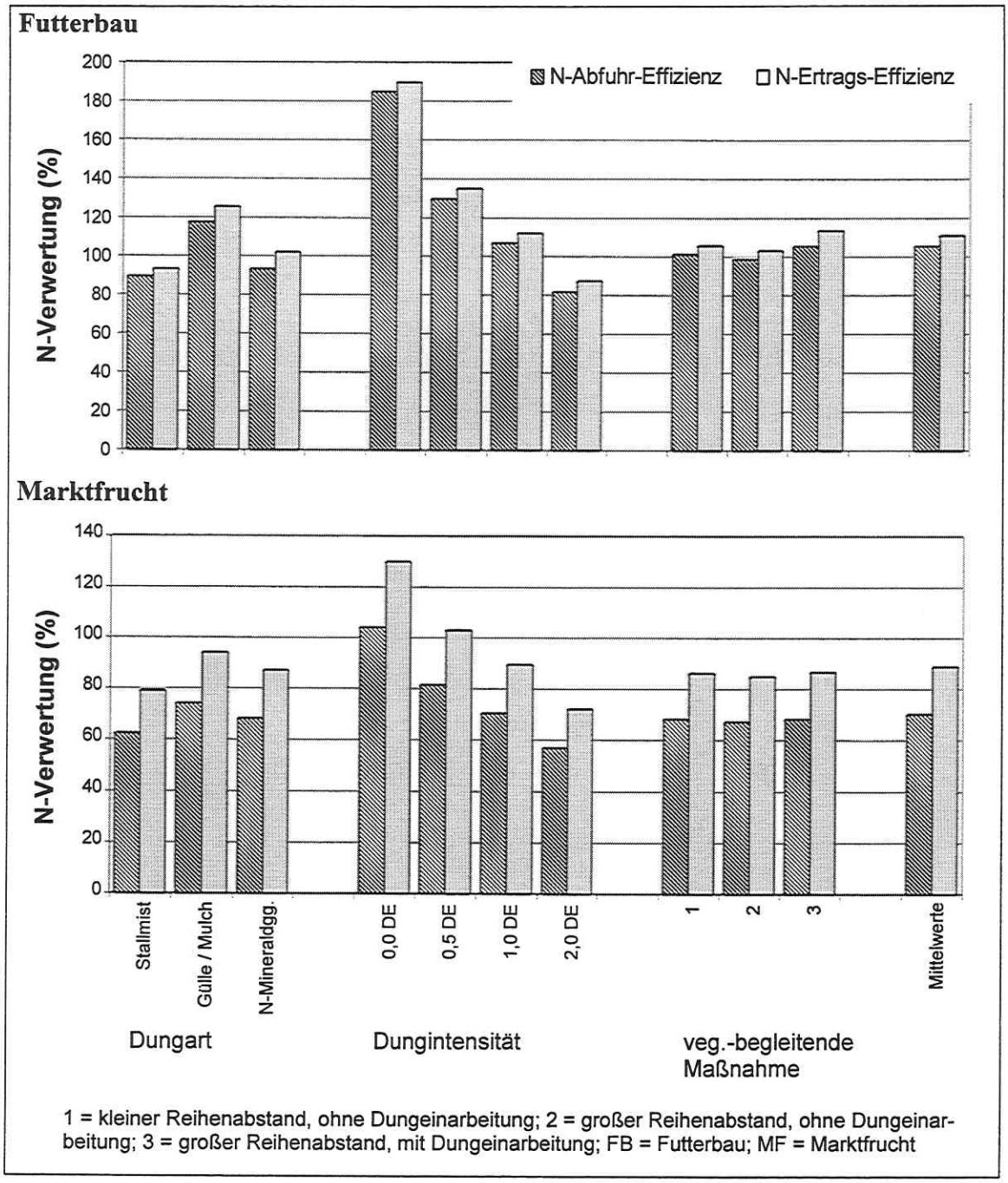


Abb. 36: N-Abfuhr- und N-Ertragseffizienz bezogen auf die Gesamt-Zufuhr (= 100 %) der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht in Abhängigkeit von den Prüffaktoren über die gesamte Versuchsperiode (1996 – 1999) am Standort Methau (Leguminosengrasanteil in der Furchtfolge: 30 %)

Ein Vergleich der auf der Basis der Gesamt-Zufuhren berechneten Effizienzen an beiden Standorten zeigte, dass die Flächen des Futterbausystems ein fast doppelt so hohes Aneignungsvermögen aufwiesen wie die Flächen des Marktfruchtsystems (Abb. 37). Auf dem Sandboden in Spröda wurde im Vergleich zum Standort Methau mit fast 71 % eine erheblich geringere Gesamt-Effizienz erreicht. Die Berücksichtigung eines Kleegrasanteils von 60 % bzw. von 30 % in der Fruchtfolge hatte kaum einen Einfluss auf die berechneten N-Aneignungswerte am Ort Methau.

Es ist möglich, dass die N-Zufuhr über die legume N-Bindung für das Marktfruchtsystem überschätzt worden ist. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse über die dargelegten Effizienzkriterien des Marktfruchtsystems zu bedenken.

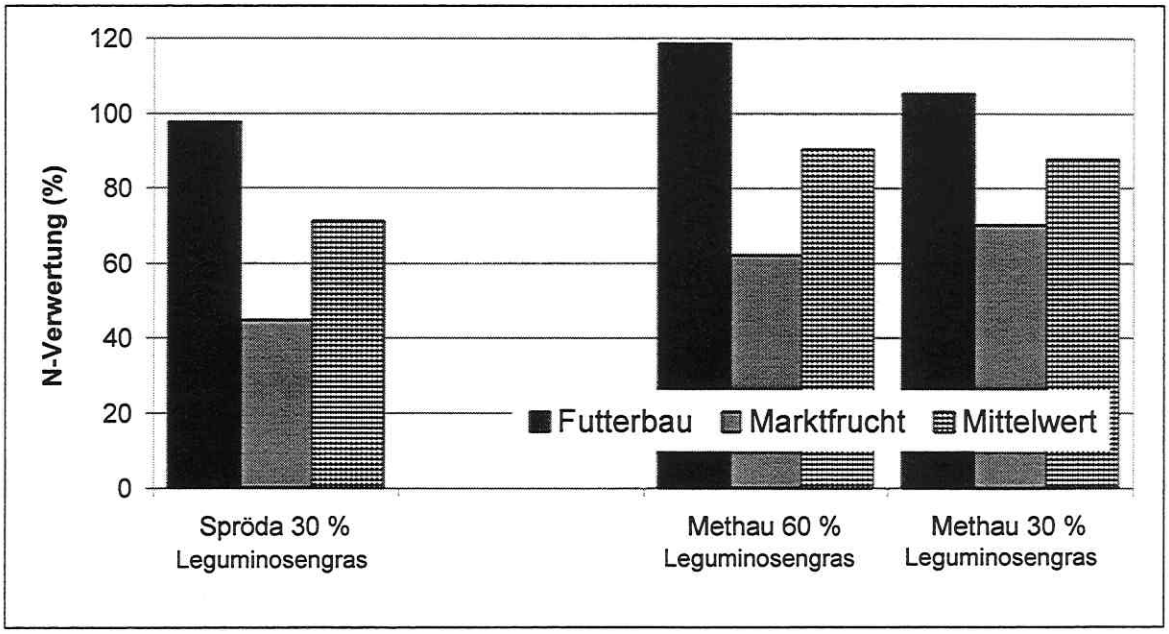


Abb. 37: N-Abfuhr-Effizienz bezogen auf die Gesamt-N-Zufuhr (= 100 %) im Durchschnitt der Anbausysteme Futterbau und Marktfrucht am Standort Spröda sowie unter Berücksichtigung eines unterschiedlich hohen Leguminosen-grasanteils in der Fruchtfolge am Standort Methau

4.5.3.2 Effizienz je Produkteinheit

Diese Art Effizienzberechnungen ermöglicht es, Nährstoffanspruch, Ressourcenverbrauch, Umweltwirkungen wie z.B. das sogenannte „Verschmutzungspotential" oder andere Eigenschaften einer erzeugten Produkteinheit zuzuordnen. Nachfolgend wurden verschiedene Eigenschaften des Anbaus in Relation zu einem N-Ertrag von 100 kg N/ha bzw. in Relation zu einem Trockenmasseertrag (Haupt- und Nebenprodukte) von 100 dt TM/ha gesetzt. Da die

Ergebnisse der Berechnungen zu unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten führen, sollen daher nachfolgend beide Bezugseinheiten behandelt werden.

N-Ertragseinheit

Versuchsort Spröda

Die Tabelle 27 gibt einen Überblick über die für die untersuchten Varianten berechneten N_2O-Mengen, die je gebildetem N-Ertrag von 100 kg/ha zu veranschlagen sind. Die für jede Kulturart bemessene Zeitperiode umfasst in etwa die Vegetationszeit der Kulturarten inkl. einer „Nachwirkungsperiode" von 4 – 6 Wochen. Die dokumentierten Werte müssen jeweils diesen Zeitperioden zugeschrieben werden. Im Durchschnitt der Versuche wurden ca. 1,2 kg N_2O-N-Emissionen je 100 kg N-Ertrag vorgefunden. Das sind umgerechnet 1,8 kg N_2O-N/ha und Jahr. Die Schwankungen der Werte liegen zwischen 0,6 kg und 1,9 kg N_2O-N-Emissionen, beide Werte wurden im Maisanbau ermittelt. Die Schwankungsbreite ist mit einem Faktor von weniger als 4 erheblich niedriger als bei der Verwendung des TM-Ertrages als Bezugsbasis, wobei ein Faktor von über 10 zu registrieren ist. Leguminosenanbau zog mit etwa 1,0 kg N_2O-N/ha die niedrigste gewichtete Emission nach sich, die Flächen mit Maisanbau lagen auf mittlerem Niveau, und der Anbau von Sommerweizen wies mit etwa 1,5 kg N_2O-N/ha die höchsten Emissionen auf.

Ein Anstieg der Düngung von 0,0 DE auf 1,0 DE/ha hatte einen uneinheitlichen Verlauf der berechneten N_2O-N-Werte zwischen Getreide- und Leguminosenanbau zur Folge (Tab. 27). Während die je 100 kg N-Ertrag ermittelten N_2O-N-Beträge im Verlauf der bemessenen Zeitperioden für Mais und Sommerweizen nach Düngung von 1,0 DE/ha im Durchschnitt um 50 % höher lagen als auf den Parzellen ohne Düngung, konnte für den Wickroggen eine fast ebenso deutliche Verringerung der Emissionen registriert werden. Im Versuchsdurchschnitt lagen die N_2O-N-Werte auf den gedüngten Flächen allerdings nur geringfügig höher als auf den nicht gedüngten Flächen.

Im Vergleich zu diesen Ergebnissen wurden zwischen den Anbausystemen deutliche Unterschiede vorgefunden (Tab. 27). Im Durchschnitt der Versuche waren die N_2O-N-Mengen auf den Marktfruchtflächen mit über 2,0 kg N_2O-N/ha um mehr als doppelt so hoch wie auf den Flächen des Futterbausystems. Zu diesem verhältnismäßig großen Unterschied hat besonders die Zeitperiode mit Sommerweizen beigetragen, deren Werte im Futterbausystem etwa 1,5 kg und im Marktfruchtsystem über 4,3 kg N_2O-N/ha betrugen. Deutlich höhere Werte wurden

auch von den Marktfruchtflächen für die Anbauphase der Leguminosen und des Maises berechnet.

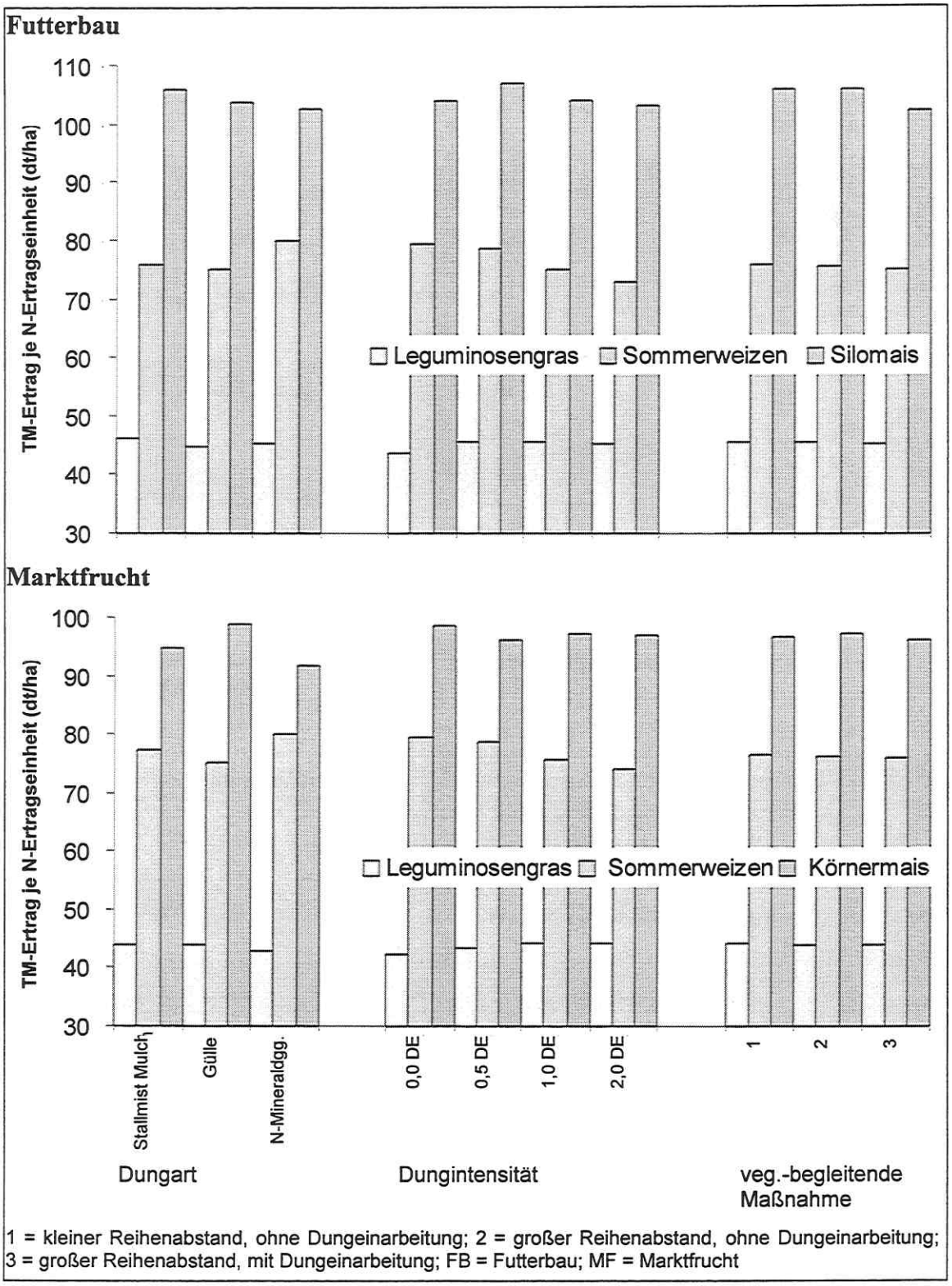
Tab. 27: N_2O-N-Emissionen bezogen auf eine N-Aufnahme von 100 kg/ha in Abhängigkeit von den untersuchten Varianten im Verlauf der Vegetationszeit der Kulturarten (kg N/ha) sowie als Jahresmittelwert (kg N/ha u. Jahr) am Standort Spröda

Bezugsbasis:	Vegetationszeit der Kulturarten							
	1998 S.-Weizen	1998/1999 Wickroggen	1999 Mais	Mittelwert Leguminosen	Mittelwert Getreide	Gesamt-Mittelwert 50 % [1]	Gesamt-Mittelwert 30 % [2]	Jahresmittelwert 30 % [2]
Futterbau								
Standard 0,0 DE/ha	1,34	1,12	0,58	1,12	0,96	1,04	1,01	**1,67**
Jauche 1,0 DE/ha	1,75	0,77	1,16	0,77	1,46	1,12	1,23	**1,86**
Gülle 1,0 DE/ha	1,26	0,53	1,28	0,53	1,27	0,90	1,02	**1,45**
Marktfrucht								
Mulch 1,0 DE/ha	1,60	1,35	1,33	1,35	1,47	1,41	1,43	**2,23**
Gülle 1,0 DE/ha	1,44	1,03	1,86	1,03	1,65	1,34	1,44	**1,97**
Mittelwert	1,48	0,96	1,24	0,96	1,36	1,16	1,23	**1,84**
Düngungshöhe								
0,0 DE/ha	1,34	1,12	0,76	1,12	1,05	1,09	1,07	**1,67**
1,0 DE/ha	1,49	0,64	1,53	0,64	1,51	1,08	1,22	**1,65**
Mittelwert	1,42	0,88	1,15	0,88	1,28	1,09	1,15	**1,66**
Anbausysteme								
Futterbau	1,49	0,64	1,21	0,64	1,35	1,00	1,11	**1,65**
Marktfrucht	4,34	1,19	1,58	1,19	2,96	2,08	2,37	**2,10**
Mittelwert	2,92	0,92	1,40	0,92	2,16	1,54	1,74	**1,87**

[1] = ~ 50 % Leguminosengras in der Fruchtfolge
[2] = ~ 30 % Leguminosengras in der Fruchtfolge

Zur Beurteilung der N-Ertragseffizienz wurde das Trockenmassebildungsvermögen im Verhältnis zur Aufnahme von 100 kg N/ha untersucht. Auf dem leichten Standort Spröda wiesen die verschiedenen Fruchtarten unterschiedliche Effizienzen auf (Abb. 38): Silo- bzw. Körnermais hatte einen höheren TM-Ertrag im Verhältnis zum N-Ertrag, also eine höhere N-Effizienz aufzuweisen als Sommerweizen und Leguminosengras. Die Ursache hierfür liegt in erster Linie in den unterschiedlich hohen N-Gehalten der Kulturarten begründet.

Unter Sommerweizen hatten die Varianten der Festmist- bzw. die Varianten der Mulchdüngung im Vergleich zu den Varianten mit Güllezufuhr eine etwas höhere Ertragseffizienz aufzuweisen. Je höher die Düngung erfolgte, desto geringer wurde in der Regel der TM-Ertrag im Verhältnis zum N-Ertrag. Die Varianten des großen Reihenabstandes mit Dungeinarbeitung wiesen bei allen Kulturarten relativ geringe TM-Erträge auf.



1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung; FB = Futterbau; MF = Marktfrucht

Abb. 38: TM-Erträge je Aufnahmeeinheit von 100 kg N/ha der Kulturarten und der Anbausysteme am Standort Spröda (1993 - 1999)

Ein Vergleich der Anbausysteme Futterbau und Marktfruchtbau verdeutlicht, dass im Durchschnitt auf den Futterbauflächen etwas höhere TM-Erträge im Verhältnis zu den N-Erträgen ermittelt wurden als auf den Flächen des Marktfruchtsystems (Abb. 39).

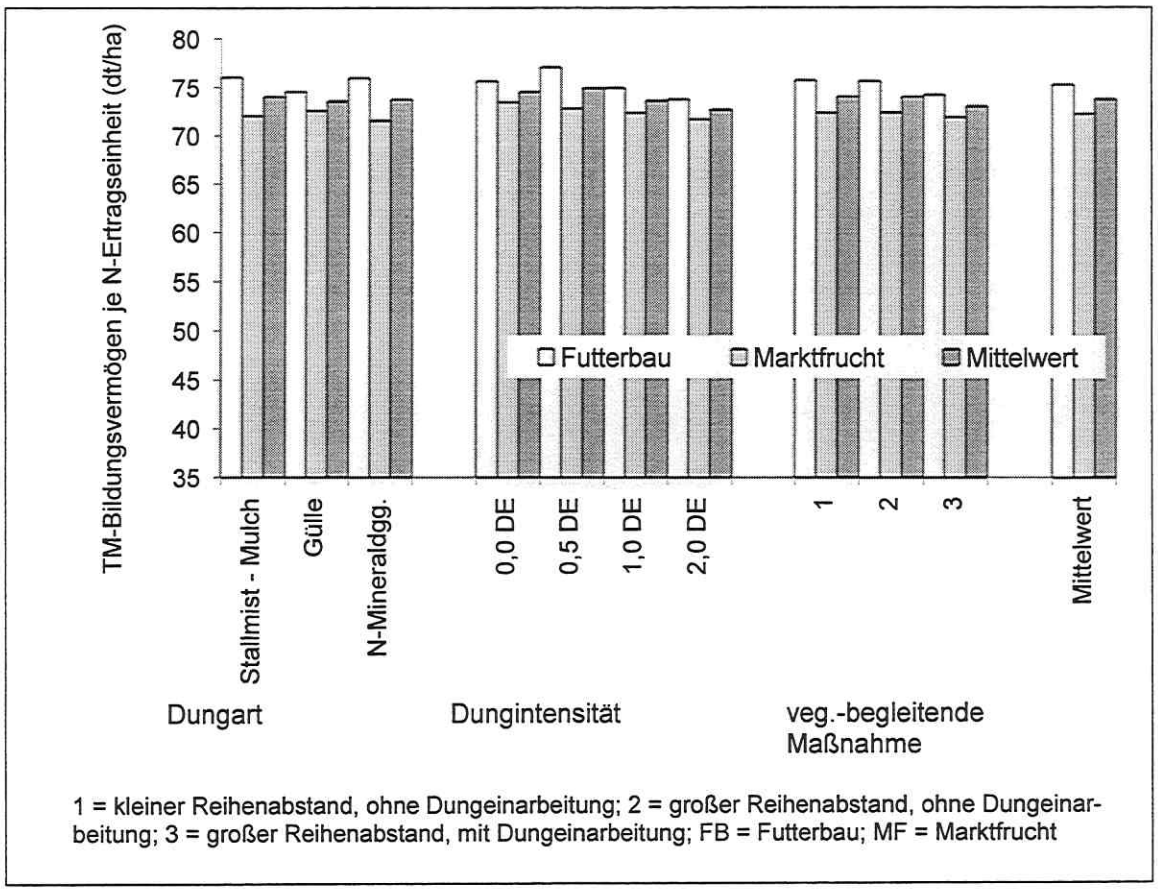


Abb. 39: TM-Erträge je Aufnahmeeinheit von 100 kg N/ha in Abhängigkeit von den Anbausystemen am Standort Spröda (1993 - 1999)

Bei den nachfolgenden Berechnungen wurden die N_{min}-Herbstwerte auf eine vergleichbare Aufnahme von 100 kg N/ha bezogen. Dem Fruchtfolgeglied Sommerweizen müssen mit durchschnittlich 120 kg N/ha im Vergleich zum Mais mit durchschnittlich 44 kg N/ha deutlich höhere N_{min}-Mengen zugeschrieben werden (Tab. 28). Dies liegt in der wesentlich längeren Vegetationszeit des Maises begründet, in der verfügbarer Stickstoff abgeschöpft werden konnte. Zudem stand der Sommerweizen in der Fruchtfolge direkt nach Leguminosengras.

Tab. 28: Herbst-N_{min}-Werte (kg N/ha) bezogen auf eine Aufnahme der Kulturarten von 100 kg N/ha unterschieden nach den Prüffaktoren am Standort Spröda (1996 – 1999)

	Dungart			**Düngungsintensität**				**Vegetationsbegleitende Maßnahme**			
FUTTERBAU											
	Stall-mist	Gülle	N-Mine-raldgg.	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	1	2	3	Mittel-wert
Legumino-sengras	10,9	6,3	8,9	13,5	9,9	9,2	6,8	8,6	8,6	8,6	9,1
S.-Weizen	125,2	103,5	-	88,1	83,3	133,6	132,4	114,3	112,4	116,2	111,4
Silomais	53,7	36,0	48,8	27,9	37,0	44,3	53,2	44,1	45,6	44,9	43,3
MARKTFRUCHT											
	Mulch	Gülle	N-Mine-raldgg.	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	1	2	3	Mittel-wert
Legumino-sengras	9,2	22,3	15,4	8,0	9,2	11,9	26,0	15,7	15,7	15,7	14,9
S.-Weizen	119,3	132,2	-	140,1	118,9	136,1	122,3	129,3	133,2	113,8	127,3
Körnermais	34,7	45,7	76,6	38,0	42,0	44,2	34,4	42,7	39,8	38,1	43,6

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

Die Aufschlüsselung der Auswirkung der untersuchten Faktoren zeigte, dass bei Zugrundelegung eines vergleichbaren N-Ertrages im Futterbausystem bei allen Kulturarten nach einer Stallmistdüngung nach der Ernte höhere Mengen an leicht löslichem Stickstoff im Boden zuzuordnen waren als nach den Varianten der Gülledüngung. Im Marktfruchtsystem führten die Varianten der Gülledüngung im Vergleich zu den anderen Dungvarianten zu einer höheren Stickstoffbelastung im Herbst. In der Regel wurden mit steigender Düngung in beiden Anbausystemen ansteigende Werte in der Stickstoffbelastung im Herbst berechnet. Von den Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen hatten im Futterbausystem die Flächen mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung etwas höhere, im Marktfruchtsystem etwas geringere berechnete N_{min}-Werte aufzuweisen (Abb. 40).

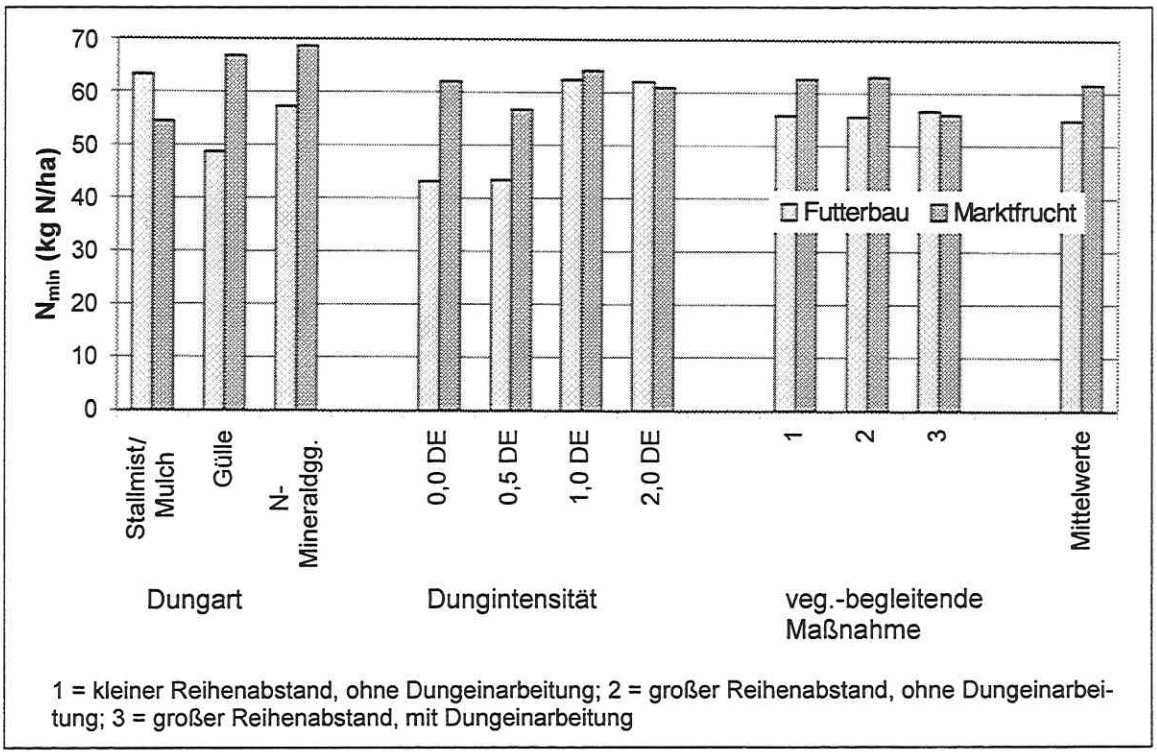


Abb. 40: Herbst-N_{min}-Werte (kg N/ha) bezogen auf eine Aufnahme von 100 kg N/ha unterschieden nach den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Spröda (1996 –1999)

Am Standort Spröda benötigten die Kulturpflanzenbestände der Stallmistdüngungsvarianten im Futterbausystem für eine Aufnahme von 100 kg N/ha eine berechnete Zufuhr von annähernd 109 kg N/ha (Tab. 29). Von den organischen Dungarten war die Variante der Stallmistdüngung effizienter als die der Gülledüngung. Die N-Mineraldüngungsvarianten waren durch eine unterlassene N-Düngung im Jahr 1995 und durch eine geringe N-Abschöpfung im Jahr 1998 geprägt (Versuchsfehler durch Vogelschäden). Mit ansteigender Düngung wurde für eine Aufnahme von 100 kg N/ha eine stark steigende Zufuhr berechnet, so dass die Effizienz entsprechend abgefallen war. Waren bei der Düngungsstufe 0,0 DE/ha lediglich 58 kg N/ha an Zufuhr zuzuschreiben, um eine Aufnahme von 100 kg/ha zu erzeugen, so waren es bei 2,0 DE/ha 127 kg N/ha und Jahr. Von den Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen waren der kleine Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung sowie der große Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung als effizientere Verfahren als der große Reihenabstand mit Einarbeitung anzusehen.

Im Marktfruchtsystem war von den organischen Dungarten den Varianten der Mulchdüngung eine etwas höhere Effizienz als denen der Gülledüngung beizumessen. Auch im Marktfruchtsystem wurde mit ansteigender Düngung eine starke Zunahme der N-Zufuhr je Aufnahme-

Äquivalent von 100 kg N veranschlagt. Hinsichtlich der vegetationsbegleitenden Maßnahmen waren die Kulturbestände bei kleinem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung ebenfalls effizienter in der N-Zufuhr als die Bestände mit großen Reihenabständen. Im Durchschnitt der Versuche war das Futterbausystem mit 104 kg N/ha im Vergleich zum Marktfruchtsystem mit 169 kg N/ha N-Zufuhr als ein deutlich effizienteres System zu bezeichnen.

Im Futterbausystem war je Aufnahme von 100 kg N/ha für alle Varianten eine etwa gleich hohe Abfuhr von annähernd 99 kg N/ha zu veranschlagen. Im Marktfruchtsystem war dagegen eine verhältnismäßig gleich hohe Abfuhr von etwa 25 kg N/ha berechnet worden. Mit ansteigender Düngung wurde eine geringfügig steigende N-Abfuhr festgestellt.

Für ein Aufnahme-Äquivalent von 100 kg N/ha konnte im Futterbausystem für die Flächen mit Gülledüngung ein N-Saldo von etwa 13 kg und für die Flächen mit N-Mineraldüngung ein Saldo von -11 kg N/ha und Jahr berechnet werden. Mit ansteigender Düngung wurden stark ansteigende N-Salden veranschlagt. Von den vegetationsbegleitenden Maßnahmen waren die Kulturbestände mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung durch einen höheren N-Überschuss im Vergleich zu den Varianten ohne Dungeinarbeitung gekennzeichnet.

Im Marktfruchtsystem waren keine Unterschiede zwischen den organischen Dungarten festzustellen. Ansteigende Düngung führte ebenfalls zu einer deutlichen Steigerung der berechneten N-Salden. Im Vergleich zum kleinen Reihenabstand zeigten von den vegetationsbegleitenden Maßnahmen die Varianten mit großen Reihenabständen höhere N-Salden. Im Vergleich zu den hohen berechneten N-Überschüssen von 144 kg N/ha im Marktfruchtsystem waren im Durchschnitt der Versuche die Futterbauflächen mit einem weitgehend ausgeglichenen N-Saldo als das effizientere System zu bezeichnen (Tab. 29).

Im Futterbausystem konnten für eine Aufnahme von 100 kg N/ha durch die Flächen mit N-Mineral- und Stallmistdüngung vergleichbar hohe N_{min}-Herbstwerte von etwa 38 kg N/ha berechnet werden. Für die Varianten mit Gülledüngung wurden etwas niedrigere Werte veranschlagt. Infolge einer steigenden Düngung konnte auch ein Anstieg der N_{min}-Werte im Herbst festgestellt werden. Von den Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen waren die Flächen ohne Dungeinarbeitung durch niedrigere N_{min}-Werte gekennzeichnet. Alle weiteren Ergebnisse zeigten für die aufgeführten Varianten am Standort Spröda keine deutlichen Unterschiede.

Tab. 29: Werte für Zufuhr, Abfuhr, Saldo und N_{min} berechnet für eine Aufnahme von 100 kg N/ha in Abhängigkeit von den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Spröda (1993 - 1999)

	Zufuhr	Abfuhr	Saldo	Herbst-N_{min}	Frühjahrs-N_{min}	N_{min}-Differenz Herbst/ Frühjahr
	(kg N/ha*a)			(kg N/ha)		
Futterbau						
Stallmist	108,6	98,9	9,7	39,0	33,6	-5,4
Gülle	112,3	98,9	13,4	29,3	31,9	2,6
N-Mineraldgg.	87,9	99,0	-11,1	38,0	32,7	-5,4
0,0 DE	58,1	98,9	-40,8	23,2	32,3	9,1
0,5 DE	85,0	98,8	-13,8	27,9	32,0	4,1
1,0 DE	114,7	98,9	15,8	35,6	30,2	-5,4
2,0 DE	127,2	98,9	28,3	38,6	35,8	-2,8
1	109,3	98,9	10,4	33,4	32,5	-0,9
2	109,5	98,9	10,6	32,7	32,4	-0,4
3	112,5	98,8	13,7	36,3	33,3	-3,0
Marktfrucht						
Mulch	174,9	24,6	150,3	38,1	36,4	-1,6
Gülle	178,4	24,8	153,7	47,1	37,2	-9,9
N-Mineraldgg.	159,3	21,1	138,2	40,2	34,3	-5,9
0,0 DE	107,4	24,2	83,2	40,3	40,2	0,0
0,5 DE	140,5	23,5	117,0	34,7	33,9	-0,8
1,0 DE	168,0	24,4	143,6	39,9	33,9	-6,0
2,0 DE	219,7	26,0	193,7	35,7	42,5	6,8
1	170,8	24,8	145,9	37,3	36,3	-1,0
2	177,1	24,3	152,8	37,3	36,7	-0,6
3	182,2	24,9	157,3	35,6	37,5	1,8
Futterbau	**104,1**	**98,9**	**3,6**	**33,4**	**32,7**	**-0,7**
Marktfrucht	**168,8**	**24,3**	**143,6**	**38,6**	**36,9**	**-1,7**
Standort	**136,5**	**61,6**	**73,6**	**36,0**	**34,8**	**-1,2**

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

Versuchsort Methau

Auch am Standort Methau hatte in beiden Anbausystemen die Variante der Festmistdüngung bei den Kulturarten Sommerweizen und Mais etwas höhere TM-Effizienzen als die anderen Dungvarianten aufzuweisen (Abb. 41). Je höher die Düngung der Varianten erfolgte, desto geringer wurden im Allgemeinen die TM-Erträge. In diesen Versuchen wiesen die Varianten des großen Reihenabstandes mit Dungeinarbeitung ebenfalls die geringsten N-Effizienzwerte auf.

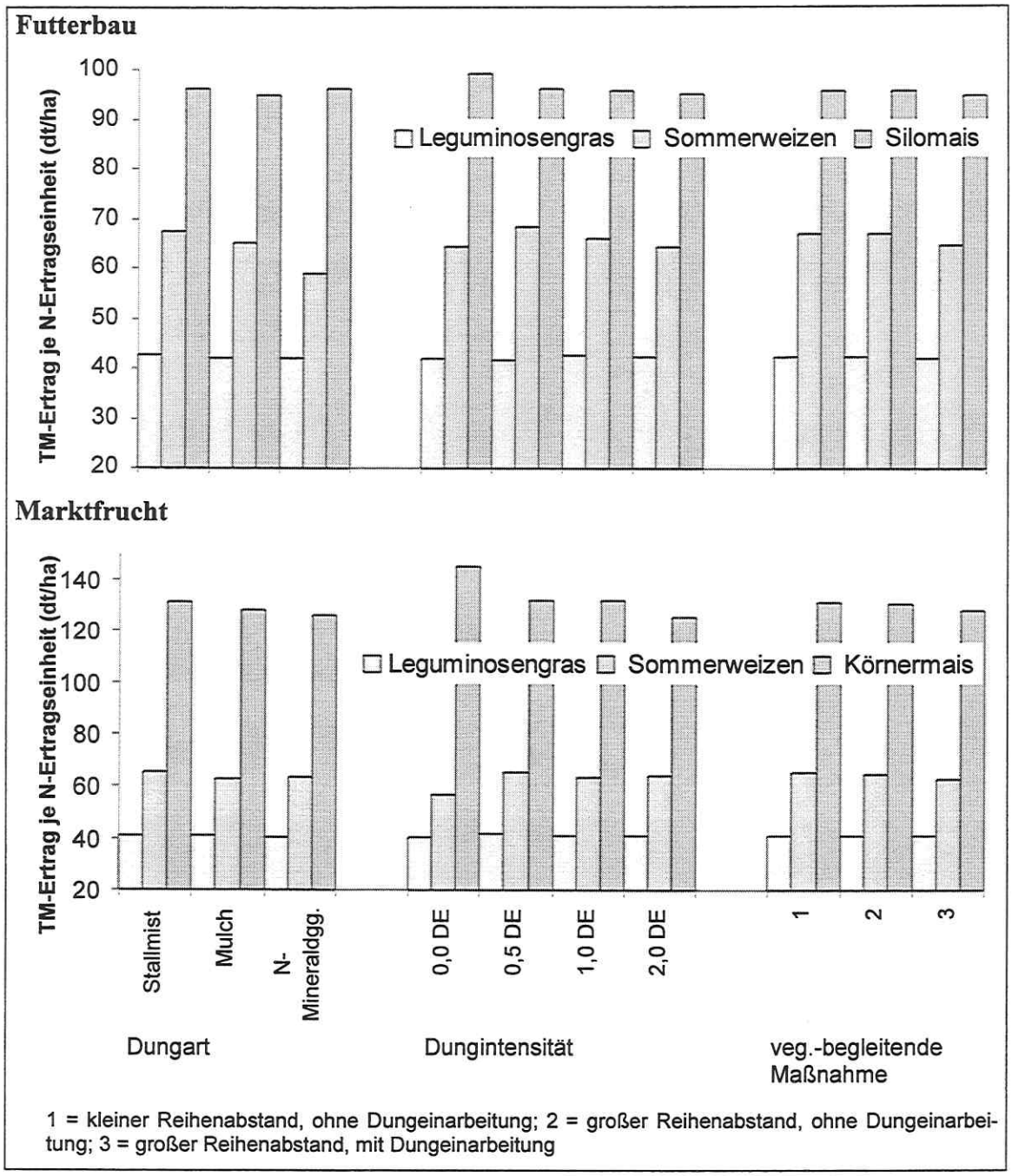


Abb. 41: TM-Erträge je Aufnahmeeinheit von 100 kg N/ha in Abhängigkeit von den Kulturarten und den Anbausystemen am Standort Methau (1993 - 1999)

Die Unterschiede zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfruchtbau waren auf dem schweren Standort Methau größer als am leichten Standort Spröda (Abb. 42). Im Versuchsdurchschnitt bestand eine Tendenz zu einer höheren N-Effizienz, d.h. einem höheren TM-Bildungsvermögen je N-Ertragseinheit, auf den Flächen mit Marktfruchtbau.

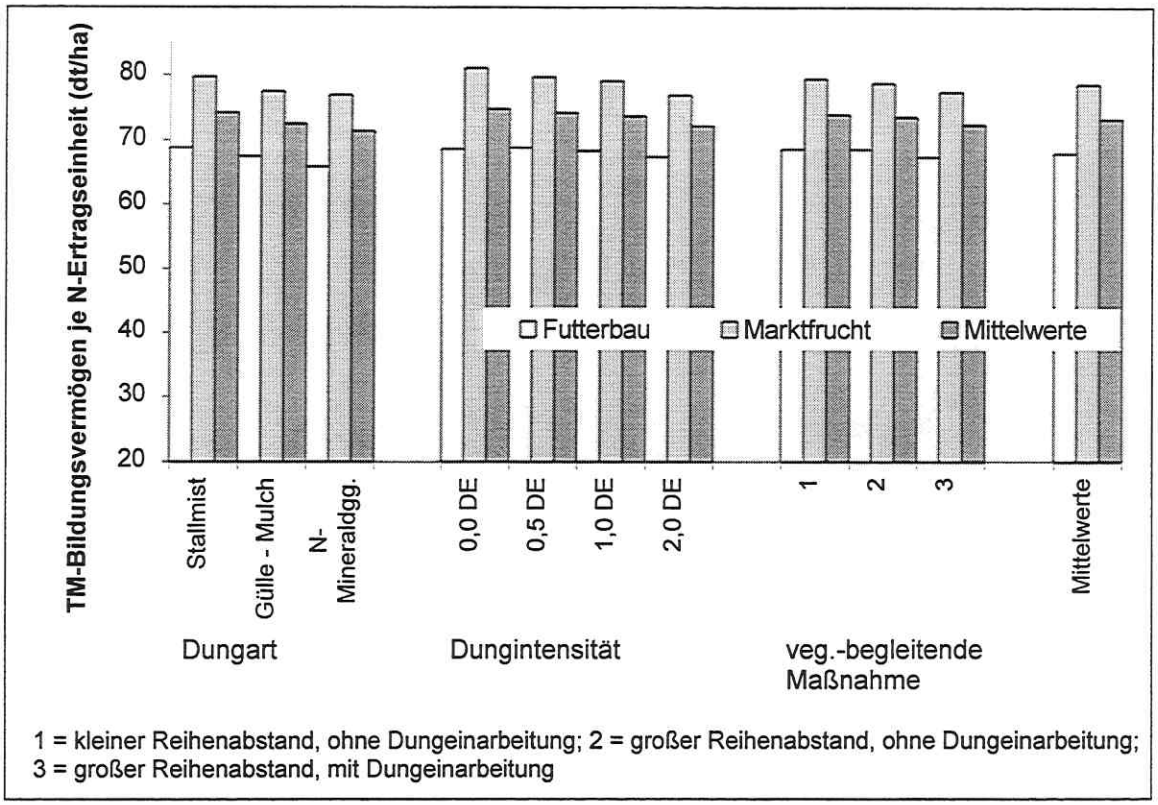


Abb. 42: TM-Erträge je Aufnahmeeinheit von 100 kg N/ha in Abhängigkeit von den Anbausystemen am Standort Methau (1993 - 1999)

Auf der Basis einer gleich hohen N-Ertragserwartung waren am Versuchsort Methau nach Leguminosengras verhältnismäßig geringe N-Mengen nach der Ernte zu veranschlagen (Tab. 30). Wie auch schon am Versuchsort Spröda festgestellt wurde, hinterließ am Versuchsort Methau der nach den Leguminosen angebaute Sommerweizen nach der Ernte ebenfalls höhere Werte an verfügbarem Stickstoff als der Mais.

Tab. 30: Herbst-N_{min}-Werte (kg N/ha) bezogen auf eine Aufnahme von 100 kg N/ha unterschieden nach den Prüffaktoren am Standort Methau (1996 - 1999)

	Dungart			**Düngungsintensität**				**Vegetationsbegleitende Maßnahme**			
FUTTERBAU											
	Stall-mist	Gülle	N-Mine-raldgg.	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	1	2	3	Mittel-wert
Legumino-sengras	6,0	8,0	8,7	9,2	6,8	8,0	6,1	7,0	7,0	7,0	7,5
S.-Weizen	42,2	39,0	-	33,7	-	40,5	40,7	34,8	-	46,4	39,6
Silo-mais	20,6	17,7	42,5	19,2	19,9	16,6	20,8	18,6	22,6	16,2	21,5
MARKTFRUCHT											
	Stall-mist	Mulch	N-Mine-raldgg.	0,0 DE	0,5 DE	1,0 DE	2,0 DE	1	2	3	Mittel-wert
Legumino-sengras	11,4	7,9	10,7	8,8	7,8	12,7	8,4	9,6	9,6	9,6	9,7
S.-Weizen	33,9	29,3	-	32,0	-	29,9	33,3	34,3	-	28,9	31,6
Körner-mais	13,0	14,2	47,7	20,2	10,7	13,3	16,7	14,3	14,7	11,8	17,7

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

Das Niveau der N_{min}-Werte im Herbst lag am schweren Standort Methau mit weniger als 25 kg N/ha deutlich unter dem Niveau von Spröda mit über 55 kg N/ha. Von den organischen Düngemitteln waren die Varianten der Stallmistdüngung in beiden Anbausystemen durch die höheren berechneten Stickstoffgehalte nach der Ernte gekennzeichnet (Abb. 43). Die Varianten der N-Mineraldüngung wiesen mit annähernd 28 kg N/ha die höchsten berechneten N_{min}-Werte im Herbst auf. In beiden Anbausystemen war nach steigender Düngung auch ein Anstieg der N_{min}-Werte zu erkennen. An beiden Anbauorten waren besonders den Standardparzellen (0,0 DE/ha) des Marktfruchtsystems verhältnismäßig hohe N_{min}-Werte je N-Ertragseinheit zugeschrieben worden. Im Futterbausystem waren in den Varianten der großen Reihenabstände höhere N_{min}-Werte im Herbst zu veranschlagen und im Marktfruchtsystem war der geringste N_{min}-Wert in der Variante mit Dungeinarbeitung berechnet worden.

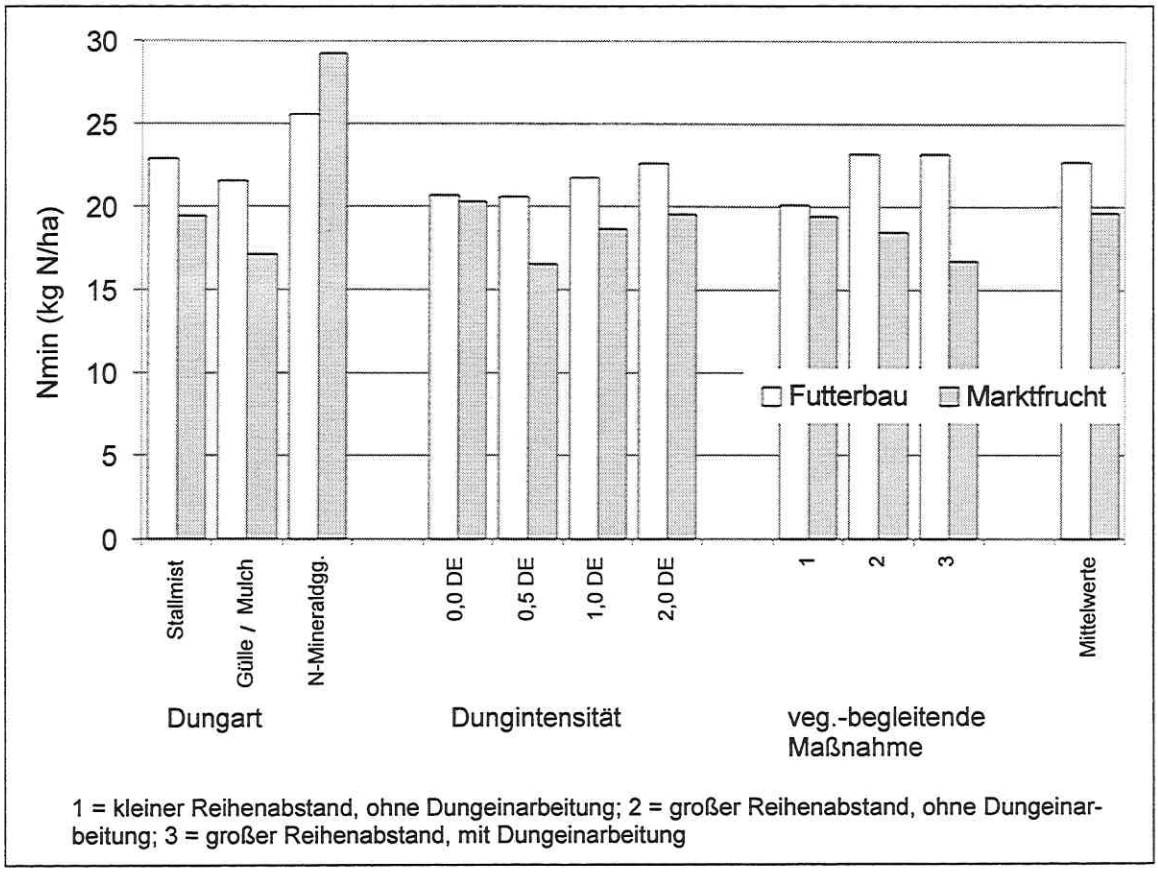


Abb. 43: Herbst-N_{min}-Werte (kg N/ha) bezogen auf eine Aufnahme der Pflanzen von 100 kg N/ha unterschieden nach den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Methau (1996 - 1999)

Am Standort Methau wurden für die Merkmale Zufuhr, Abfuhr, Saldo und N_{min} je N-Aufnahmeeinheit der Pflanzen prinzipiell vergleichbare Ergebnisse für die Zeiträume 1993 – 1999 (Tab. 31) und 1996 – 1999 (Tab. 32) erzielt. Auf eine nähere Erläuterung soll daher an dieser Stelle verzichtet werden.

Tab. 31: Werte für Zufuhr, Abfuhr, Saldo und N_{min} berechnet für eine Aufnahme von 100 kg N/ha in Abhängigkeit von den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Methau im Versuchszeitraum (1993 - 1999)

	Zufuhr	Abfuhr	Saldo	Herbst-N_{min}	Frühjahrs-N_{min}	N_{min}-Differenz Herbst/ Frühjahr
	(kg N/ha*a)			(kg N/ha)		
Futterbau						
Stallmist	90,0	96,6	-6,6	12,8	19,6	6,7
Gülle	80,5	96,4	-15,9	12,5	18,7	6,3
N-Mineraldgg.	92,7	96,6	-3,9	17,5	14,7	-2,8
0,0 DE	57,7	96,5	-38,8	15,0	24,9	9,9
0,5 DE	72,3	96,5	-24,3	12,0	14,2	2,2
1,0 DE	82,8	96,5	-13,6	12,7	22,3	9,6
2,0 DE	99,9	96,5	3,4	13,3	20,8	7,5
1	85,7	96,6	-10,9	12,5	19,3	6,7
2	86,1	96,4	-10,3	13,3	19,4	6,1
3	83,8	96,4	-12,6	12,2	18,8	6,6
Marktfrucht						
Mulch	171,9	35,4	136,5	14,0	25,4	11,4
Gülle	161,3	32,5	128,7	13,1	23,5	10,3
N-Mineraldgg.	158,5	36,8	121,7	20,0	15,7	-4,3
0,0 DE	132,3	31,7	100,7	17,8	27,5	9,8
0,5 DE	150,5	32,3	118,2	12,3	19,5	7,2
1,0 DE	163,6	34,5	129,2	13,5	23,9	10,4
2,0 DE	185,2	35,2	150,0	14,8	29,8	14,9
1	164,4	33,4	131,0	13,9	24,7	10,8
2	163,7	33,3	130,4	13,4	24,3	11,0
3	171,8	35,3	136,5	13,5	24,2	10,8
Futterbau	**83,1**	**96,5**	**-13,4**	**13,4**	**19,3**	**5,9**
Marktfrucht	**162,3**	**34,0**	**128,3**	**14,6**	**23,8**	**9,2**
Standort	**122,7**	**65,3**	**57,5**	**14,0**	**21,6**	**7,6**

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

Tab. 32: Werte für Zufuhr, Abfuhr, Saldo und N_{min} berechnet für eine N-Aufnahme von 100 kg N/ha in Abhängigkeit von den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Methau im Zeitraum (1996 - 1999)

	Zufuhr	Abfuhr	Saldo	Herbst-N_{min}	Frühjahrs-N_{min}	N_{min}-Differenz Herbst/ Frühjahr
	(kg N/ha*a)			(kg N/ha)		
Futterbau						
Stallmist	109,0	94,2	14,8	20,9	27,2	6,4
Gülle	82,6	94,5	-11,8	19,2	28,7	9,5
N-Mineraldgg.	104,5	94,5	10,0	35,3	20,2	-15,1
0,0 DE	49,5	93,7	-44,2	19,3	37,1	17,8
0,5 DE	75,4	94,2	-18,8	19,8	17,6	-2,2
1,0 DE	91,2	94,3	-3,1	19,3	34,9	15,6
2,0 DE	118,8	94,5	24,3	21,0	31,0	10,0
1	96,1	94,3	1,8	18,8	27,6	8,8
2	98,7	94,2	4,4	21,5	28,8	7,3
3	92,4	94,5	-2,0	19,8	27,5	7,6
Marktfrucht						
Mulch	161,5	53,9	107,6	13,6	30,7	17,1
Gülle	144,3	51,2	93,1	17,0	30,9	13,9
N-Mineraldgg.	149,7	54,6	95,2	39,2	20,2	-19,0
0,0 DE	98,5	49,5	49,1	16,5	33,1	16,5
0,5 DE	128,7	50,7	78,0	12,4	23,8	11,5
1,0 DE	145,0	53,2	91,8	15,1	30,2	15,1
2,0 DE	183,6	53,7	129,9	18,0	37,8	19,8
1	155,0	52,0	103,0	15,2	31,3	16,0
2	151,5	52,3	99,2	14,9	31,3	16,4
3	152,7	53,4	99,2	15,6	29,7	14,2
Futterbau	**91,8**	**94,3**	**-2,5**	**21,5**	**28,1**	**6,6**
Marktfrucht	**147,0**	**52,4**	**94,6**	**17,7**	**29,9**	**12,2**
Standort	**119,4**	**73,4**	**46,1**	**19,6**	**29,0**	**9,4**

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

TM-Ertragseinheit

Versuchsort Spröda

Zur Beurteilung der Ertragseffizienz wurden ebenfalls die untersuchten Merkmale im Verhältnis zu einer Trockenmassebildung (TM-Ertrag) von 100 dt/ha ermittelt. Für beide Standorte und beide Anbausysteme sowie für die untersuchten Faktoren ergab sich eine entgegengesetzte Entwicklung.

Die Tabelle 33 gibt einen Überblick über die auf den untersuchten Varianten berechneten N_2O-N-Mengen, die je gebildetem TM-Ertrag von 100 dt/ha zu veranschlagen sind. Im Durchschnitt der Versuche kann eine Emission von 2,5 kg mit einer Schwankungsbreite zwischen 0,5 kg und über 5,5 kg N_2O-N/ha angenommen werden. Die Jahresmittelwerte liegen allerdings deutlich höher. Die höchsten Durchschnittswerte müssen dem Leguminosenanbau zugeschrieben werden. Es folgt der Anbau von Sommerweizen, die berechneten Werte für Mais liegen verhältnismäßig niedrig, da den emittierten N_2O-N-Mengen eine relativ hohe TM-Produktion gegenübersteht.

Mit steigender Düngung ist eine gegenläufige Entwicklung der je 100 dt TM/ha zuzuschreibenden N_2O-N-Mengen zu erkennen (Tab. 33). Während infolge steigender Düngung die berechneten N_2O-N-Emissionen bei Weizen und Mais zum Teil deutlich ansteigen, sind die Werte, die für die Wickroggen-Periode zugeschrieben worden sind, ebenso deutlich abgefallen. Im Durchschnitt der Versuche wurden keine großen Unterschiede zwischen den Dungstufen vorgefunden.

Zwischen den Anbausystemen gibt es deutliche Unterschiede in den berechneten emittierten N_2O-N-Mengen. Je gebildetem TM-Äquivalent bewegen sich die N_2O-N-Emissionen auf den Futterbauflächen zwischen 1,2 kg und 2,5 kg N_2O-N (Mittelwert um 2,0 kg N_2O-N/ha) und auf den Marktfruchtflächen zwischen 1,6 kg und annähernd 5,0 kg N_2O-N/ha (Mittelwert etwas über 3,0 kg N_2O-N/ha), das sind ca. 50 % höhere Werte als im Futterbausystem. Besonders der Leguminosenanbau trägt auf den Marktfruchtflächen zu diesen hohen Emissionen bei.

Tab. 33: N_2O-N-Emissionen bezogen auf eine TM-Bildung von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den untersuchten Varianten im Verlauf der Vegetationszeit der Kulturarten (kg N/ha) sowie als Jahresmittelwert (kg N/ha u. Jahr) am Standort Spröda

Bezugsbasis:	**Vegetationszeit der Kulturarten**							
	1998 S.-Weizen	1998/99 Wickroggen	1999 Mais	Mittelwert Leguminosen	Mittelwert Getreide	Gesamt-Mittelwert 50 % [1]	Gesamt-Mittelwert 30 % [2]	Jahres-Mittelwert 30 % [2]
Futterbau								
Standard 0,0 DE/ha	1,70	3,93	0,51	3,93	1,11	2,52	2,05	**6,86**
Jauche 1,0 DE/ha	2,56	2,93	1,14	2,93	1,85	2,39	2,21	**8,01**
Gülle 1,0 DE/ha	1,90	2,06	1,35	2,06	1,63	1,85	1,77	**6,67**
Marktfrucht								
Mulch 1,0 DE/ha	2,19	5,54	1,51	5,54	1,85	3,70	3,08	**9,89**
Gülle 1,0 DE/ha	2,22	4,30	1,65	4,30	1,94	3,12	2,72	**9,24**
Mittelwert	2,11	3,75	1,23	3,75	1,68	2,72	2,36	**8,13**
Düngungshöhe								
0,0 DE/ha	1,70	3,93	0,51	3,93	1,11	2,52	2,05	**6,86**
1,0 DE/ha	2,23	2,45	1,24	2,45	1,74	2,10	1,97	**7,34**
Mittelwert	1,97	3,19	0,88	3,19	1,43	2,31	2,01	**7,10**
Anbausysteme								
Futterbau	2,23	2,45	1,24	2,45	1,74	2,10	1,97	**7,34**
Marktfrucht	2,21	4,93	1,59	4,93	1,90	3,43	2,91	**9,26**
Mittelwert	2,22	3,69	1,42	3,69	1,82	2,76	2,44	**8,30**

[1] = ~ 50 % Leguminosengras in der Fruchtfolge
[2] = ~ 30 % Leguminosengras in der Fruchtfolge

Im Futterbausystem des Sandstandortes Spröda wies das Leguminosengras mit durchschnittlich etwas mehr als 220 kg N/ha in 100 dt Leguminosengemenge-Trockenmasse einen höheren N-Ertrag - also eine höhere N-Effizienz - auf als Sommerweizen mit etwa 130 kg N/ha und Silomais mit annähernd 100 kg N/ha (Abb. 44). Im Markfruchtsystem lagen die N-Effizienzen auf ähnlichem Niveau. Das Leguminosengras wies durchschnittlich etwa 230 kg N/ha, Sommerweizen etwa 131 kg N/ha und Körnermais annähernd 104 kg N/ha je 100 dt/ha Trockenmasse auf. Bei den einzelnen Kulturarten sowie im Versuchsdurchschnitt traten reziprok verschiedene Ergebnisse zu den vorhergegangenen Effizienzrechnungen im Hinblick auf die Varianten der Dungarten, Dungstufen und vegetationsbegleitenden Maßnahmen auf (vgl. Abb. 38 u. Abb. 44).

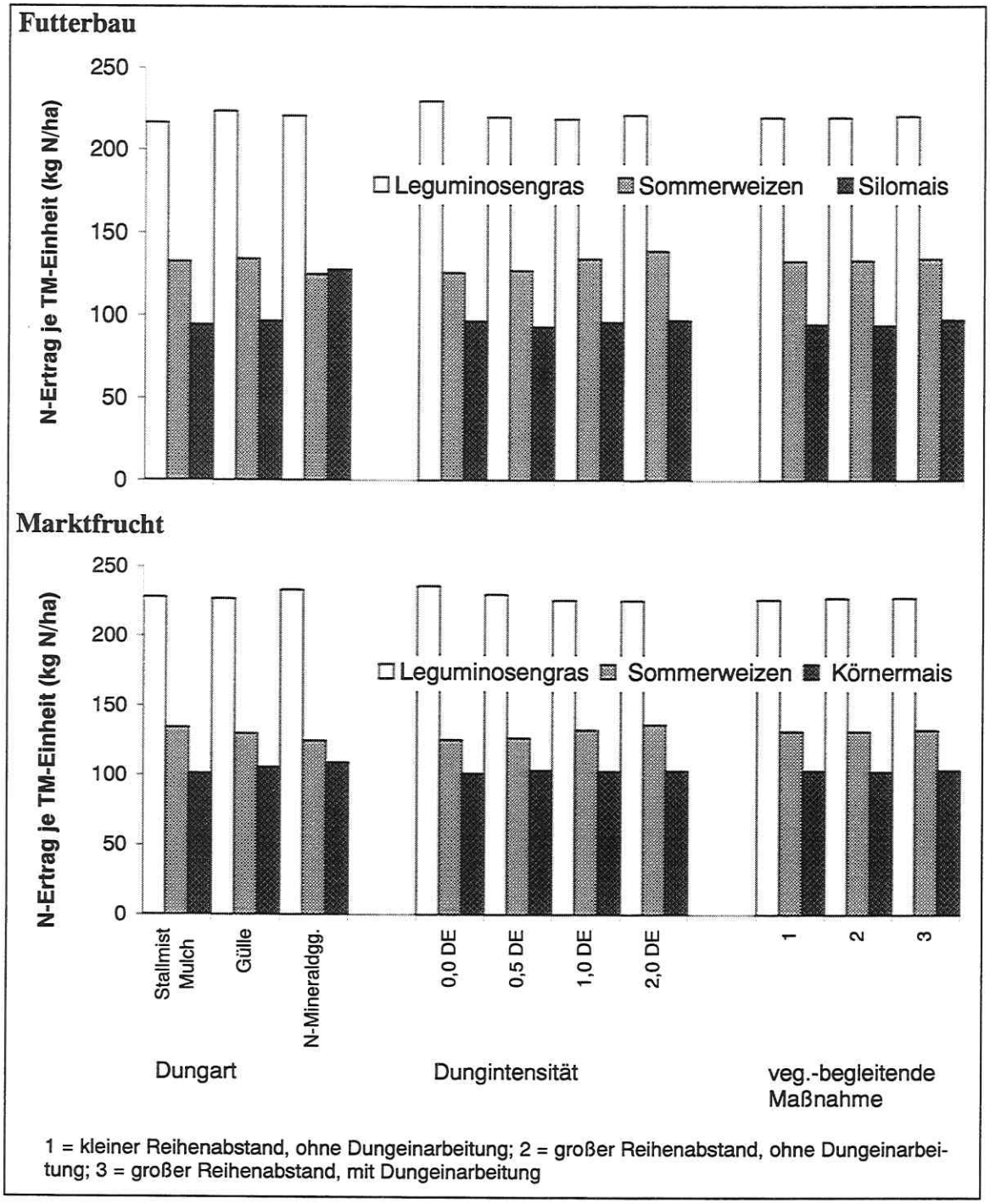


Abb. 44: N-Erträge je Trockenmasseeinheit von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Kulturarten und den Anbausystemen am Standort Spröda (1993 - 1999)

Ein Vergleich der Anbausysteme verdeutlicht, dass auf den Flächen mit Futterbau etwas geringere N-Erträge im Verhältnis zum Trockenmassebildungsvermögen auftraten als auf den Flächen mit Marktfruchtbau (Abb. 45).

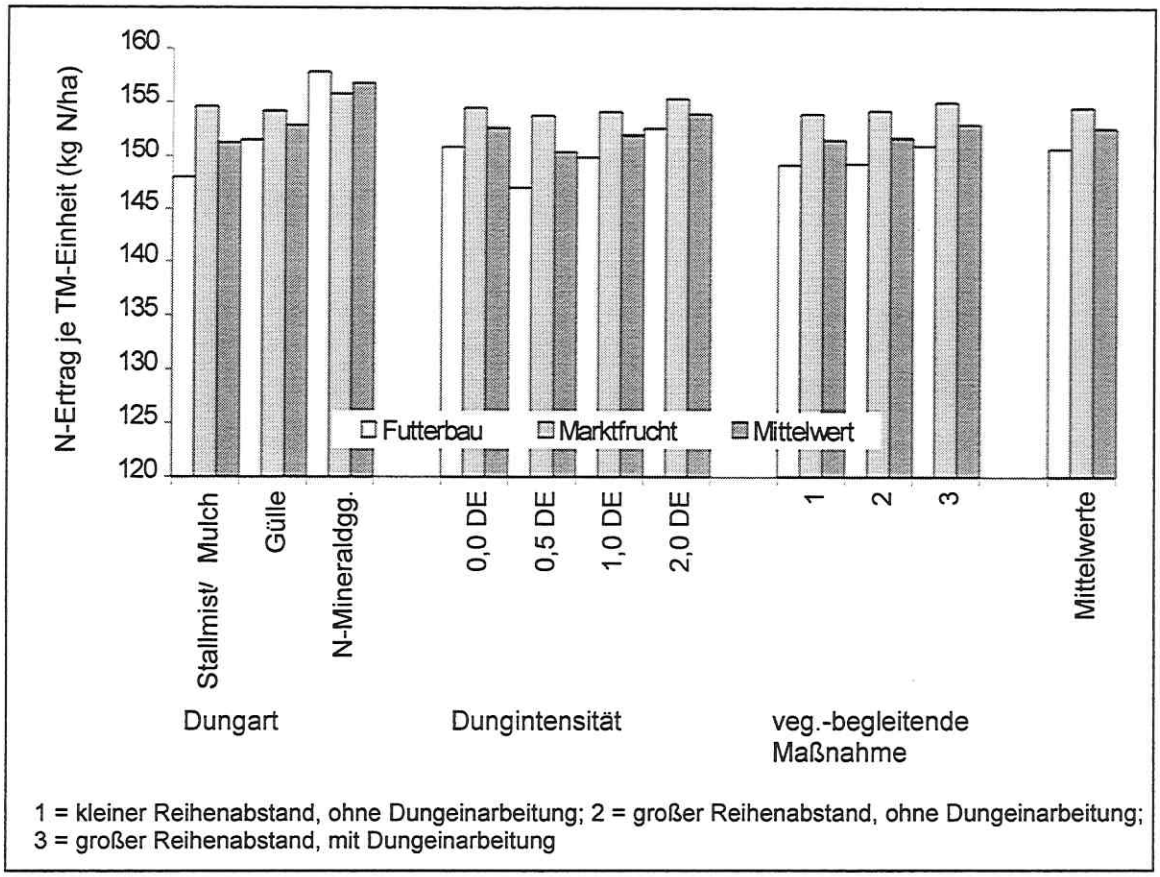


Abb. 45: N-Erträge je Trockenmasseeinheit von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Anbausystemen am Standort Spröda (1993 - 1999)

Bei weitergehenden Berechnungen wurden die untersuchten Parameter Zufuhr, Abfuhr, Saldo und N_{min} auf einen vergleichbaren Trockenmasseertrag von 100 dt/ha bezogen. Für eine Trockenmassebildung von 100 dt/ha konnte für die Varianten der N-Mineraldüngung im Futterbausystem des Standortes Spröda eine N-Zufuhr von etwa 172 kg N/ha berechnet werden (Tab. 34). Von den organischen Dungarten war die Variante der Stallmistdüngung etwas effizienter als die Variante der Gülledüngung. Je TM-Einheit wurde mit ansteigender organischer Düngung eine stark ansteigende N-Zufuhr notwendig. Von den vegetationsbegleitenden Maßnahmen war die Variante mit kleinem Reihenabstand ohne Dungeinarbeitung mit niedrigeren Werten in der N-Zufuhr veranschlagt worden als die Varianten mit großen Reihenabständen.

Im Marktfruchtsystem benötigte die Variante der N-Mineraldüngung für eine TM-Bildung von 100 dt/ha eine Zufuhr von etwa 277 kg N/ha und Jahr. Von den organischen Dungarten war die Variante der Gülledüngung etwas effizienter als die Variante der Mulchdüngung. Infolge steigender Düngung war eine stark ansteigende N-Zufuhr je gebildeter Trockenmasseeinheit notwendig (von 177 kg auf 360 kg N/ha und Jahr). Von den vegetationsbegleitenden Maßnahmen benötigten die Varianten ohne Dungeinarbeitung eine geringere N-Zufuhr als die

Flächen mit Dungeinarbeitung. Im Versuchsdurchschnitt war das Futterbausystem mit niedrigeren berechneten N-Zufuhrwerten je gebildeter Trockenmasseeinheit das effizientere Anbausystem.

Für die gebildete Trockenmasseeinheit konnten kaum Unterschiede zwischen den Varianten für die Abfuhr, aber auch für die Frühjahrs-N_{min}-Werte berechnet werden. Lediglich zwischen dem Futterbausystem mit 189 kg und den Marktfruchtflächen mit nur 40 kg N/ha bestand ein deutlicher Unterschied in der N-Abfuhr.

Im Futterbausystem wiesen die Gülledüngungsflächen von den organischen Dungvarianten mit etwa 25 kg N/ha*a den höchsten N-Saldo und die Varianten der N-Mineraldüngung mit –22 kg N/ha*a den höchsten negativen Saldo auf. Mit ansteigender Düngung wurde je TM-Bildungseinheit ein deutlicher Anstieg der N-Salden festgestellt (von –80 kg auf 55 kg N/ha und Jahr). Für eine steigende Düngung konnte darüber hinaus auch ein Anstieg in den Herbst- und Frühjahrs-N_{min}-Werten sowie in den N_{min}-Differenzen zwischen Herbst- und Frühjahrsbeprobung berechnet werden.

Auch im Marktfruchtsystem wurden mit ansteigender Düngung steigende N-Salden von 137 kg auf 317 kg N/ha und Jahr festgestellt. Von den Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen waren ebenfalls die Flächen mit großem Reihenabstand mit Dungeinarbeitung diejenigen mit höheren N-Überschüssen im Vergleich zu den Varianten ohne Dungeinarbeitung. Im Durchschnitt wies das Futterbausystem einen relativ ausgeglichenen N-Saldo auf. Das Marktfruchtsystem zeichnete sich dagegen durch einen berechneten Überschuss von etwa 240 kg N/ha und Jahr aus (Tab. 34).

Tab. 34: Werte für Zufuhr, Abfuhr, Saldo, N_{min} berechnet für eine Trockenmassebildung von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Spröda im Versuchszeitraum (1993 - 1999)

	Zufuhr	Abfuhr	Saldo	Herbst-N_{min}	Frühjahrs-N_{min}	N_{min}-Differenz Herbst/ Frühjahr
	(kg N/ha*a)			(kg N/ha)		
Futterbau						
Stallmist	205,7	187,3	18,4	73,9	63,6	-10,3
Gülle	212,1	186,7	25,3	55,2	60,2	5,0
N-Mineraldgg.	172,4	194,2	-21,8	74,6	64,1	-10,5
0,0 DE	113,9	194,1	-80,1	45,5	63,4	17,8
0,5 DE	158,4	184,1	-25,8	52,0	59,7	7,7
1,0 DE	216,0	136,3	29,7	67,1	56,9	-10,2
2,0 DE	245,0	190,5	54,5	74,3	68,9	-5,4
1	202,6	183,2	19,3	61,9	60,3	-1,7
2	206,3	186,3	20,0	61,6	60,9	-0,7
3	218,4	191,9	26,5	70,5	64,7	-5,7
Marktfrucht						
Mulch	286,7	40,3	246,4	62,4	59,8	-2,7
Gülle	299,0	41,5	257,5	78,9	62,3	-16,5
N-Mineraldgg.	276,7	36,6	240,1	69,8	59,5	-10,3
0,0 DE	177,5	40,0	137,4	66,5	66,4	-0,1
0,5 DE	234,8	39,3	195,5	58,0	56,7	-1,3
1,0 DE	280,0	40,7	239,3	66,5	56,5	-10,0
2,0 DE	359,5	42,5	316,9	58,4	69,5	11,1
1	281,0	40,9	240,1	61,4	59,7	-1,7
2	288,3	39,5	248,8	60,8	59,8	-1,0
3	309,8	42,3	267,6	60,6	63,7	3,1
Futterbau	195,1	188,5	6,6	63,7	62,3	-1,4
Marktfrucht	279,3	40,4	239,0	64,3	61,4	-2,9
Standort	237,2	114,4	122,8	64,0	61,8	-2,2

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

Versuchsort Methau

In beiden Anbausystemen wurde mit der Fruchtart Kleegras eine höhere Effizienz im Vergleich zum Getreidefruchtfolgeglied und der Hackfrucht Mais aufgezeigt (Abb. 46). Im Futterbausystem wies das Kleegras durchschnittlich mehr als 250 kg N/ha, der Sommerweizen etwa 188 kg N/ha und Silomais etwa 148 kg N/ha je 100 dt Trockenmasse auf. Im Marktfruchtsystem lagen die N-Effizienzen auf ähnlichem Niveau. Das Kleegras wies durchschnittlich etwas mehr als 242 kg N/ha, Sommerweizen etwa 186 kg N/ha und Körnermais ebenfalls 148 kg N/ha auf. Bei den einzelnen Kulturarten traten keine wesentlichen Effizienzunter-

schiede im Hinblick auf die Varianten der Dungarten, Dungstufen und vegetationsbegleitenden Maßnahmen auf.

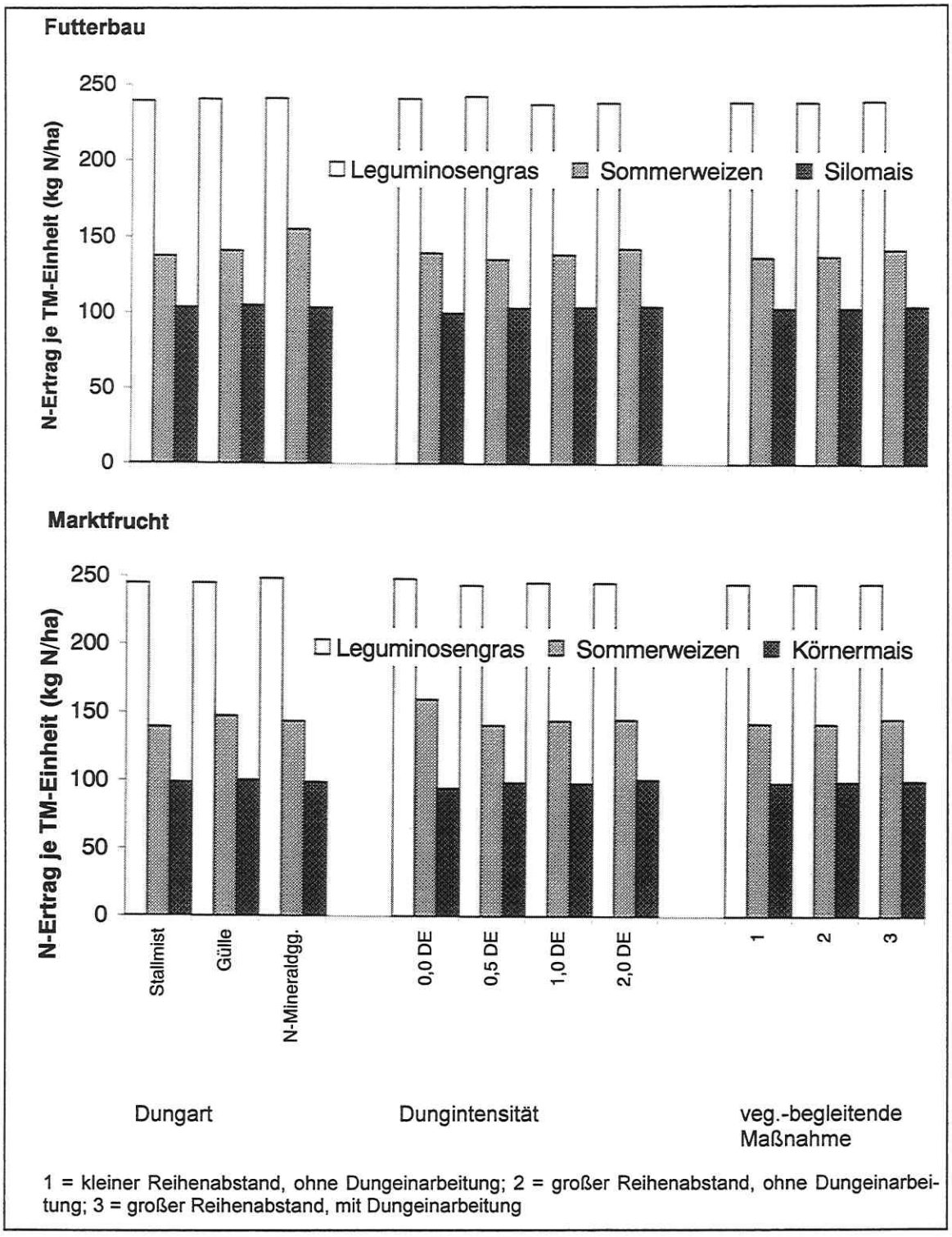


Abb. 46: N-Erträge je Trockenmasseeinheit von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Kulturarten und den Anbausystemen am Standort Methau (1993 - 1999)

Zwischen den Anbausystemen Futterbau und Marktfrucht waren keine großen Unterschiede aufgetreten (Abb. 47). Im Marktfruchtbau wurde eine etwas geringere N-Effizienz je gebildeter TM-Einheit festgestellt. Von den organischen Dungarten waren die Varianten der Stallmistdüngung effizienter als die der Gülle- bzw. Mulchdüngung einzustufen. Je höher die Düngung erfolgte, desto höher wurde auch der N-Ertrag je TM-Äquivalent, wobei die unterlassene Düngung im Marktfruchtsystem eine verhältnismäßig hohe Effizienz aufwies. Die Varianten des großen Reihenabstandes mit Dungeinarbeitung hatten einen etwas höheren N-Ertrag im Verhältnis zur Trockenmassebildung zur Folge.

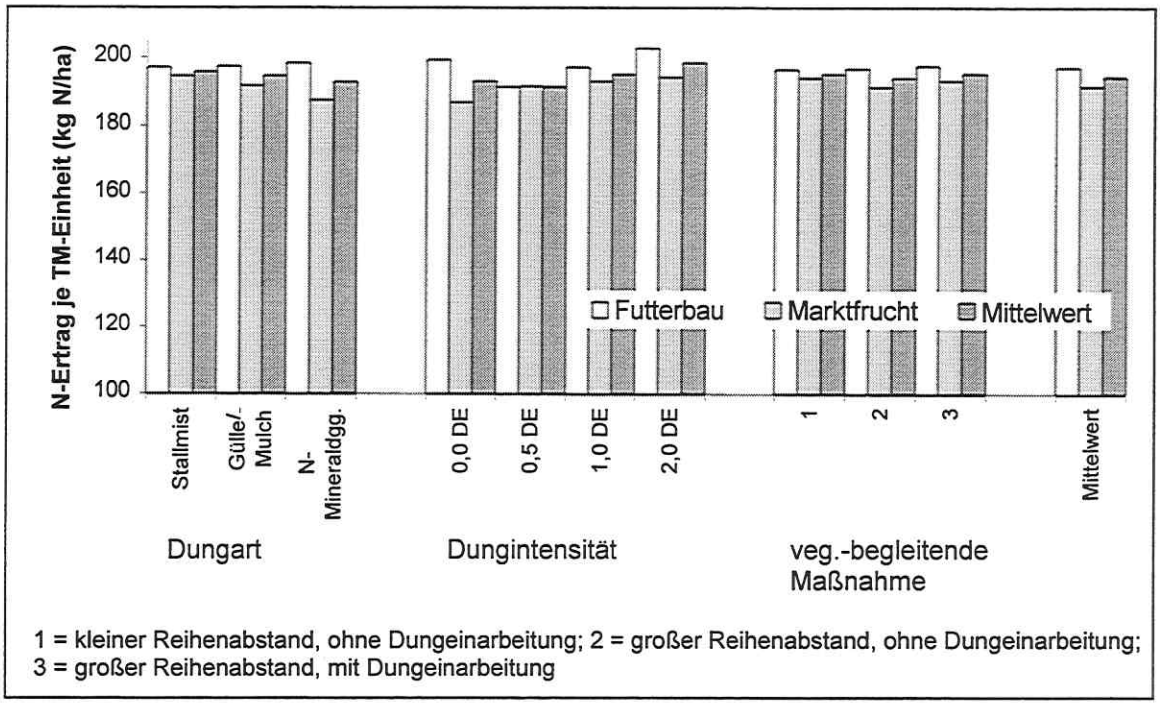


Abb. 47: N-Erträge je Trockenmasseeinheit von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Anbausystemen am Standort Methau (1993 - 1999)

Ein Standortvergleich verdeutlicht, dass auf dem leichten Boden in Spröda um etwa 10 kg N/ha geringere N-Erträge je TM-Äquivalent erreicht wurden (Abb. 48). Auf beiden Standorten wurde kein großer Unterschied zwischen den organischen Dungvarianten festgestellt. Die mineralischen Dungvarianten wiesen gegenüber den organischen Dungvarianten einen etwas höheren errechneten N-Ertrag auf. An beiden Standorten stiegen mit ansteigender Düngung auch die Effizienzwerte, wobei die Standardvarianten ohne Düngung jeweils verhältnismäßig hohe N-Erträge aufwiesen. Unter den Varianten der vegetationsbegleitenden Maßnahmen hatte die Variante des großen Reihenabstandes mit Dungeinarbeitung die höheren N-Erträge je TM-Einheit zur Folge.

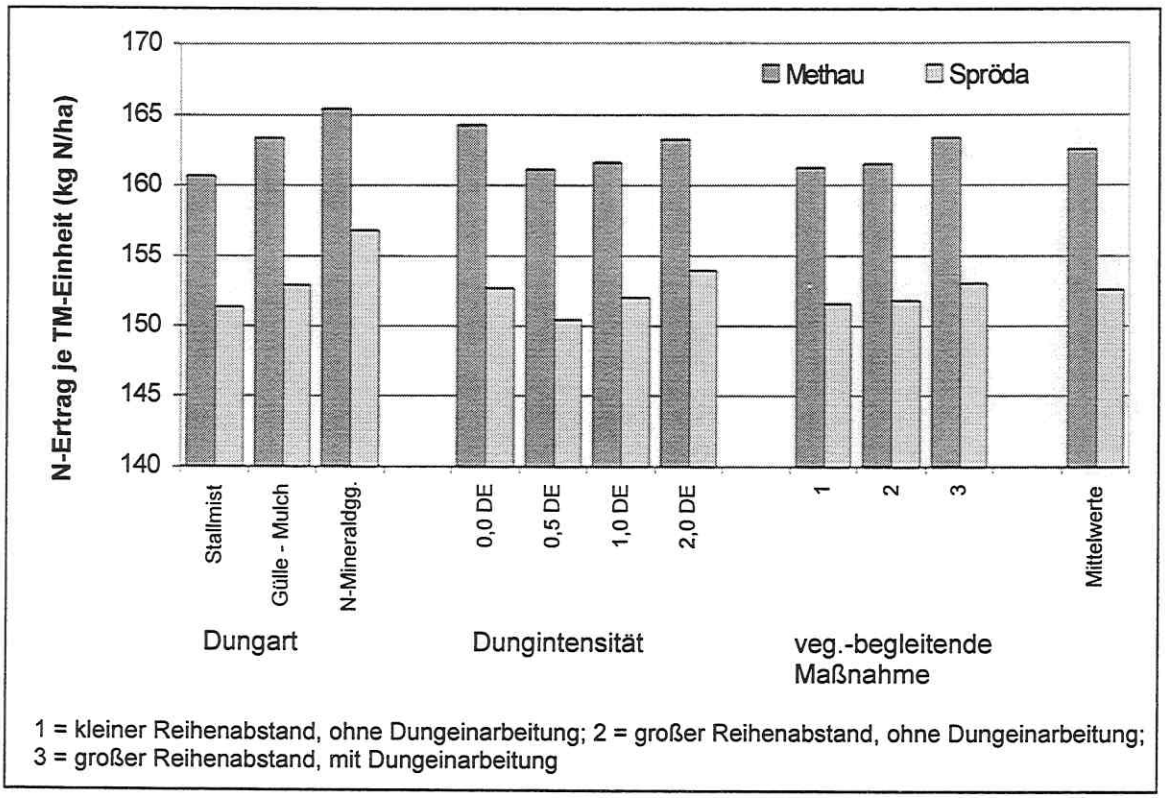


Abb. 48: N-Erträge je Trockenmasseeinheit von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Standorten Methau und Spröda (1993 - 1999)

Für die auf ein TM-Äquivalent von 100 dt/ha bezogenen Merkmalswerte wurden am Standort Methau mit dem Standort Spröda vergleichbare Ergebnisse für die Periode 1993 – 1999 (Tab. 35) und 1996 – 1999 (Tab. 36) gefunden. Bemerkenswert waren nicht nur die Unterschiede zwischen den Anbausystemen, sondern auch besonders infolge steigender Düngungsaufwendung für die je Trockenmasseinheit berechneten Zufuhr- und Saldo-Werte an Stickstoff.

Tab. 35: Werte für Zufuhr, Abfuhr, Saldo und N_{min} berechnet für eine Trockenmassebildung von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Methau im Versuchszeitraum (1993 - 1999)

	Zufuhr	Abfuhr	Saldo	Herbst-N_{min}	Frühjahrs-N_{min}	N_{min}-Differenz Herbst/ Frühjahr
	(kg N/ha*a)			(kg N/ha)		
Futterbau						
Stallmist	179,1	192,1	-13,1	25,6	38,9	13,4
Gülle	163,3	195,6	-32,3	25,3	38,0	12,7
N-Mineraldgg.	186,9	194,9	-7,9	35,3	29,6	-5,6
0,0 DE	117,4	196,3	-78,9	30,5	50,6	20,1
0,5 DE	145,7	194,6	-48,9	24,1	28,7	4,5
1,0 DE	166,4	193,8	-27,4	25,5	44,7	19,3
2,0 DE	200,2	193,3	6,9	26,6	41,7	15,1
1	171,1	193,0	-21,8	25,0	38,5	13,5
2	173,5	194,4	-20,8	26,8	39,1	12,3
3	168,9	194,3	-25,5	24,6	37,8	13,3
Marktfrucht						
Mulch	305,2	62,9	242,3	24,8	45,0	20,2
Gülle	289,7	58,4	231,3	23,6	42,2	18,6
N-Mineraldgg.	276,0	64,2	211,8	34,9	27,3	-7,6
0,0 DE	245,7	58,8	186,9	33,0	51,1	18,2
0,5 DE	270,4	58,0	212,4	22,1	35,1	13,0
1,0 DE	292,4	61,6	230,8	24,1	42,6	18,5
2,0 DE	328,6	62,4	266,2	26,3	52,8	26,5
1	294,5	59,8	234,7	24,8	44,3	19,4
2	294,8	60,0	234,8	24,0	43,8	19,8
3	303,3	62,3	241,0	23,8	42,8	19,0
Futterbau	**167,3**	**194,2**	**-27,0**	**26,9**	**38,8**	**11,8**
Marktfrucht	**290,1**	**60,8**	**229,2**	**26,1**	**42,7**	**16,6**
Standort	**228,66**	**127,53**	**101,13**	**26,54**	**40,74**	**14,20**

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

Tab. 36: Werte für Zufuhr, Abfuhr, Saldo und N_{min} berechnet für eine Trockenmassebildung von 100 dt/ha in Abhängigkeit von den Prüffaktoren und den Anbausystemen am Standort Methau im Projektzeitraum (1996 - 1999)

	Zufuhr	Abfuhr	Saldo	Herbst-N_{min}	Frühjahrs-N_{min}	N_{min}-Differenz Herbst/ Frühjahr
	(kg N/ha*a)			(kg N/ha)		
Futterbau						
Stallmist	165,0	142,7	22,4	31,6	41,2	9,6
Gülle	127,1	145,3	-18,2	29,6	44,1	14,6
N-Mineraldgg.	164,4	148,7	15,7	55,6	31,8	-23,8
0,0 DE	77,4	146,4	-69,1	30,2	58,0	27,8
0,5 DE	113,9	142,3	-28,4	29,9	26,6	-3,4
1,0 DE	139,1	143,8	-4,7	29,4	53,2	23,8
2,0 DE	183,3	145,8	37,6	32,4	47,9	15,5
1	146,5	143,7	2,8	28,7	42,1	13,4
2	150,4	143,6	6,8	32,8	43,9	11,2
3	141,5	144,6	-3,1	30,4	42,1	11,7
Marktfrucht						
Mulch	235,1	78,4	156,7	19,7	44,7	24,9
Gülle	206,9	73,5	133,5	24,3	44,3	19,9
N-Mineraldgg.	215,3	78,4	136,9	56,4	29,1	-27,3
0,0 DE	147,5	74,1	73,4	24,8	49,5	24,7
0,5 DE	185,4	73,0	112,4	17,8	34,3	16,5
1,0 DE	209,9	77,0	132,9	21,9	43,7	21,8
2,0 DE	265,7	77,7	188,0	26,0	54,7	28,7
1	223,9	75,1	148,8	22,0	45,2	23,2
2	220,8	76,2	144,6	21,7	45,7	23,9
3	218,8	76,6	142,2	22,3	42,6	20,3
Futterbau	**140,9**	**144,7**	**-3,8**	**33,1**	**43,1**	**10,0**
Marktfrucht	**212,9**	**76,0**	**136,9**	**25,7**	**43,4**	**17,7**
Standort	**176,9**	**110,3**	**66,5**	**29,4**	**43,2**	**13,9**

1 = kleiner Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 2 = großer Reihenabstand, ohne Dungeinarbeitung; 3 = großer Reihenabstand, mit Dungeinarbeitung

5 Zusammenfassung

Auf einem Sandboden und einem Lößboden wurden in Sachsen ab dem Jahr 1992 komplexe Dauerversuche durchgeführt. Es wurden Verfahren von viehlosen (System Marktfruchtbau) sowie von viehhaltenden Betrieben (System Futterbau) in der Anbaufolge mit zweijährigem Leguminosengras, Sommerweizen und Mais simuliert. In den Versuchen wurden außerdem eine stark unterschiedliche Düngungshöhe mit verschiedenen organischen Düngemitteln sowie differenzierte anbautechnische und vegetationsbegleitende Maßnahmen berücksichtigt. Die Anbauverfahren wurden sowohl in ihren kurzzeitigen Auswirkungen auf Nährstoffdynamik (N_{min}, gasförmige N-Emissionen), Ertrag und Produktqualität der Kulturarten als auch in ihren langfristigen Auswirkungen auf die Nährstoffbilanzen der Fruchtfolgen sowie auf die Bodenfruchtbarkeit geprüft.

In dem vorliegenden 1. Teil der Ergebnisdarstellung standen die Ertrags- und Qualitätsentwicklung der Kulturarten, die Tiefenverlagerung an N-Komponenten, die C_t- und N_t-Entwicklung im Boden sowie umfangreiche N-Bilanzierungs- und –Effizienzberechnungen (N-Aneignungsvermögen als Ressourcen-Effizienz, Effizienz je Produkt- und Flächeneinheit) im Mittelpunkt dieser konkreten feldwirtschaftlichen Versuchsanstellungen des ökologischen Landbaus.

Die Ergebnisse für das Futterbausystem (Leguminosenaufwüchse und Koppelprodukte wurden vom Feld abgefahren) wiesen am Standort Spröda nach acht Versuchsjahren bei verhältnismäßig geringen N-Überschüssen und TM-Zufuhren über die Düngung und die Erntereste einen leichten Anstieg der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte des Bodens auf. Im Marktfruchtsystem (Leguminosenaufwüchse wurden gemulcht, Koppelprodukte verblieben auf dem Acker) wurde dagegen trotz der rel. hohen N-Überschüsse und TM-Zufuhren durch den Verbleib der Koppelprodukte auf den Flächen ein Abbau an organischer Substanz festgestellt. Die Erträge lagen im Marktfruchtsystem bei allen Kulturarten unter denen des Futterbausystems. Dagegen wurden auf den Marktfruchtflächen höhere Rohprotein- und Sedimentationswerte bei Weizen und geringfügig niedrigere Rohprotein- und NEL-Werte bei Mais erzielt.

Es wurden keine Differenzen in der Tiefenverlagerung an Stickstoff zwischen den beiden Anbausystemen analysiert, obwohl deutliche Unterschiede in den berechneten Bilanz- und Effizienzkennzahlen ermittelt werden konnten.

Eine steigende organische Düngung führte innerhalb der Anbausysteme dazu, dass nach Stallmist- bzw. Mulchdüngung ein Anstieg der C_t-Werte des Bodens eintrat, was in erster Linie auf die hohe TM-Zufuhr zurückzuführen war. Nach fortlaufender N-Mineraldüngung (zum Vergleich in kleinem Umfang zusätzlich untersucht), in abgeschwächter Form auch nach Gülledüngung, sind demgegenüber die C_t-Werte des Bodens z.T. deutlich abgefallen. Die N_t-Werte des Bodens sind bei allen Düngemittelarten, am geringsten aber nach Stallmistdüngung, abgesunken.

Auch nach steigender organischer Düngung wurden abnehmende N_t-Gehalte im Boden und demzufolge steigende C/N-Verhältnisse ermittelt. Nach Anwendung einer steigenden Düngung (0 – 2 DE/ha u. Jahr) waren nur rel. geringe Veränderungen in den Ertrags- und Qualitätsleistungen von S.-Weizen und Mais eingetreten. Zwischen den Düngemittelarten und der Düngungssteigerung waren kaum Unterschiede in der Verlagerung an Stickstoff zu ermitteln. Lediglich eine mineralische N-Düngung führte im Unterboden zu einer deutlichen Erhöhung der N_{min}-Gehalte an beiden Standorten. Nach Stallmistdüngung war ein etwas geringeres N-Aneignungsvermögen als nach Gülle- bzw. nach mineralischer N-Düngung berechnet worden. Nach steigender Düngung nahm das N-Aneignungsvermögen deutlich ab. Das TM-Bildungsvermögen je N-Ertragseinheit war nach steigender Stallmistdüngung im Durchschnitt aller angebauten Kulturarten am höchsten und nach mineralischer N-Düngung am geringsten. Das TM-Bildungsvermögen nahm nach steigender organischer Düngung etwas zu.

Vegetationsbegleitende Maßnahmen wurden in Weizen- und Maiskulturen mit unterschiedlichen Reihenabständen und mit Durchführung einer organischen Spätdüngung angelegt. Die Maßnahme mit großem Reihenabstand und mit Einarbeitung war durch etwas höhere Erträge (Weizen, Mais) und einer höheren N-Abfuhr gekennzeichnet, so dass das N-Aneignungsvermögen in dieser Variante etwas höher lag als bei den anderen vegetationsbeleitenden Maßnahmen. Im Vergleich zu einer oberflächlichen Ausbringung führte die Einarbeitung von Flüssigdüngern bei häufiger Anwendung jedoch zu einem Abbau der organischen Substanz und zu N-Verlusten im Boden.

6 Summary

Since 1992, complex long-term trials have been carried out on a sandy soil and a loess soil in Saxony. Methods of farming with livestock (fodder cultivation system) and without (market crop system) were simulated in crop rotation with two-year leguminous grass, summer wheat and maize. Moreover, large differences in the degree of fertilization and the use of different organic fertilizers, types of cultivation and supplementary methods were studied during the experiments. The cultivation techniques were investigated in terms of both their short-term impact on nutrient dynamics (N_{min}, gaseous N emissions), crop yield and quality, and their long-term effects on the nutrient balances of the crop sequences and soil fertility.

This first part of the results concentrates on the yield and quality development of crops, the depth migration of N components, C_t and N_t development in the soil, and extensive N balancing and efficiency calculations (N uptake ability as resource efficiency, efficiency per unit of product and area) of these organic farming field trials.

At the farm in Spröda, after eight years with relatively low N surpluses and dry matter input via fertilization and harvest residues, the results of the fodder cultivation system (in which leguminous regrowth and by-products were removed from the field) revealed a slight increase in the levels of carbon and nitrogen in the soil. By contrast, in the market crop system (leguminous regrowth used as mulch, by-products remaining on the field), a reduction of organic substance was noted despite the relatively high N surpluses and dry matter input by by-products remaining on the fields. The yields in the market crop system for all types of crops were below those of fodder cultivation. The market crop fields also exhibited higher raw protein and sedimentation values for wheat and slightly lower raw protein and NEL values for maize.

No differences were found in the depth migration of nitrogen between the two cropping systems, despite significant differences being calculated in the balance and efficiency parameters.

Increasing organic fertilization within the cropping systems led to rising C_t values in the soil after fertilization with dung or mulch, which was mainly attributed to the high dry matter input. By contrast, after continuous N mineral fertilization (additionally investigated by way

of comparison) – and to a lesser extent after liquid manure fertilization – the soil C_t values sometimes declined considerably. The N_t values of the soil dropped in response to all types of fertilizer, the least decline resulting from the use of dung.

Diminishing N_t levels in the soil and consequently rising C:N ratios were also found after increasing organic fertilization (0–2 DE/ha and year), although the yield and quality of summer wheat and maize changed relatively little. Hardly any differences were observed between the different types of fertilizer or their increase regarding nitrogen mobility – with the exception of mineral N fertilization, which considerably raised the N_{min} levels at both locations. Following the application of dung, a slightly lower N uptake ability was calculated compared to liquid manure or mineral N fertilization. After the fertilizer was increased, the N uptake capacity dropped significantly. Based on the average of all crops, the dry matter formation capacity per unit of N yield was the highest after increasing dung fertilization, and the lowest after mineral N fertilization. The dry matter formation capacity increased somewhat after rising organic fertilization.

Supplementary measures in the wheat and maize cultures took the form of different row spacing and late organic fertilization. Widely spaced rows and digging in fertilizer produced slightly higher yields (wheat, maize) and higher N removal, and so the N uptake capacity here was somewhat higher than in the other supplementary measures. However, compared to surface application, frequently digging in liquid fertilizers resulted in N losses and the decline of organic substance in the soil.

7 Danksagung

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt möchten wir herzlich für die großzügige finanzielle Unterstützung danken. Ein besonderer Dank gilt ebenfalls den Mitarbeitern der Versuchsanstalten der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft für die langjährige Versuchsbetreuung sowie Frau Maffee für die Anfertigung des Manuskripts.

8 Literatur

Albert, E., Ernst, H., Biermann, St., Michel, D.; 1997; Stickstoffbindung durch Leguminosen sowie Möglichkeiten zu ihrer Abschätzung; Infodienst Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Nr. 5, 67-71

Anonym; 1991; Verordnung (EWG) Nr.2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. ABL. Nr. 198 vom 22.07.1991, 1

Aufhammer, W., Kübler, E., Becker, H.-W.; 1991; Stickstoffaufnahme von und Stickstoffverlagerungspotential unter Maisbeständen; Mais 19, 30-32

Bach, M., Gäth, S., Frede, H.-G.; 1991; Abschätzung des Nitrat-Belastungspotentials aus der Landwirtschaft mittels Stickstoff-Bilanzierung; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wiss. Beiträge 22, 136-149

Beckmann, U., Kolbe, H., Model, A., Russow, R.; 2001; Ackerbausysteme im ökologischen Landbau – Untersuchungen zur N_{min}-, N_2O-N- und NH_3-N-Dynamik sowie Rückschlüsse zur Anbau-Optimierung –; Initiativen zum Umweltschutz ..., Erich Schmidt Verlag, Berlin

Belau, L., Honermeier, B., Matheis, F.; 1995; Modelluntersuchungen zur Einschätzung der potentiellen N-Freisetzung nach Kleegrasumbruch; Arch. Acker-Pfl. Boden. 39, 37-43

Bergersen, F. J.; 1980; Methods of evaluating biological nitrogen fixation; John Wiley & Sons, Chichester

Buchholz, H.; 1988; Pflanzliche Inhaltsstoffe; VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, 2. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Buchholz, H.; 1993; Pflanzliche Inhaltsstoffe; VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III, VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Chalk, P. M.; 1985; Estimation of N_2 by isotope dilution: An appraisal of techniques involing ^{15}N enrichment and their application; Soil Biol. Biochem. 17, 389-410

Czauderna, R.; 1990; Stickstoffeffizienz eines Winterweizensortiments: Auswirkungen reduzierter Stickstoffmengen auf Ertrag, Ertragsstruktur und Qualität; Mitteilung Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaft 3, 221-224

Dewes, T., Schmitt, L.; 1995; Bewertung pflanzenbaulicher Verfahrensalternativen zur Erzeugung von Backweizen im Ökologischen Landbau; Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Kiel

Diercks, S.R., Heitefuß, R.; 1990; Integrierter Landbau; BLV-Verlagsgesellschaft, München

Dreesmann, S.; 1993; Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzernegras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben – Winterweizen – Wintergerste; Diss., Bonn

Förster, F., Ernst, H., Albert, E.; 1997; BEFU. N, P, K, Kalk, Mg-Düngungsempfehlung. N, P, K-Schlagbilanzen; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden

Gebauer, W.G., Schaaf, H.; 1993; Ergebnisse kombinierter organischer Düngung und mineralischer N-Düngung zu Silomais; VDLUFA-Schriftenreihe 37, Kongressband, 153-157

Granstedt, A.; 1992; Case studies on the flow and supply of nitrogen in alternative farming in Sweden; Biological Agriculture and Horticulture 9, 15-63

Gruel, A.; 1999; Projekt zur Getreidequalität in Baden-Württemberg; SÖL Beraterrundbrief Nr. 2, 11-12

Haneklaus, S., Schnug, E.; 2000; Nachhaltige Landbewirtschaftung mittels Precision Agriculture; Landbaudforschung Völkenrode, SH 212, 171-181

Hege, U., Weigelt, H.; 1991; Nährstoffbilanzen alternativ bewirtschafteter Betriebe; Bay. Landw. Jahrb. 68, 403-407

Hess, J.; 1990; Acker- und pflanzenbauliche Strategien zum verlustfreien Stickstofftransfer beim Anbau von Kleegras im organischen Landbau; Mitteilung Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaft 3, 241-244

Hess, J.; 1995; Residualer Stickstoff aus mehrjährigem Feldfutterbau: Optimierung seiner Nutzung durch Fruchtfolge und Anbauverfahren unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus; Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen

Hess, J., Pauly, J., Roth, A., Franken, H.; 1993; Stickstoffmineralisierung aus Ernterückständen: Standort- und Jahreseinfluß sowie Möglichkeiten der Beeinflussung durch ackerbauliche Maßnahmen am Beispiel des Weizenanbaus nach Kleegras im Ökologischen Landbau; Abschlußbericht Forschungs- und Entwicklungsvorhaben "Alternativer Landbau Boschheide Hof" 1979-1992, Veröffentlichungen des Institutes für Wasserforschung der Dortmunder Stadtwerke

Hoffmann, G.; 1991; Die Untersuchung der Böden; VDLUFA-Methodenbuch, Bd.1, VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Hülsbergen, K.J., Heine, M., Werner, S.; 1999; PC-Programm zur Humus- und Nährstoffbilanz im Ackerbau; Beiträge zur 5.Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, 480-483

KB; 1997; Tips zur Gülledüngung in Mais; dlz 4, 44-46

König, U.J.; 1995; Optimierung des N-Umsatzes beim Leguminosenzwischenfruchtanbau; Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Kiel, 181-184

Kolbe, H.; 1993; Acker- und pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Vergleich verschiedener landwirtschaftlicher Bewirtschaftungssysteme unterschiedlicher Intensität und Schlußfolgerungen für weitere notwendige Untersuchungen in den neuen Bundesländern. Literaturstudie; Institut für Bodenkultur und Pflanzenbau, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig

Kolbe, H.; 2000; Landnutzung und Wasserschutz. Der Einfluss von Stickstoff-Bilanzierung, N_{min}-Untersuchung und Nitrat-Auswaschung sowie Rückschlüsse für die Bewirtschaftung von Wasserschutzgebieten in Deutschland; WLV Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig

Köpke, U.; 1996; Qualitäts-Backweizen aus organischem Anbau durch Streifenanbau mit Futterleguminosen: phytopathologische und biologische Einflussfaktoren; Forschungsberichte 37, Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität, Bonn

Köpke, U.; Frieben, B.; Geier, U.; Haas, G.; 1999; Ökologischer Landbau: Positive Umweltleistungen – Kriterien der Nachhaltigkeit – erfasst mit Ökobilanzen. In: Ellendorff, F.; Stützel, H.; Workshop „Nachhaltige Landwirtschaft"; Landbauforschung Völkenrode, SH 212, 312-341

Kristensen, L., Stopes, C., Kolster, P., Granstedt, A., Hodges, D.; 1995; Nitrogen leaching in ecological agriculture; ABA Academic Publishers, Becester, Oxfordshire, UK

Laurenz, L.; 1997; Phosphat bei der Unterfußdüngung einsparen?; top agrar Nr. 4, 74-77

Lippold, H.; 2000; Mündliche Mitteilung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB Bodenkultur und Pflanzenbau, Leipzig

Loges, R., Kaske, A., Ingwersen, K., Taube, F.; 2000; Yield, forage quality, residue nitrogen and nitrogen fixation of different forage legumes; IFOAM Scientific Conference Proceedings 13, 83

Lorenz, F., Steffens, G., Vetter, H.; 1991; Der Einfluss gestaffelter Schweinegüllegaben und verschiedener Ausbringungszeitpunkte auf Ertrag und Rest-N-Gehalte im Boden; VDLUFA-Schriftenreihe 33, Kongressband, 111-116

Lütke Entrup, N., Onnen, O., Teichgräber, B.; 1998; Zukunftsfähige Landwirtschaft. Integrierter Landbau in Deutschland und Europa; Studie zur Entwicklung und Perspektiven; FIP 14, Gesell. Z. Förderung des Integr. Landbaus, Bonn

Mäder, P., Pfiffner, L., Jäggi, W., Wiemken, A., Niggli, U., Besson, J.M.; 1993; DOK-Versuch: Vergleichende Langzeituntersuchungen in den Anbausystemen Biologisch-dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell; Schweiz. Landw. Forschung 32/4, 509-545

Maidl, F.X.; 1990a; Stickstoffverwertung bei Mais; Mais 18, 3, 22-24

Maidl, F.X.; 1990b; Pflanzenbauliche Aspekte einer verbesserten Stickstoffverwertung bei Mais; Mitteilung Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaft 3, 217-220

Maidl, F.X., Sticksel, E., Valta, R.; 1999; Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 1. Mitteilung: Verwertung von Güllestickstoff durch Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen Applikationsverfahren; Pflanzenbau Wissenschaft 3, 9-16

McAuliffe, C.; Chamblee, D.S.; Uribe-Arango, H.; Woodhouse, W.W.; 1958; Influence of inorganic nitrogen on nitrogen fixation by legumes as revealed by ^{15}N; Agron. J. 50, 334-337

Menge, M., Ernst, H., Förster, F., Reinhard, W., Dittrich, J.; 1998; Ergebnisse zur Wirksamkeit des Programms "Umweltgerechte Landwirtschaft" in Sachsen; Infodienst Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Nr. 8, 52-58

Niedermaier, T.; 1995; Düngemitteluntersuchung; VDLUFA-Methodenbuch; Bd. II, VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Olfs, H.W., Beck, T., Werner, W.; 1990; Charakterisierung von N-Immobilisierungs- und Mobilisierungsprozessen durch chemische und mikrobiologische Parameter; VDLUFA-Schriftenreihe 32, 257-264

Piorr, A.; 1992; Zur Wirkung von residualem Kleegras- und Wirtschaftsdüngerstickstoff auf die N-Dynamik in ökologisch bewirtschafteten Böden und die N-Ernährung von Getreide; Diss., Bonn

Pommer, G.; 1994; Zum Anbau von Backweizen im ökologischen Landbau; SuB Heft 5, IV, 5-8

Pommer, G.; 1995; Möglichkeiten zur Beeinflussung der Backqualität von Weizen, Dinkel und Roggen durch Anbaumaßnahmen; SuB Heft 11, IV, 17-21

Raupp, J.; 1995; The long-term trial in Darmstadt: Mineral fertilizer, composted manure and composted manure plus all biodynamic preparations. In: Raupp, J.; Main effects of organic and mineral fertilization on soil organic matter turnover and plant growth; Institut für Biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt 5, 28-36

Raupp, J., Reents, H.-J., Bachinger, J.; 1994; Ertrag und Qualität von Sommerweizen bei organischer und mineralischer Düngung an einem trocken-warmen Standort; Mitteilung deutsch. Gesell. für Pflanzenbau 7, 253-256

Russow, R., Faust, H.; 1990; Vergleichende Betrachtung zur Bestimmung der biologischen Stickstoff-Fixierung aus der ^{15}N-Isotopenverdünnung; Zentralbl. Mikrobiol. 145, 605-613

Russow, R., Goetz, A.; 1998; Automatic simultaneous determination of total carbon and ^{13}C as well as total nitrogen and ^{15}N in isotopically enriched samples of soil and plant material using a quadrupole mass spectrometer coupled to an elemental analyser; Archives of Agronomy and Soil Science 42, 349-359

Russow, R., Knappe, S., Ritzkowski, E.-M.; 1997; Estimating plant-available ^{15}N and its impact on the ^{15}N dilution measurement of the symbiotic biological nitrogen fixation of red clover grown on different soils; Isotopes Environ., Health Stud. 33, 337-348

Scheffer, B.; 1996; Stickstoff-Flächenbilanz und Rest-Nitrat-Gehalte als Planungshilfe für die Bodennutzung in Wasserschutzgebieten; In: Walther, W.; Grundwasserschutz, Konzepte 96`; Mitt. Inst. Grundwasserwirtschaft H. 1, Techn. Uni., Dresden

Scheller, E., Bohlen, M., Vogtmann, H.; 1991; Die Stickstoffernährung der Pflanze als Haupteinflussfaktor auf ihre Fähigkeit zur aktiven Nährstoffmobilisierung; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wiss. Beiträge 22, 91-101

Schmidt, H.; 1997; Viehlose Fruchtfolge im ökologischen Landbau, Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte; Diss., GHS Kassel

Schmidt, H., Fragstein, P. v., Kölsch, E.; 1999; Stickstoffflüsse im System Boden-Pflanze in einer viehlosen Fruchtfolge des Ökologischen Landbaus; Beiträge zur 5.Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, 97-100

Schmitt, L., Dewes, T.; 1995; Düngungsstrategien zu Backweizen für Festmist und Flüssigmist erzeugende, ökologisch wirtschaftende Betriebe; Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Kiel, 301-304

Schulz-Marquardt, J., Weber, M., Köpke, U.; 1995; Streifenanbau mit Sommerweizen im Wechsel mit Futterleguminosen zur Erzeugung von Qualitätsbackweizen im organischen Landbau; Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Kiel, 109-112

Seeger, J., Meissner, R., Rupp, H., Schonert, P.; 1997; Reduzierung der Stoffausträge durch ökologischen Landbau?; Gumpensteiner Lysimetertagung BAL 7, 95-99

Spielhaus, G.; 1990; Gezielte Gülledüngung im Getreide; DLG-Mitteilungen 105, 5, 222-224

Stolze, M., Piorr, A., Häring, A., Dabbert, S.; 2000; The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe; Organic Farming in Europe, Economics and Policy 6

Walther, U.; 1995a; Stickstoffdüngung zu Mais - zur Saat oder später?; Agrarforschung 2, Nr.4, 129-132

Walther, U.; 1995b; Optimale Stickstoffdüngung zu Mais mit der N_{min}-Methode; Agrarforschung 2, Nr.7, 273-275

Walther, U.; 1995c; Stickstoffentzug und N-Ausnutzung einiger Kulturen; Agrarforschung 2, Nr.11-12, 508-511

Walther, U., Jäggli, F.; 1992; Stickstoffdüngung von Mais: N_{min}-Gehalte des Bodens vor, während und nach dem Anbau; Landwirtschaft Schweiz 5, 79-85

Werner, W., Brenk, C.; 1996; Regionale und betriebliche Nährstoffbilanzen und Auswirkungen auf Nährstoffgehalte der Böden und Belastungspotentiale. In: Nährstoffkreisläufe und Prozeßgestaltung - Umweltgestaltung für die Zukunft; Forschungsberichte Landw. Fak., Bd. 46

Zadoks, J.C., Carel, J.; 1989; Development of farming systems, Evaluation of the five year period 1980-1984; Pudoc, Wageningen