



Das Lebensministerium



Effizienter Wirtschaftsdüngereinsatz

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 10 - 10. Jahrgang

**Entwicklung und Erprobung praxistauglicher Einsatzstrategien
von Wirtschaftsdüngern zur Verminderung von diffusen Nährstoffausträgen**

Abschlussbericht zum Projektvorhaben 041.30
der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Laufzeit: 05/2003 – 04/2005

Projektleitung

Dr. habil. Erhard Albert
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB 4

Projektbearbeitung

Dr. Wilfried Schliephake
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB 4

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Der Einsatz von Wirtschaftsdünger in Sachsen	4
2.1	Der Viehbesatz	4
2.2	Ausbringungszeit und bevorzugte Fruchtarten	5
2.2.1	Winterraps	8
2.2.2	Getreide	10
2.3.3	Mais und Zuckerrüben	11
2.3	Fazit	14
3	Erprobung einer teilschlagspezifischen Gülleausbringung im LVG Köllitsch	15
3.1	Material und Methoden	15
3.2	Ergebnisse	22
3.2.1	Die elektrische Leitfähigkeit als Kriterium für eine differenzierte Gülleausbringung zu Beginn der Vegetation	22
3.2.2	Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und der Biomasse zu Vegetationsbeginn	26
3.2.2.1	Wintergerste auf dem Schlag „Lämmergrund 2“	27
3.2.2.2	Winterraps auf dem Schlag „Am Park“	29
3.2.3	N_{\min} zu Vegetationsbeginn in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens	30
3.2.4	Erträge	32
3.2.4.1	Wintergerste	32
3.2.4.2	Winterraps	37
3.2.5	N_{\min} nach der Ernte der Wintergerste und des Winterraps	39
3.3	Fazit	40
4	Zeitlich differenzierter Gülleinsatz zu Winterweizen und Winterraps	42
4.1	Material und Methoden	42
4.2	Ergebnisse	46
4.2.1	Winterweizen im Versuchsjahr 2003	46
4.2.2	Winterweizen im Versuchsjahr 2003/2004	48
4.2.3	Winterraps im Versuchsjahr 2003/2004	52
4.3	Fazit	56
5	Begleitende Untersuchungen	57
5.1	Hemmung der Nitrifikation durch DMPP	57
5.2	Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Gülle	58

5.3	Einfluss unterschiedlicher Gülleapplikation auf den Ertrag und den N-Entzug bei Silomais	60
5.3.1	Material und Methoden	61
5.3.2	Ergebnisse	63
5.3.3	Fazit	65
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	66
	Literatur	72

1 Einleitung und Problemstellung

In Verbindung mit der Tierhaltung fallen regelmäßig organische Wirtschaftsdünger an. Ihr Einsatz wirkt sich günstig auf die Bodenfruchtbarkeit und die Ertragsbildung aus. Besonders hervorzuheben ist der positive Einfluss auf die C-Bilanz, die verbesserte biologische Aktivität sowie auf den Wasserhaushalt des Bodens.

Durch einen gezielten Einsatz können die mit den Ernten entzogenen Nährstoffe zu einem beachtlichen Teil ersetzt werden und kehren damit in den Kreislauf Boden-Pflanze zurück. Nicht übersehen werden darf aber auch, dass bei unsachgemäßer Anwendung mit erhöhten Umweltbelastungen gerechnet werden muss. Vor allem betrifft das den Stickstoff, dessen gute Ausnutzung bei ausschließlicher Zufuhr in mineralischer Form die geringsten Belastungen erbringt (KÖRSCHENS, 1997). Mineraldünger lassen sich nach Art, Menge und Zeitpunkt zielgerichteter einsetzen und sind damit hinsichtlich ihrer Pflanzenverfügbarkeit den in Wirtschaftsdüngern vorliegenden Stickstoff häufig überlegen. Allerdings ist für eine nachhaltige Bewirtschaftung die kombinierte organisch-mineralische Düngung von Vorteil (KÖRSCHENS u. a., 2002).

Ein ökologisch und pflanzenbaulich optimaler Einsatz wird häufig von verschiedenen ökonomischen Faktoren eingeschränkt. Als ein wichtiges Kriterium erweist sich die Lagerkapazität. Sie ist den Standortbedingungen und den Erfordernissen der angebauten Fruchtarten anzupassen. Dazu gehört eine ausreichende Schlagkraft und Applikationstechnik, die die Anforderungen einer verlustarmen und dosiergenauen Ausbringung erfüllt. Von besonderem Gewicht ist auch, dass der Dunganfall die zur Verfügung stehenden Flächen nicht überfordert.

Stickstoff muss für eine optimale Ertragsbildung im ausreichenden Maße bereitstehen. Nach dem Einsatz von Wirtschaftsdüngern führt er häufig zu verstärkter Belastung der Umwelt. Kritisch betrachtet werden besonders Ammoniakemissionen, durch die empfindliche Pflanzengesellschaften gefährdet werden, und Nitratausträge in Gewässern, die sowohl die Trinkwasserqualität als auch aquatische Biotope gefährden können.

Gasförmige Verluste treten bereits im Stall auf. Aber auch bei der Lagerung und vor allem bei der Ausbringung von flüssigen ammoniumreichen Düngern können sie ein beachtliches Ausmaß erreichen. Entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Verluste haben die Witterung, die Aufnahmefähigkeit des Bodens, die Ausbringungstechnik und Einarbeitung sowie die Zusammensetzung des organischen Düngers. Mit welchen Ammoniakemissionen in Abhängigkeit von den herrschenden Temperaturen gerechnet werden muss, machen die in Tabelle 1 zusammengestellten Richtwerte deutlich. Insbesondere bei Ausbringung im Sommer und Frühherbst ist eine unmittelbare Einbringung in den Boden (z. B. Güllegrubber) angezeigt.

Zu beachtlichen Nitratverlusten kommt es, wenn die N-Bereitstellung des Stickstoffs aus den organischen Düngern nicht zeitlich und mengenmäßig mit dem Pflanzenbedarf übereinstimmt. Überhänge entstehen häufig dadurch, dass schlecht kalkulierte Mengen ausgebracht werden bzw. die Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs diskontinuierlich verläuft, was den N_{\min} des Bodens auch in Zeiten ohne Entzug beachtlich ansteigen lässt. Bereits mit dem Auffüllen des Wasservorrates im Herbst gelangt Nitrat-N in die Tiefe. Bei entsprechendem Sickerwasseranfall gelangt er oft auch unterhalb des durch Wurzeln erschließbaren Bodenvolumens.

Bei einem umweltschonenden Einsatz von Wirtschaftsdüngern ist deshalb besonderes Augenmerk auf den Stickstoff zu legen, verschiedentlich aber auch auf den Phosphor. Dabei zeigt sich, dass die aus dem jeweiligen landwirtschaftlichen Betrieb stammenden Dünger hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Nährstoffwirksamkeit sehr unterschiedlich zu bewerten sind (Tabelle 2). Als eine besondere Schwachstelle erweist sich immer wieder die Gülle. Wenn beispielsweise im Verlauf eines Jahres der Gehalt an Trockenmasse deutlichen Schwankungen unterworfen ist (Abbildung 1), lassen sich die damit ausgebrachten N-Mengen nur ungenau berechnen. Das führt sehr schnell zu einem Unter- bzw. Überangebot an Stickstoff.

Tabelle 1: Kumulative Ammoniakverluste nach der Ausbringung von Rindergülle mit Breitverteiler und Schleppschlauch bei unterschiedlichen Temperaturen (Quelle: KTBL)

Stunden	Ammoniak-Verluste in % des applizierten NH_4-N							
	Breitverteiler				Schleppschlauch			
	ohne Einarbeitung							
	5 °C	10 °C	15 °C	25 °C auf Stroh	5 °C	10 °C	15 °C	25 °C auf Stroh
1	3	6	10	20	1	3	4	10
2	5	10	15	43	3	6	8	20
4	10	18	26	65	6	10	15	35
6	14	25	35	78	9	14	20	47
12	22	32	43	85	15	22	30	70
24	26	36	46	90	22	31	39	80
48	30	40	50	90	26	36	46	90

Tabelle 2: N-Gehalte, N-Fractionen und die MDÄ für Stickstoff verschiedener Wirtschaftsdünger

Merkmal	Stallung	+	Jauche	Gülle
N-Gehalt [%]	0,4 bis 1,2		0,15 bis 0,35	0,45 bis 1,60
davon organisch [%]	80		5	40
davon löslich [%]	20		95	60
MDÄ für den Stickstoff	15 bis 45		60 bis 80	20 bis 70

Viele landwirtschaftliche Nutzflächen sind durch beachtliche Heterogenität gekennzeichnet. Das betrifft den Boden selbst (wechselnde Anteile an Ton, Schluff und Sand) sowie weitere für die Ertragsfähigkeit und -sicherheit wichtigen Faktoren wie Tiefgründigkeit, Nährstoffgehalte oder Wasserspeichervermögen. Daraus resultiert ein unterschiedliches Ertragspotential auf den Teilflächen. Besonders augenfällig wird dies natürlich in Jahren mit ungünstigen Witterungssituationen, vor allem Trockenheit.

Um eine bessere Effizienz der Produktion, eine höhere Qualität der Ernteprodukte sowie eine verbesserte Ertragssicherheit zu erreichen, ist eine den jeweiligen Teilflächen angepasste Bewirtschaftung notwendig. Durch einen optimalen Einsatz von Nährstoffen und Pflanzenschutz kommt es gleichzeitig zu einer Entlastung der Umwelt. Ein wichtiger Bestandteil der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung ist in jedem Fall die Stickstoffdüngung. Dabei geht EHLERT (2001) davon aus, dass die für den Landwirt erzielbare Vorteilswirkung (Ertragssteigerung, Produktqualität, usw.) gerade einmal ein Zehntel der Gesamtwirkungen ausmacht. Der überwiegende Teil kommt der Umwelt zugute, wobei die Verringerung des N-Austrages nahezu ein Fünftel ausmacht.

Gegenwärtig kommt eine teilschlagspezifische N-Düngung vor allem beim Getreide im Entwicklungsabschnitt zwischen Schossen und Blüte zum Einsatz. Ausgebracht werden dabei vorwiegend Mineraldünger. Insbesondere bei regelmäßiger Anwendung von Wirtschaftsdüngern, die nicht nur den unmittelbaren N-Bedarf abdecken, sondern langfristig auch zu einem höheren N-Nachlieferungsvermögen beitragen, stellt sich die Frage, ob nicht auch hier eine stärkere Differenzierung angezeigt ist. In erster Linie betrifft das sicher den Einsatz der Gülle, mit seinem hohen Anteil an löslichem N.

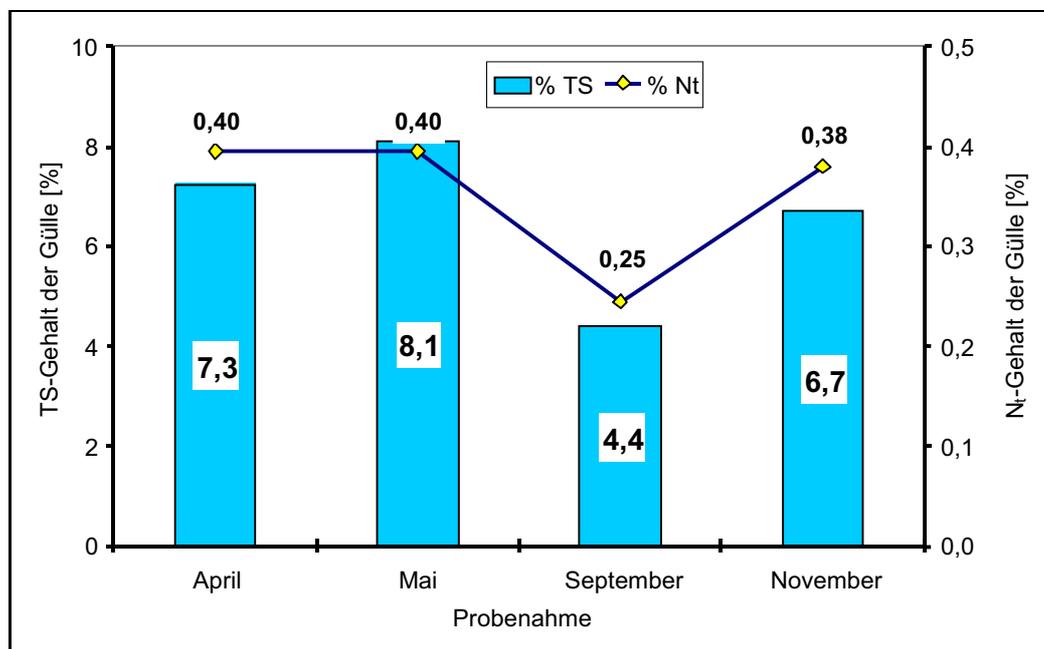


Abbildung 1: TS-Gehalt und N_t-Gehalt von Rindergülle im Verlauf des Jahres (Mittel von zwei Stallanlagen im Jahr 2003)

Zur Verminderung von diffusen Nährstoffausträgen nach dem Einsatz von Wirtschaftsdüngern tragen eine Vielzahl von Maßnahmen bei. Für die Bearbeitung des Projektes wurden einige Schwerpunkte ausgewählt. Dazu gehören:

- eine Analyse des Wirtschaftsdüngereinsatzes in Sachsen an Hand der Erfassungsbelege für das Düngeberatungsprogramm BEFU
- Einsatzmöglichkeiten von Gülle zu Winterraps und Winterweizen
- Einfluss der Ausbringungszeit auf N-Ausnutzung und Ertrag
- Erprobung eines teilschlagspezifischen Gülleeinsatzes im LVG Köllitsch.

2 Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Sachsen

Unter dem Gesichtspunkt einer effektiven Nährstoffwirkung aus Wirtschaftsdüngern soll im Folgenden eine kritische Auswertung der in Sachsen üblichen Praxis vorgenommen werden. Das Datenmaterial entstammt den Erfassungsbelegen zum Düngeberatungsprogramm BEFU. In den letzten Jahren wurden auf diese Weise etwa 42 % der LF im Freistaat Sachsen (ERNST u. a., 2002) erfasst. Damit steht ein umfangreicher, repräsentativer Datenpool zur Verfügung, der anderen Ortes in dieser aussagefähigen Form nicht vorliegt.

2.1 Der Viehbesatz

Ende der 80er Jahre befanden sich auf dem Gebiet Sachsens noch 1,2 GV/ha. Ein Jahrzehnt später sind es etwa 0,64 GV/ha (STATISTISCHES LANDESAMT, 2001). Den größten Anteil daran haben die Rinder- und Schweinebestände, an denen sich auch die Entwicklung im letzten Jahrzehnt anschaulich demonstrieren lässt (Abbildung 2). Nach einem drastischen Rückgang zum Anfang der 90er Jahre blieb der Bestand in seiner Gesamtheit seit 1993 auf einem stabilen Niveau. Der Anfall von Wirtschaftsdüngern sollte in dieser Zeit gleichfalls unverändert geblieben sein. Schätzungsweise fallen jährlich rund 6 Mio. m³ Gülle und 1,5 Mio. t Stalldung an (WANKA, 2000).

Bei einem Viehbesatz von etwa 0,60 GV/ha scheint ein effektiver und umweltgerechter Einsatz von Wirtschaftsdüngern im Freistaat von geringerer Brisanz zu sein, als es in anderen Gebieten Deutschlands der Fall ist. Bei näherer Betrachtung wird aber deutlich, dass sich die Situation regional wesentlich differenzierter darstellt. Zudem finden sich häufig höhere Tierkonzentrationen auf leichten und flachgründigen Standorten, auf denen beispielsweise ein deutlich größeres Risiko von Nitratausträgen besteht. Unterschiede bestehen aber auch innerhalb der Betriebe, wo oft die Schläge in unmittelbarer Nähe der Stallungen mit organischen Düngern bedacht werden.

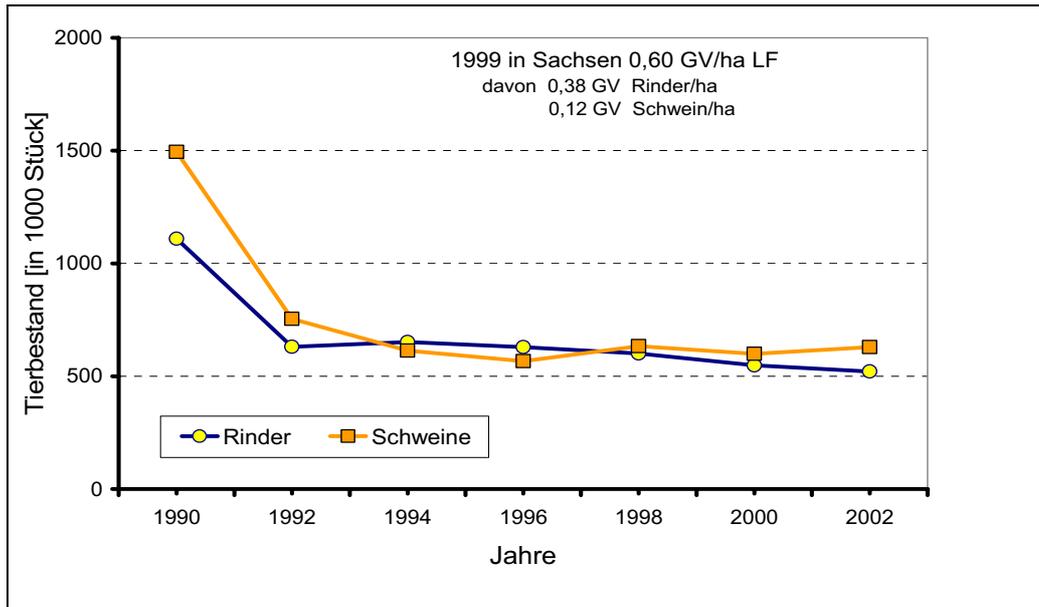


Abbildung 2: Entwicklung der Rinder- und Schweinebestände in Sachsen (Quelle: Statistisches Landesamt)

2.2 Ausbringungszeit und bevorzugte Fruchtarten

Über die Ertragswirksamkeit der Nährstoffe aus den Wirtschaftsdüngern entscheiden sowohl die Ausbringungszeit als auch die mit diesen Düngern bedachte Fruchtart. Gülle und Jauche, mit ihrem hohen Anteil an sofort aufnehmbaren Ammoniumstickstoff, erzielen die beste Wirkung, wenn unmittelbar nach der Ausbringung bereits ausreichender Pflanzenbedarf vorliegt. Für die Pflanzen wird der organisch gebundene Stickstoff des Stallung und der Gülle erst nach der Mineralisation durch die Mikroorganismen des Bodens verfügbar. Unter günstigen äußeren Bedingungen kann die N-Freisetzung sehr zügig erfolgen. Im Spätherbst und Winter sorgen niedrige Bodentemperaturen für geringe mikrobielle Aktivität. Auch im ersten Vegetationsabschnitt im Frühjahr bleibt die N-Freisetzung aus diesem Grund häufig eingeschränkt, während sie im weiteren Jahresverlauf vor allem von der Bodenfeuchte in der Ackerkrume beeinflusst wird. Lange Vegetationszeit und kurze Zwischenbrachen garantieren eine kontinuierliche Aufnahme und verhindern die Anreicherung von durch Auswaschung gefährdetem Nitrat.

Unter diesem Gesichtspunkt muss die gegenwärtige Anwendungsstrategie von Wirtschaftsdüngern kritisch hinterfragt werden. Insbesondere der hohe Anteil an Herbstgülle (Abbildung 3) dürfte mit niedriger Nährstoffeffizienz verbunden sein. Zwar ist die Befahrbarkeit der Schläge zu dieser Zeit weitgehend ohne schädliche Bodenverdichtung möglich, dafür treten im Spätsommer beachtliche Ammoniakemissionen auf. Zu diesem Zeitpunkt lässt sich darüber hinaus schwer abschätzen, ob wirklich zusätzlicher N für die Vorwinterentwicklung benötigt wird, zumal auf Flächen mit regelmä-

ßiger organischer Düngung das Mineralisationspotential bereits hoch ist und die organischen Dünger oft zu einem Stickstoffüberangebot führen.

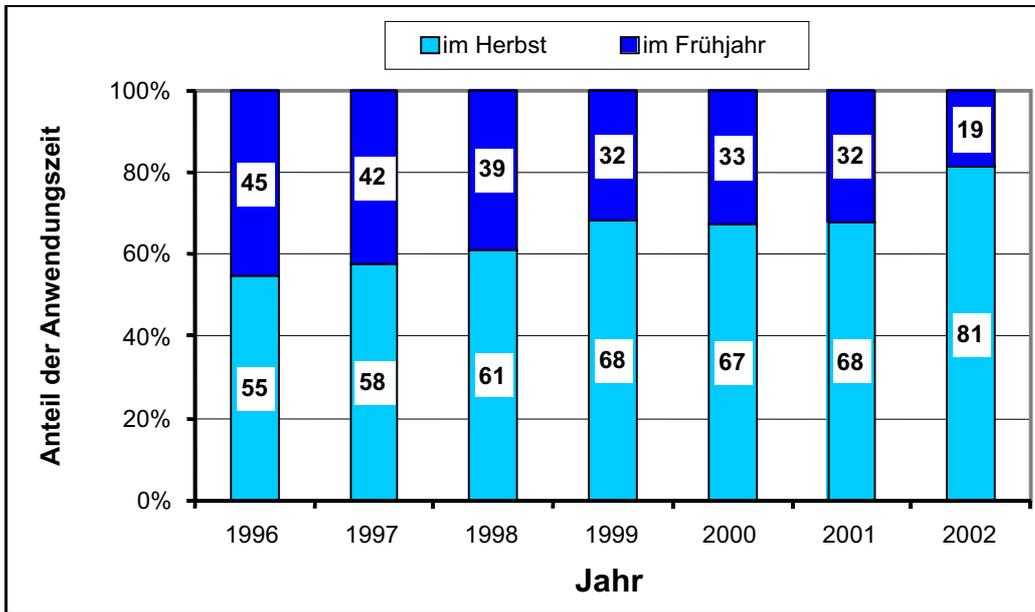


Abbildung 3: Anteil der Gülleausbringung auf Ackerland im Herbst und Frühjahr (Sekundärauswertung BEFU)

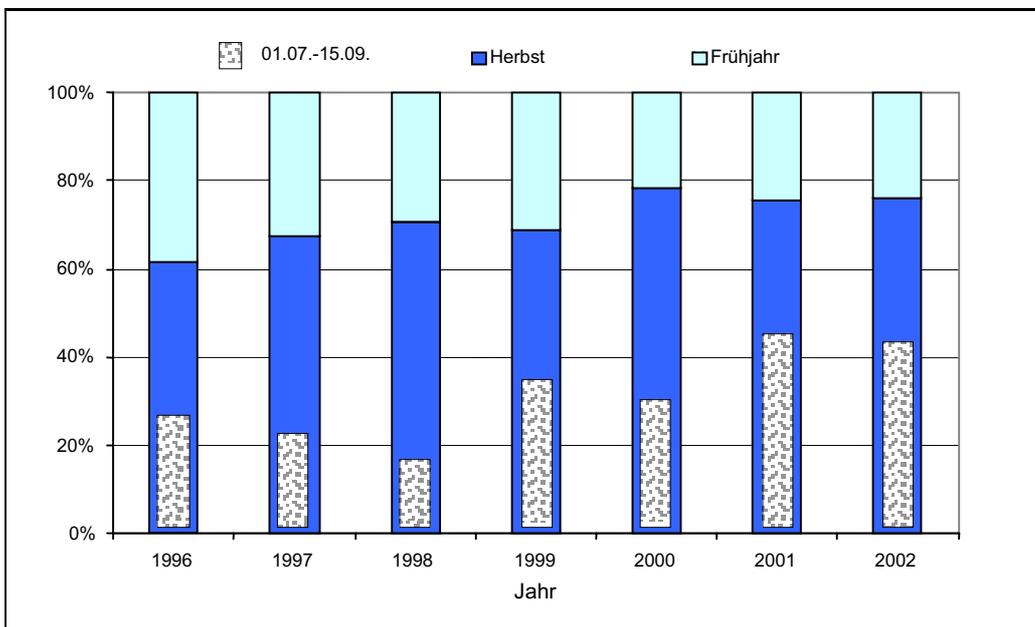


Abbildung 4: Anteil der Stallungsausbringung auf Ackerland im Herbst und Frühjahr (Sekundärauswertung BEFU)

Bei niedrigen N_{\min} -Restwerten besteht insbesondere zu Zwischenfrüchten, Winterraps und im September ausgesätem Wintergetreide ein angemessener Nährstoffbedarf. Für die Ernährung von im Oktober ausgesätem Winterweizen reicht jedoch der im Boden vorhandene Stickstoff zumeist aus.

Kritisch muss auch die Gülleanwendung im Spätsommer/Herbst nach Strohdüngung beleuchtet werden. Das betrifft vor allem die beachtlichen Ammoniakverluste bei der Ausbringung, wenn die Gülle nicht direkt auf bzw. in den Boden gelangt (vgl. Tabelle 2). Dort wo regelmäßig organisch gedüngt wird bzw. späte N-Gaben zum Getreide verabreicht werden, verengt sich das C:N-Verhältnis im Stroh regelmäßig, so dass im Herbst zumeist kein zusätzlicher N-Ausgleich erforderlich ist (SCHLIEPHAKE, 2003).

Einen deutlichen Rückgang hat in den letzten Jahren der Einsatz von Wirtschaftsdüngern zu Mais erfahren (Abbildung 5 und 6). Da oft bei kombinierter mineralisch-organischer Düngung gerade nach dieser Fruchtart erhöhte Gehalte an Rest- N_{\min} vorkommen (KURZER, 2002), könnte diese Tatsache erst einmal positiv bewertet werden. Die eigentliche Ursache für die schlechte N-Ausnutzung dürfte allerdings in einer unzureichenden Anrechnung der mit den organischen Düngern zugeführten N-Menge liegen. Gerade der Mais lässt im Frühjahr zeitlich einen großen Spielraum für den Einsatz flüssiger organischer Dünger. Eine auf den Bedarf der Pflanzen angepasste N-Menge wird gut verwertet. Beim Einsatz von Gülle kann zudem eine bessere Verfügbarkeit und höhere Ausnutzung durch eine plazierte Einbringung in unmittelbarer Nähe zur Pflanzenreihe erzielt werden.

Sollen Wirtschaftsdünger bereits im Herbst ausgebracht werden, so ist der Anbau einer Zwischenfrucht unverzichtbar. Die Wiederfreisetzung der in ihnen eingebundenen Nährstoffe kann besonders bei reichlicher Stickstoffversorgung bereits in den Wintermonaten ein beachtliches Maß erreichen. Zu beobachten ist dies sowohl beizeitigem Umbruch im Herbst als auch bei hohen Gehalten an wasserlöslichen N-Verbindungen (vor allem Nitrat), die aus den abgestorbenen Pflanzenteilen durch die Winterniederschläge in den Boden eingetragen werden. Besonders betroffen sind davon die abfrierenden Zwischenfruchtarten (SCHLIEPHAKE und ALBERT, 2003).

Die Ausbringung von Stalldung (Abbildung 4) erfolgte in den letzten Jahren auf etwa 80 % der Flächen in der Zeit von Juli bis zum Winter. Stetig zugenommen hat auch hier der im Juli bis Mitte September in den Boden gebrachte Flächenanteil. Das lässt in feuchten und warmen Jahren beachtliche N-Freisetzungen bis zum Winter aus dem organisch gebundenen Stickstoff zu und sollte nur dann erfolgen, wenn eine Zwischenfrucht bzw. die Winterung noch im Herbst einen entsprechenden N-Bedarf aufweist. Bleibt der Boden bis zum Frühjahr brach, ist der Stalldung möglichst nicht vor Mitte bzw. Ende November auszubringen.

Eine Frühjahrsanwendung findet vor allem auf den leichten Standorten zu Mais statt. Der Einsatz von Stalldung zu Raps und Getreide stieg wie bei der Gülle deutlich an. Von den Hackfrucht- und

Maisflächen werden derzeit gerade noch 50 % mit Stallung versorgt. Da die Druschfrüchte spätestens im Juli abreifen, bleibt die bei sommerlichen Temperaturen und ausreichender Bodenfeuchte verstärkte Stickstofffreisetzung ungenutzt und lässt den N_{\min} -Gehalt im Herbst deutlich ansteigen. In Grenzen hält sich dieser Effekt nur durch verminderte Stallungsgaben.

In den letzten Jahren hat sich die im Mittel einer Gabe ausgebrachte Gülle- und Stallungsmenge vermindert (Abbildung 7 und 8). Als Folge reduzierte sich der damit ausgebrachte Stickstoff. Die Berechnung der Nährstoffe erfolgt häufig nur über geschätzte TS-Gehalte und Tabellenwerte. Diese weichen allerdings oft von der Wirklichkeit ab. Zudem unterliegen sie im Verlauf eines Jahres mitunter beachtlichen Schwankungen. Eine regelmäßige Bestimmung des TS- und Stickstoffgehaltes führt zu einer genaueren Nährstoffbemessung.

2.2.1 Winterraps

Neben den Zwischenfrüchten realisiert der Raps die größten N-Aufnahmen im Herbst. Bei niedrigen N_{\min} -gehalten ist der Einsatz von Wirtschaftsdüngern voll gerechtfertigt. Während es zur Stallungsausbringung vor der Saatbettbereitung keine empfehlenswerte Alternative gibt, sollte Gülle erst dann zum Einsatz kommen, wenn der aufgelaufene Bestand einen entsprechenden Stickstoffbedarf anzeigt. Während die mit dem Stallung zugeführten N-Mengen in den letzten Jahren stetig abgenommen haben (im Mittel < 100 kg N/ha), werden mit der Gülle etwa 80 kg N/ha ausgebracht (Abbildung 9; ohne Abzug anrechenbarer Ausbringungsverluste).

Unter günstigen Vegetationsbedingungen wird der zusätzlich in den Boden gebrachte Stickstoff bis zum Winter aufgenommen. Bei reichlichem N-Angebot sind das oft mehr als 100 kg N/ha (ALBERT und SCHLIEPHAKE, 2003). Für ein hohes Ertragsniveau sind allerdings derart hohe N-Aufnahmen nicht notwendig. Häufig sind besonders diese Bestände von Auswinterung und Krankheiten betroffen.

Die relativ hohen N-Aufnahmen erklären hier zumeist die oft unbedeutende Differenzierung der N_{\min} -Gehalte im Frühjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Herbst (Abbildung 10). Zu beachten ist dann jedoch, dass diese Rapspflanzen über größere N-Reserven (höherer N-Gehalt) verfügen. Bei der Bemessung der N-Düngung zum Vegetationsbeginn sollte dies wesentlich stärker berücksichtigt werden. Selbst bei niedrigen N_{\min} -Werten kann hier ohne spätere Ertragseinbußen die erste N-Gabe zeitlich verzögert erfolgen.

Die bessere Nährstoffeffizienz des Güllestickstoffs bei Anwendung im Frühjahr findet in der breiten Praxis keinen Widerhall. Lediglich ein Prozent der Gülle kommt dann im Rapsbestand zum Einsatz.

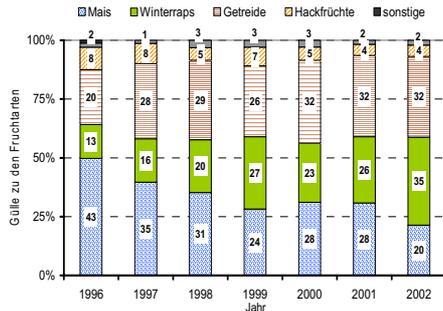


Abbildung 5: Einsatz der Gülle zu den Fruchtarten in Sachsen (Sekundärauswertung BEFU)

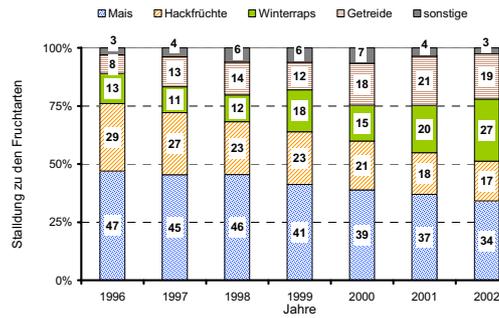


Abbildung 6: Einsatz von Stalldung zu den Fruchtarten in Sachsen (Sekundärauswertung BEFU)

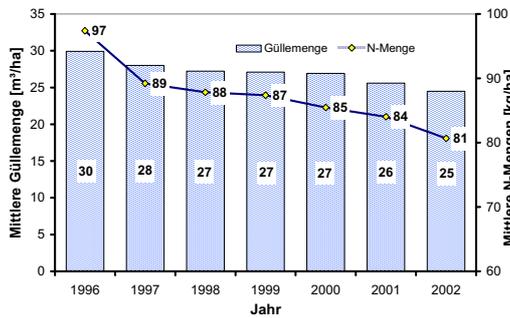


Abbildung 7: Mittlere Güllemenge und der damit ausgebrachte Stickstoff (Sekundärauswertung BEFU)

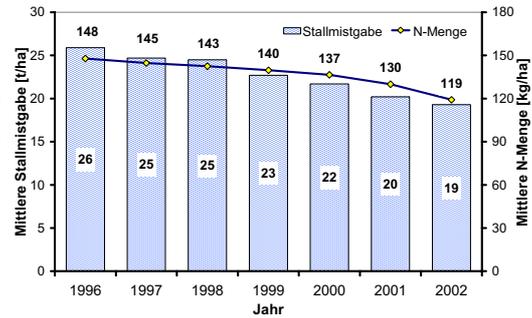


Abbildung 8: Mittlere Stallmistgabe und der damit ausgebrachte Stickstoff (Sekundärauswertung BEFU)

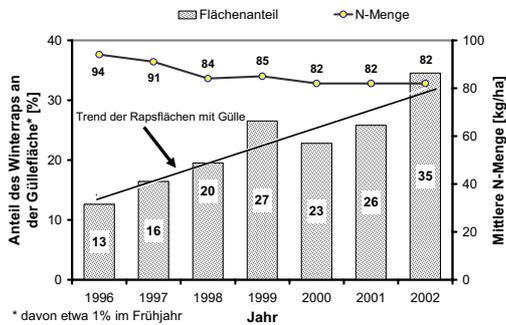


Abbildung 9: Anteil der mit Gülle gedüngten Rapsflächen und der ausgebrachte Stickstoff (ohne anrechenbare Ausbringungsverluste; Sekundärauswertung BEFU)

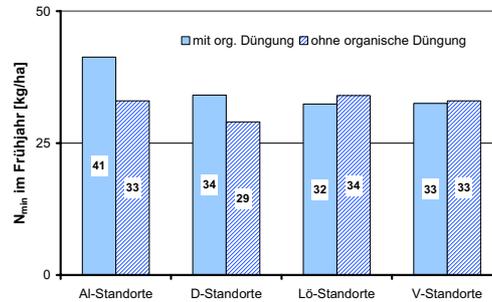


Abbildung 10: N_{min} im Frühjahr unter Wintertrapsbeständen in Abhängigkeit von der Zufuhr von organischen Düngern (Mittel der Jahre 1998 bis 2002, Sekundärauswertung BEFU)

Erfolgt die Ausbringung in den Sommermonaten, sollte zur Vermeidung von Ammoniakemissionen die Gülle direkt in den Boden eingebracht werden (Güllegrubber, Gölledrill). Ist dies nicht möglich, so kann durch Einsatz von Schleppschrägen bzw. Schleppschuhen bei kühlem Wetter im September und bereits aufgelaufenem Bestand ein wesentlich größerer Teil des löslichen Ammoniums in den Boden gelangen.

2.2.2 Getreide

Der Einsatz von Wirtschaftdüngern zu Getreide hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen (Abbildung 5 und 6). Gülle wird zu Wintergetreide (Abbildung 11) auf > 90 % und zu Sommergetreide (Abbildung 12) gegenwärtig auf über 50 % der Flächen bereits im Herbst ausgebracht. Während Gerste-, Triticale- und Roggenbestände bei niedrigen N_{min} -Werten durchaus von diesem Stickstoff profitieren, kann im Oktober ausgesäeter Weizen keinen Nutzen vor dem kommenden Frühjahr daraus ziehen.

Wie beim Raps hält sich die N_{min} -Zunahme im Frühjahr in Abhängigkeit vom zugeführten Stickstoff aus den organischen Düngern in Grenzen (ALBERT u. a., 2003). Am Beispiel des Sommergetreides lässt sich dies anschaulich demonstrieren (Abbildung 13). Lediglich in einem von fünf Jahren lagen die N_{min} -Werte im Frühjahr nach Herbstgülle höher.

Da die N_{min} -Untersuchungen lediglich die Tiefe bis 60 cm betreffen, darf dies nicht bereits als Verlust gewertet werden. Auf den tiefgründigen Böden sind die Wintergetreidearten durchaus in der Lage, das unterhalb von 140 cm Tiefe befindliche Nitrat zu erschließen (SAUER u. a., 2002). Eine wichtige Voraussetzung für eine möglichst vollständige Aufnahme ist allerdings, dass das N-Angebot im Oberboden sehr begrenzt bleibt.

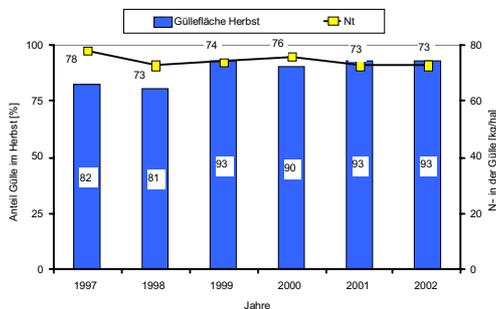


Abbildung 11: Anteil der Wintergetreidefläche mit Gülleeinsatz im Herbst sowie die damit ausgebrachten N-Mengen (Sekundärauswertung BEFU)

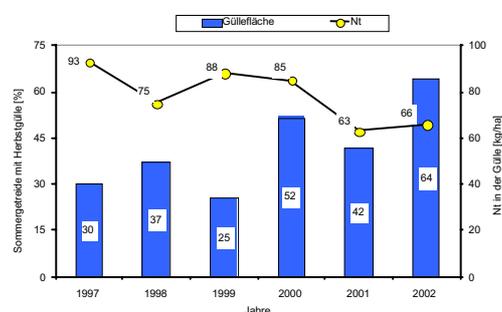


Abbildung 12: Anteil der Sommergetreideflächen die bereits im Herbst eine Güllegabe erhielten sowie die damit ausgebrachten N-Mengen (Sekundärauswertung BEFU)

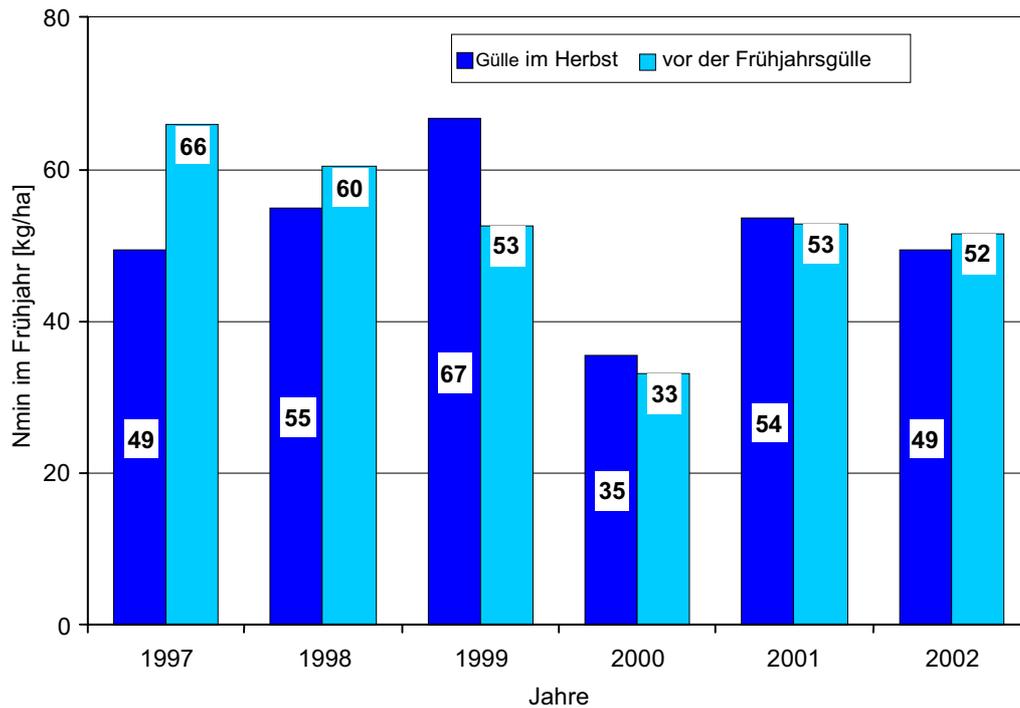


Abbildung 13: N_{\min} im Frühjahr auf Sommergetreideflächen mit und ohne Herbstgülle (Sekundärauswertung BEFU)

2.2.3 Mais und Zuckerrüben

Mais und Hackfrüchte gehörten in der Vergangenheit zu den bevorzugt mit Wirtschaftsdüngern versorgten Fruchtarten. Durch die bis in den Herbst andauernde Vegetationszeit sind sie in der Lage, den aus den organischen N-Verbindungen des Stalldung freigesetzten Stickstoff besonders lange zu nutzen. Allerdings zeigt sich selbst beim Mais, wo zwischen Winter und der Aussaat der größte zeitliche Abstand vorhanden ist, ebenfalls ein deutlicher Rückgang bei der Frühjahrsanwendung. Derzeit sind es gerade noch 50 % (Abbildung 14).

Die Anwendung von organischen Düngern im Herbst zu Mais und Zuckerrüben bringt besonders auf den V-Standorten nur einen minimalen Zuwachs an N_{\min} . Auf den besseren und tiefgründigeren Böden sind die N_{\min} -Gehalte in der Schicht von 0 bis 60 cm zwar auch nur leicht erhöht, ein beachtlicher Teil des bereits im Herbst aus den Wirtschaftsdüngern freigesetzten pflanzenverfügbaren Stickstoffs dürfte sich darunter angereichert haben. Seine Verfügbarkeit hängt sowohl von der Erschließung dieser Bodentiefen durch das Wurzelsystem als auch von der weiteren N-Düngung ab. Durch hohe Stickstoffgaben verschlechtert sich die Ausnutzung des Nitrats aus tieferen Bodenschichten beachtlich.

Während im Mittel der Jahre 1998 bis 2002 auf den Lö-Standorten nach Herbstgülle die höchsten N_{\min} -Gehalte im Frühjahr vorlagen, finden sich diese ansonsten nach dem Einsatz von Stalldung (Abbildung 16). Da in einzelnen Jahren der Flächenanteil der Alluvialböden gering war, darf der hier dargestellte hohe N_{\min} nicht überbewertet werden.

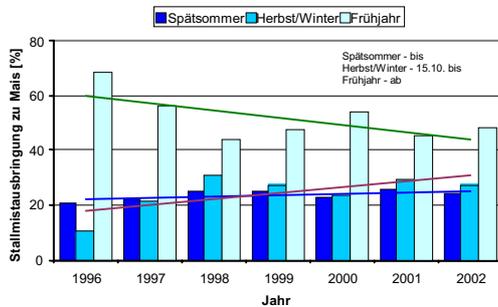


Abbildung 14: Zeitlich differenzierte Ausbringung von Stalldung zu Mais in den Jahren 1996 bis 2002 (Sekundärauswertung BEFU)

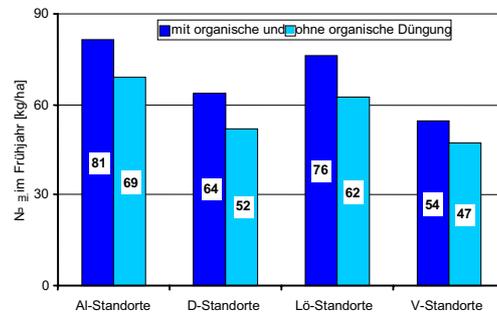


Abbildung 15: N_{\min} im Frühjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Herbst bei Mais und Zuckerrüben (Mittel der Jahre 1998 bis 2002; Sekundärauswertung BEFU)

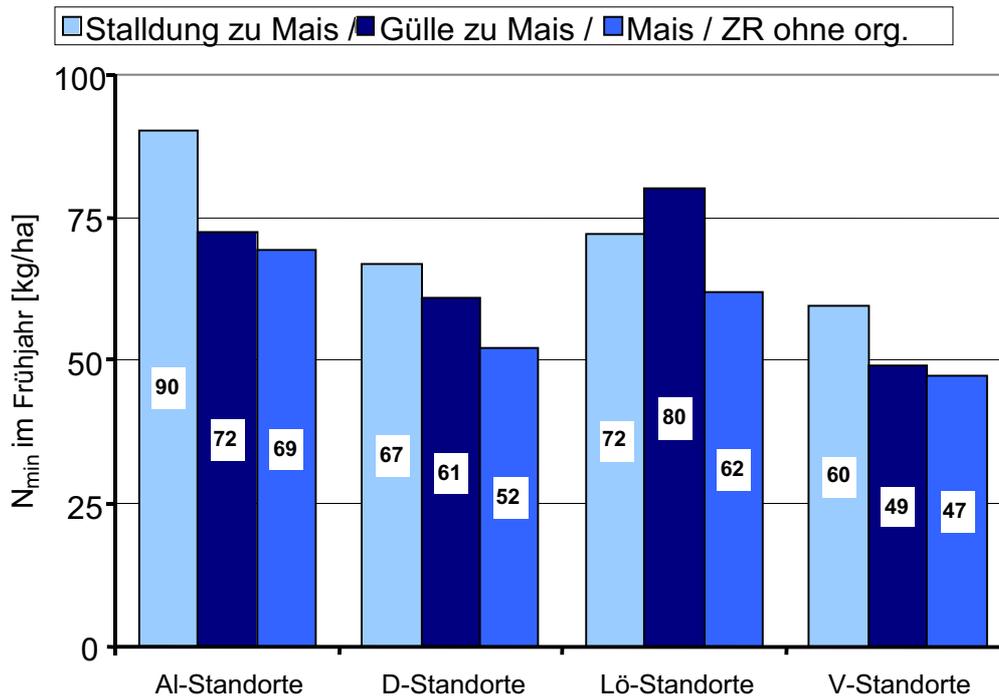


Abbildung 16: Wirkung von Stalldung und Gülle im Herbst auf den N_{\min} im Frühjahr auf Mais und Zuckerrübenflächen (Mittel der Jahre 1998 bis 2002; Sekundärauswertung BEFU)

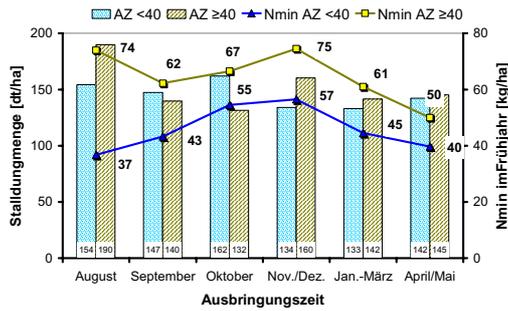


Abbildung 17: N_{\min} im Frühjahr unter Mais in Abhängigkeit von der Ackerzahl und der Ausbringungszeit des Stallungs, Mittel der Jahre 1999 - 2002; (Sekundärauswertung BEFU)

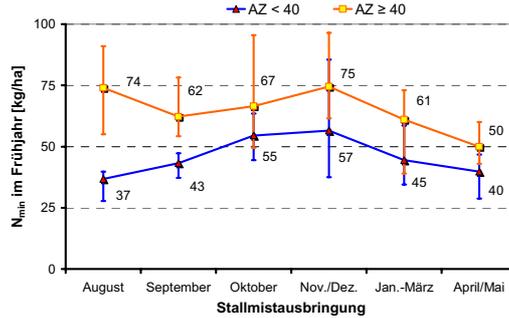


Abbildung 18: N_{\min} im Frühjahr (Mittel 1999 - 2002) auf Maisschlägen in Abhängigkeit von der Ackerzahl und der Ausbringungszeit des Stallungs einschließlich Minima und Maxima der Mittelwerte (Sekundärauswertung BEFU)

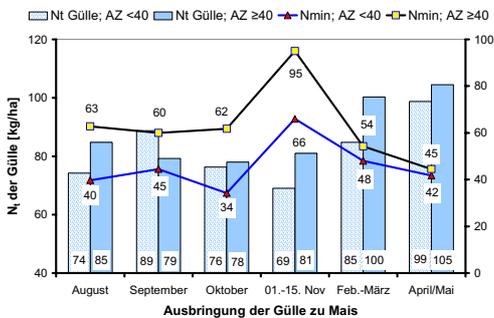


Abbildung 19: N_{\min} im Frühjahr unter Mais in Abhängigkeit von der Ackerzahl und der Ausbringungszeit der Gülle (Mittel der Jahre 1999 - 2002; Sekundärauswertung BEFU)

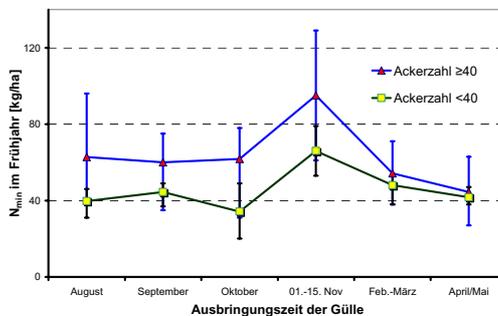


Abbildung 20: N_{\min} im Frühjahr (Mittel 1999 - 2002) auf Maisschlägen in Abhängigkeit von der Ackerzahl und der Ausbringungszeit der Gülle einschließlich Minima und Maxima der Mittelwerte (Sekundärauswertung BEFU)

Die Unterschiede in der ausgebrachten Stallungsmenge sind in Abhängigkeit von der Ackerzahl (Abbildung 17) unwesentlich. Erfolgt die Ausbringung bereits im August und September kann bis zum Winter bereits eine beachtliche N-Mineralisation erfolgen. Im Vergleich zu den Schlägen, die ihre Düngung erst im Frühjahr erhalten, führt das auf den leichten Böden zu keiner Erhöhung der N_{\min} -Werte. Die geringe Streuung der Jahresmittel (Abbildung 18) weist darauf hin, dass auf diesen Böden die beachtlichen Unterschiede in der vorwinterlichen N-Freisetzung und der N_{\min} -Anreicherung über Winter nivelliert werden. Letztendlich wird der überwiegende Teil des gebildeten Nitrats regelmäßig aus der Bodentiefe von 0 bis 60 cm ausgetragen. Lediglich der zum Ende der Vegetation in den Boden eingebrachte Stallung führte zu höheren N_{\min} -Werten. Dabei dürfte es sich vorwiegend um den, wenn auch geringen Anteil, löslichen Ammonium-N handeln, dessen Umwandlung in Nitrat bei den niedrigen Bodentemperaturen wesentlich langsamer als noch im Herbst abläuft.

Die Auswirkungen einer zeitlich differenzierten Gülleapplikation auf den N_{\min} -Gehalt im Frühjahr (Abbildung 19 und 20) unterscheiden sich nicht wesentlich von denen des Stallungs. Die große Spannweite der Werte nach Gülleausbringung vor der Sperrfrist im November weist allerdings darauf hin, dass zumindest in einzelnen Jahren ein beachtlicher Anteil des Ammoniumstickstoffs der Gülle beizeitigem Winter nur langsam bzw. unvollständig nitrifiziert wurde. Dadurch verminderte sich der Austrag deutlich.

2.3 Fazit

Mit dem Einsatz von Wirtschaftsdüngern sind vielfältige positive Wirkungen im Hinblick auf Bodenfruchtbarkeit und Ertragsbildung verbunden. Zeitlich und mengenmäßig falscher Einsatz führt allerdings zu verstärkten Umweltbelastungen. Stickstoffverluste treten nach der Anwendung von organischen Düngern in Form von Ammoniak bei der Ausbringung und durch Auswaschung von nicht durch Pflanzen aufgenommenem Nitrat (vorwiegend im Winter) auf.

Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern hat sich immer mehr in die zweite Jahreshälfte verschoben. Derzeit werden etwa 80 % der Wirtschaftsdünger bereits im Herbst ausgebracht. Da zu dieser Zeit die Bodenwasservorräte noch nicht aufgefüllt sind, werden schädliche Bodenverdichtungen weitgehend vermieden. Eine effiziente Nährstoffwirkung lässt sich dadurch allerdings nicht erzielen.

Da bei Herbestanwendung von flüssigen Wirtschaftsdüngern ein ausreichender Pflanzenbedarf vorliegen muss, stieg der Gülleinsatz zu Winterraps und Wintergetreide an. Gleichzeitig nahm der Flächenanteil mit Hackfrüchten und besonders mit Mais ab.

Auf Böden mit regelmäßiger organischer Düngung ist die N-Mineralisation insgesamt höher und der Vorwinterbedarf kann häufig daraus abgedeckt werden. Unter diesem Gesichtspunkt führt zusätzlicher N aus den Wirtschaftsdüngern zu begrenztem Spross-TM-Zuwachs. Erhöht wird lediglich die Nährstoffreserve (Nitrat und lösliche NH_2 -N-Verbindungen). Bei Zwischenfrüchten, Winterraps und zeitig ausgesäten Wintergetreide gelingt das zumeist gut. Insbesondere letztere sind überfordert, wenn bereits die Vorfrüchte höhere N_{\min} -Reste (> 50 kg/ha) hinterlassen.

Die größten Stallunggaben werden im Spätsommer ausgebracht. Unter günstigen Mineralisationsbedingungen werden daraus bereits im Herbst beachtliche N-Mengen freigesetzt. Im Mittel der Jahre finden sich die höchsten N_{\min} -Werte im Frühjahr nach Ausbringung des Stallungs im November/Dezember. Zeitig mineralisierter Stickstoff, der nicht von Pflanzen genutzt wird, gelangt bereits mit der beginnenden Durchfeuchtung im Herbst in tiefere Bodenschichten. Auf leichten und flachgründigen Böden geht er so zumeist verloren. Zwar wird er auf den tiefgründigen Böden mit der N_{\min} -Untersuchung nicht mehr erfasst, kann aber nach der Ausbildung eines tief greifenden Wurzelsystems im Verlauf der Vegetation genutzt werden.

Nur in Verbindung mit dem Anbau von Zwischenfrüchten bzw. nach Strohdüngung darf vor Sommerungen Gülle im Spätsommer/Herbst angewandt werden. Dies ist eine Möglichkeit der Gülleanwendung auf Standorten mit Strukturproblemen, wo ein Befahren im Frühjahr zu gravierenden Bodenverdichtungen führt. Eine Applikation zum Vegetationsbeginn setzt entsprechende Technik (Breitreifen) bzw. gefrorenen Boden voraus. Die geringsten Probleme in dieser Hinsicht dürften beim Mais auftreten, wo die großen Reihenabstände eine Anwendung in den Bestand bis in den Juni hinein zulässt. Durch eine in Pflanzennähe platzierte Ausbringung kann zudem die Ausnutzung dieses Stickstoffs verbessert werden. Wird er zudem beim Gesamtbedarf ausreichend berücksichtigt, sollten überhöhte Rest-N_{min}-Werte die Ausnahme bleiben.

Die unmittelbare Applikation von Gülle auf Stroh ist immer mit hohen Ammoniakemissionen verbunden. Vermeiden lässt sich dies nur durch eine zuvor durchgeführte intensive Stoppelbearbeitung bzw. durch Injektion der Gülle in den Boden.

3 Erprobung einer teilschlagspezifischen Gülleausbringung im LVG Köllitsch

Für eine Steigerung der Nährstoffeffizienz und Schonung der Umwelt sind auch bei der Ausbringung von organischen Düngern neue Wege zu erproben. Insbesondere bei der Anwendung der flüssigen Wirtschaftsdünger, mit ihrem hohen Anteil an sofort pflanzenverfügbarem Stickstoff, ist wie bei den mineralischen N-Düngern ein unmittelbarer und ausreichender Pflanzenbedarf Voraussetzung. Dabei zeigt sich immer wieder, dass ihr Einsatz im Spätsommer und Herbst vielfach nicht von hoher Nährstoffeffizienz geprägt wird, da zum einen der Bedarf der Pflanzenbestände vor Winter sehr begrenzt bleibt und zum anderen gerade auf Flächen mit regelmäßiger organischer Düngung die N-Nachlieferung besonders hoch ist. Bei hohem Anteil an sofort pflanzenverfügbarem N spricht deshalb vieles für einen verstärkten Einsatz im Frühjahr. Besonders trifft das natürlich für die Standorte zu, auf denen das Nitrat über Winter aus der effektiven Durchwurzelungstiefe ausgetragen wird.

Wird zudem ein beachtlicher Teil der N-Zufuhr über organische Dünger abgedeckt, kann sich auf heterogenen Schlägen eine am Ertragsniveau der Teilflächen orientierte Ausbringung sowohl bei den realisierbaren Erträgen als auch hinsichtlich niedriger Reststickstoffmengen positiv auswirken. Erfahrungen hierzu liegen allerdings bisher nicht vor. Die im Folgenden vorzustellenden einjährigen Untersuchungen sollen entsprechende Ansatzpunkte und Möglichkeiten aufzeigen.

3.1 Material und Methoden

Die Erprobung einer teilschlagspezifischen Gülleausbringung erfolgte im Frühjahr 2004 auf je einem Winterraps- und einem Wintergerstenschlag. Die wichtigsten pflanzenbaulichen und agrotechnischen Daten sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Anbaudaten zu den Schlägen mit teilschlagspezifischer Gülleapplikation

Maßnahme	Schlag	
	Lämmergrund 2	Am Park
Fruchtart/Sorte	Wintergerste/Franziska	Winterraps/Smart
Saatbettbereitung	Pflug/Kreiselegge	Scheibenegge
Aussaattermin/Saatstärke	20.09.2003/325 Körner/m ²	20.08.03/60 Körner/m ²
1. N-Gabe	17.03.2004 und 18.03.2004	17.03.2004
2. N-Gabe	15.04.2004	15.04.2004
Standfestigkeit	16.04.2004/0,6 l Moddus	15.04.04/0,5 l/ha Folicur + 0,5 l/ha Moddus
Erntetermin	25.07.2004	29.07.2004

Der Boden ist alluvialen Ursprungs. Der überwiegende Flächenanteil ist als Lehm anzusprechen. Es finden sich aber auf beiden Schlägen deutliche Übergänge zum lehmigen Sand, der zum Teil nur 60 cm mächtig über reinem Sand ansteht.

Hinsichtlich der Makronährstoffe sind beide Schläge in gutem bis sehr gutem Versorgungszustand. Dass dabei die Leitfähigkeit keinen Einfluss ausübt, soll am Beispiel des P(CAL) und K(CAL) demonstriert werden (Tabelle 4 und 5). Während die Mittelwerte relativ einheitlich sind, finden sich innerhalb der einzelnen Klassen jedoch beachtliche Streuungen. Hinzuweisen ist auch auf den hohen Anteil an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Unterboden.

Die in Tabelle 6 und 7 zusammengestellten Ergebnisse der Körnungsanalyse geben einen deutlichen Hinweis auf den engen Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und den Korngrößenfraktionen. Während in der Krume die Unterschiede noch relativ gering ausfallen, nimmt die Differenzierung im Unterboden stark zu. Auf dem Schlag „Lämmergrund 2“ findet sich bei niedriger Leitfähigkeit in der Bodenschicht unterhalb von 60 cm bereits ein Sandanteil von über 90 %.

Tabelle 4: Pflanzenverfügbare CAL-P und CAL-K-Gehalte in 0 bis 90 cm Tiefe in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit auf dem Schlag „Lämmergrund 2“

Bodentiefe	CAL-P (mg in 100 g Boden)		CAL-K (mg in 100 g Boden)	
	Leitfähigkeit		Leitfähigkeit	
	hoch	niedrig	hoch	niedrig
0 - 30 cm	7,11	7,09	18,67	19,91
30 - 60 cm	1,94	2,06	6,27	6,62
60 - 90 cm	0,92	1,01	4,40	5,14

Tabelle 5: Pflanzenverfügbare CAL-P und CAL-K-Gehalt in 0 bis 90 cm Tiefe in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit auf dem Schlag „Am Park“

Bodentiefe (cm)	CAL-P (mg in 100 g Boden)		CAL-K (mg in 100 g Boden)	
	Leitfähigkeit		Leitfähigkeit	
	hoch	niedrig	hoch	niedrig
0 - 30 cm	12,6	11,3	17,7	18,3
30 - 60 cm	5,8	5,1	6,3	5,3
60 - 90 cm	2,2	2,4	2,6	2,5

Tabelle 6: Körnung, Humus und N_t-Gehalt des Bodens in Abhängigkeit von den Leitfähigkeitsklassen auf dem Schlag „Lämmergrund 2“

Bodentiefe	Leitfähigkeitsklasse	Sand %	Schluff %	Ton %	Humus %	N _t %
0 - 30 cm	> 40	22,6	46,5	30,9	2,1	0,12
	25 - 30	22,7	46,8	30,5	2,1	0,13
	< 10	54,8	28,4	16,8	2,0	0,12
30 - 60 cm	> 40	19,7	45,8	34,5	1,4	0,12
	25 - 30	20,0	42,5	27,5	1,5	0,13
	< 10	76,6	13,4	10,0	0,9	0,08
60 - 100 cm	> 40	12,5	50,6	36,9	0,8	0,07
	25 - 30	30,8	34,5	34,9	0,7	0,07
	< 10	91,6	6,1	2,3	0,4	0,05

Tabelle 7: Körnung, Humus und N_t-Gehalt des Bodens in Abhängigkeit von den Leitfähigkeitsklassen auf dem Schlag „Am Park“

Bodentiefe	Leitfähigkeitsklasse	Sand %	Schluff %	Ton %	Humus %	N _t %
0 - 30 cm	> 60	23,9	54,1	22,0	2,0	0,11
	45 - 50	31,7	44,1	24,2	1,6	0,09
	< 30	36,8	43,6	19,6	2,0	0,10
30 - 60 cm	> 60	12,5	64,7	22,8	1,2	0,07
	45 - 50	28,4	49,5	22,1	1,5	0,06
	< 30	34,1	42,4	23,5	1,0	0,08
60 - 100 cm	> 60	20,9	61,2	17,9	0,7	0,04
	45 - 50	59,7	23,4	16,9	0,7	0,04
	< 30	65,8	21,9	12,3	0,7	0,02

In diesen Versuchen wurde die Stickstoffwirkung der Gülle jeweils mit der des mineralischen Standarddüngers Kalkammonsalpeter (KAS) verglichen. Neben einer einheitlichen Ausbringung sollten zwei unterschiedliche Verfahren zur teilschlagspezifischen Bemessung der N-Düngung geprüft werden (Tabelle 8).

Tabelle 8: Vorgesehene Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Gülleanwendung

Prüfglied	Handhabung der Düngung zur ersten N-Gabe auf den Teilflächen
Gülle bzw. KAS	einheitliche Menge
Gülle bzw. KAS	teilschlagspezifisch; nach scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit (Boden-Sanner-Klassen)
Gülle bzw. KAS	teilschlagsspezifisch; nach Biomasseindex (Sensor)

Erfolgreich eingesetzt wird derzeit der Sensor zur Bestimmung des N-Ernährungszustands und der Ermittlung des Stickstoffbedarfs zwischen Schossen und Ährenschieben des Getreides. Dabei wird das vom Pflanzenbestand reflektierte Sonnenlicht gemessen und durch ein Spektrometer in sichtbares Licht (Wellenlänge 400 – 700 nm) und unsichtbares Licht (Wellenlänge 700 – 1000 nm) zerlegt. Besonders beeinflusst wird die Lichtreflexion vom Chlorophyllgehalt der Pflanzen und von der insgesamt vorhandenen Biomasse. Problematisch ist zu Vegetationsbeginn die Beurteilung des N-Bedarfs über den Chlorophyllgehalt, da bereits kleine N-Mengen dafür sorgen, dass bei der mitunter sehr geringen Trockenmasse der Winterungen keine Unterschiede erkannt werden. Zudem wird die farbliche Differenzierung eines Bestandes nicht nur durch den N-Ernährungszustand beeinflusst. Infolge von Auswinterung oder Krankheiten finden sich häufig abgestorbene Pflanzenteile, die die Messwerte negativ beeinflussen können. Erfolgversprechender kann zu diesem Zeitpunkt der so genannte S2-Wert des YARA-Sensors sein, mit dem Aussagen zur gebildeten Biomasse möglich sind und unter Umständen die unterschiedliche natürliche Fruchtbarkeit stärker widerspiegelt.

Eine andere Möglichkeit zur teilschlagspezifischen Applikation des N-Düngers ergibt sich, wenn die räumliche Variabilität der verschiedenen Bodeneigenschaften ausreichend bekannt ist. Die verschiedenen Methoden zur kleinräumigen Charakterisierung vorhandener Bodenunterschiede wie punktuelle Bodenbeprobung, Karten der Reichsbodenschätzung, Luftbildaufnahmen, Ertragskarten usw. können hier sehr hilfreich sein. Es ist allerdings problematisch, daraus direkt Applikationskarten abzuleiten. In den letzten Jahren wurde von verschiedenen Seiten darauf aufmerksam gemacht (z. B. Lück u. a., 2002), dass die Kartierung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens eine wertvolle Ergänzung darstellen kann. Wie bereits erwähnt korrelieren diese Messwerte mit den Ton- und Schluffgehalten, die wiederum die Nährstoffdynamik und Kationenaustauschkapazität sowie den Wasserhaushalt entscheidend beeinflussen. Da es sich bei der Leitfähigkeit um eine stabile Größe handelt, ist für deren Erfassung eine einmalige Messung ausreichend.

Bonituren ausgangs des Winters ließen aufgrund der zum Teil lückigen Bestände Zweifel aufkommen, ob der N-Sensor zu diesem Zeitpunkt insbesondere bei der Wintergerste bereits eine sichere Erfassung der im Bestand vorhandenen Differenzierungen zulässt. Deshalb wurde zur ersten Gabe auf diese Variante verzichtet und die differenzierte N-Düngung mittels Sensor erst zum Zeitpunkt des Schossens genutzt. Unabhängig davon erfolgte jedoch zum jeweiligen Düngungstermin eine

Aufzeichnung der spektralsensorisch ermittelten Biomasse, um nachträglich die Eignung dieser Messgröße zu überprüfen. Letztendlich wurden die in Tabelle 9 als Prüfglieder zusammengestellten Kombinationen ausgewählt. Ihre Anordnung auf den jeweiligen Schlägen ist aus den Abbildungen 21 und 23 ersichtlich.

Tabelle 9: Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Gülleapplikation

Maßnahme	Prüfglied					
	1 (Guekon)	2 (GueLeit)	3 Guekon/NS)	4 (KASKon)	5 (KASLeit)	6 (KAS-kon/NS)
1. N-Gabe	Gülle			KAS		
Bemessung	einheitlich	nach Leitfähigkeit	einheitlich	einheitlich	nach Leitfähigkeit	einheitlich
2. N-Gabe	KAS			KAS		
Bemessung	einheitlich	nach Leitfähigkeit	nach N-Sensor	einheitlich	nach Leitfähigkeit	nach N-Sensor

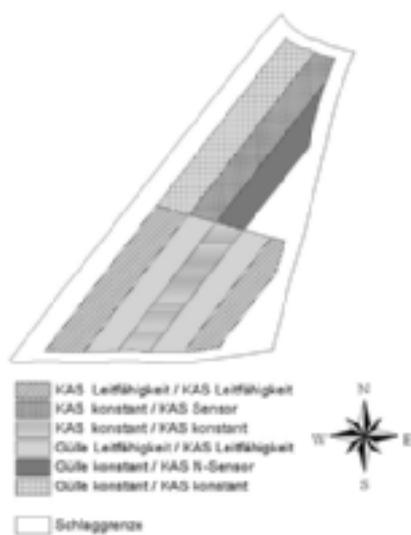


Abbildung 21: Lageplan der sechs Prüfglieder auf dem Schlag „Lämmergrund 2“

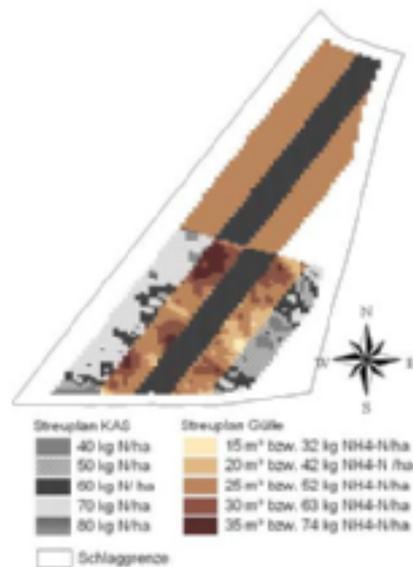


Abbildung 22: Verteilung der Gülle und des KAS-N zur ersten N-Gabe der Wintergerste auf dem Schlag „Lämmergrund 2“

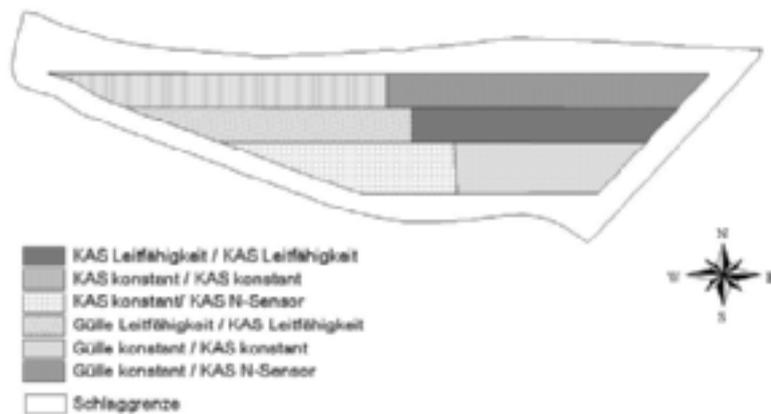


Abbildung 23: Lageplan der sechs Prüfglieder auf dem Schlag „Am Park“

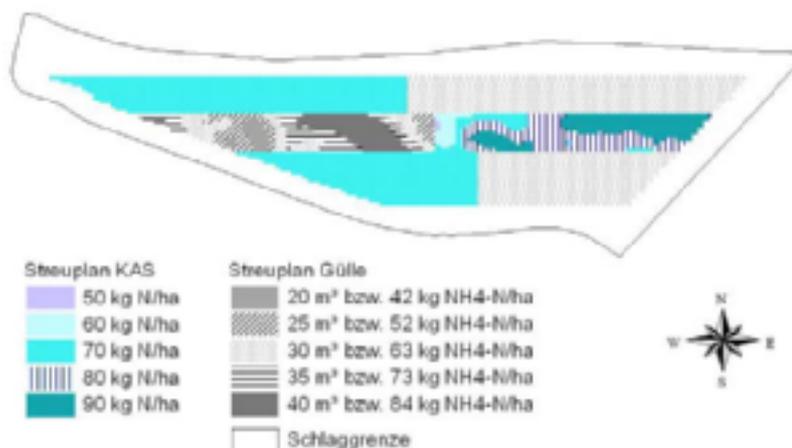


Abbildung 24: Verteilung der Gülle und des KAS-N zur ersten N-Gabe der Wintergerste auf dem Schlag „Am Park“

Die Höhe der ersten N-Gabe wurde unter Berücksichtigung der zu Vegetationsbeginn ermittelten N_{\min} -Beträge festgelegt. Die Beprobungen erfolgten zweifach wiederholt für den jeweiligen Schlag sowie im Bereich der niedrigen, mittleren und hohen Leitfähigkeit des Bodens. Die Empfehlungen von BEFU wiesen beim Winterraps einen N-Bedarf von 90 kg/ha und bei der Wintergerste von 60 kg/ha aus. Während bei der Gerste diese Empfehlung in den Prüfgliedern mit einheitlicher N-Menge eingehalten wurde, kamen beim Raps lediglich 70 kg/ha als erste N-Gabe zum Einsatz.

Ausschlaggebend für diese Entscheidung war zum einen der erhebliche N_{\min} im Unterboden (> 60 cm; Tabelle 14), der bei der N-Empfehlung durch BEFU keine Berücksichtigung fand und zum anderen sollte durch eine geringere Andüngung ein größerer Spielraum für die Differenzierung der zweiten N-Gabe erhalten bleiben. Auch unter der Wintergerste fanden sich erhebliche N_{\min} -Mengen im Unterboden. Aufgrund der eher verhaltenen Vorwinterentwicklung stand er dem Bestand vermutlich erst zum Schossen (2. N-Gabe) zur Verfügung.

Eine Übersicht über die im Frühjahr 2004 verabreichten Gülle- und N-Mengen geben die Tabellen 10 und 11. Die Streupläne für die erste N-Gabe sind in den Abbildungen 22 und 24 zu finden. Daraus lässt sich auch die in den Prüfgliedern 2 und 5 entsprechend der Leitfähigkeit vorgenommene Differenzierung im Hinblick auf die N-Mengen entnehmen. Entscheidungsgrundlage war hier die zuvor ermittelten unterschiedlichen N_{\min} -Beträge (vgl. Tabellen 12 und 14).

Tabelle 10: N-Düngermenge zur Wintergerste auf dem Schlag „Lämmergrund 2“

Prüfglied	1. N-Gabe ⁱ	Mittlere N-Menge ⁱⁱ kg/ha	Differenzierung der N-Menge kg/ha	2. N-Gabe	Mittlere N-Menge kg/ha	Differenzierung der N-Menge kg/ha	N-Menge insgesamt kg/ha
1	Gülle	53	-	KAS	60	-	113
2	Gülle	53	-	KAS	66	14 - 86	119
3	Gülle	57	32 - 74	KAS	62	20 - 88	120
4	KAS	60	-	KAS	60	-	125
5	KAS	60	-	KAS	65	44 - 88	117
6	KAS	61	40 - 80	KAS	56	36 - 88	119

ⁱ der Stickstoffgehalt der Gülle betrug 0,36 % N_i bzw. 0,21 % NH₄-N
ⁱⁱ angeführt sind hier die NH₄-N-Mengen

Tabelle 11: N-Düngermenge zum Winterraps auf dem Schlag „Am Park“

Prüfglied	1. N-Gabe ⁱ	Mittlere N-Menge ⁱⁱ kg/ha	Differenzierung der N-Menge kg/ha	2. N-Gabe	Mittlere N-Menge kg/ha	Differenzierung der N-Menge kg/ha	N-Menge insgesamt kg/ha
1	Gülle	63	-	KAS	80	-	143
2	Gülle	63	-	KAS	88	54 - 104	151
3	Gülle	67	42 - 84	KAS	75	54 - 104	142
4	KAS	70	-	KAS	80	-	150
5	KAS	70	-	KAS	93	62 - 104	163
6	KAS	81	50 - 90	KAS	67	54 - 104	148

ⁱ der Stickstoffgehalt der Gülle betrug 0,36 % N_i bzw. 0,21 % NH₄-N
ⁱⁱ angeführt sind hier die NH₄-N-Mengen

Mit Hilfe des Satelliten gestützten Ortungssystems (GPS) wurden die in den Bordcomputern hinterlegten Streupläne realisiert. Die Ausbringung der Gülle und des KAS erfolgte mit den in Abbildung 25 und 26 dargestellten Maschinen. Von Nachteil bei der Gülleausbringung war, dass die Arbeitsbreite lediglich 6 m betrug und damit nicht in das vorhandene Fahrgassenprinzip passte. Von der Industrie werden allerdings Schleppschlauchsysteme mit einer Arbeitsbreite bis zu 18 m angeboten, die für diese Zwecke günstiger sind.



Abbildung 25: Applikation der Gülle zur ersten N-Gabe in der Wintergerste mittels Schleppschlauch



Abbildung 26: Ausbringung der zweiten N-Gabe im Winterraps mittels N-Sensor in den dafür vorgesehenen Prüfgliedern

Der Kornertrag der einzelnen Prüfglieder wurde durch den Einsatz von Mähdreschern mit Ertrags erfassung ermittelt. Insgesamt ergaben sich für die Teilflächen mit Wintergerste über 6 300 und für die mit dem Winterraps etwa 4 900 Messpunkte. Die Aufarbeitung der Einzelwerte erfolgte zum einen über einen Abgleich zu den real gewogenen Kornmengen und zum anderen durch Bearbeitung von unplausiblen Ertragspunkten (Drusch im Stand, abweichende Arbeitsbreiten, Verteilung der Messpunkte).

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Die elektrische Leitfähigkeit als Kriterium für eine differenzierte Gülleausbringung zu Beginn der Vegetation

Schläge mit großer Bodenheterogenität weisen in Abhängigkeit von den jeweiligen Jahresbedingungen beachtliche Ertragsdifferenzierungen auf. Zudem zeigt sich, dass dabei die Nährstoffversorgung im Oberboden zumeist von untergeordneter Bedeutung ist. Insbesondere in niederschlagsarmen Jahren wird dann ganz offensichtlich welche Bereiche eines Schlages betroffen sind und wo die Ursachen liegen. Der Ertragsabfall tritt dort vor allem auf, wo die Bestände zeitig Trockenschäden aufweisen und die Abreife früher einsetzt. Bei genauer Betrachtung handelt es sich um Schlagteile mit niedrigerem Gehalte an Ton, Schluff sowie Humus oder sie weisen geringe Durchwurzelungstiefen aufgrund von Bodenverdichtungen und flachgründiger Ackerkrume auf. Also alles Faktoren, die im engen Zusammenhang mit dem Wasservorrat des Bodens stehen.

Um die Vielzahl dieser Bodenparameter zu erfassen, ist ein großer Aufwand für Probenahme, Analyse und Datenaufbereitung erforderlich. Als Alternative bei der Erfassung von Bodenunterschieden bietet sich die Messung der elektrischen Leitfähigkeit an. Sie ist eine physikalische Größe, welche die Fähigkeit des Bodens beschreibt elektrische Ladung weiterzuleiten. Bestimmt wird sie im Wesentlichen vom Gehalt des Bodens an abschlämmbaren Teilchen, den wasserlöslichen Salzen, dem Humusgehalt, dem Bodenwasser selbst bzw. der Lagerungsdichte.

Für die Erfassung der elektrischen Leitfähigkeit stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Für die durchgeführten Untersuchungen wurde ein elektromagnetisches Messprinzip gewählt. Zum Einsatz kam das EM 38, mit dem ohne Bodenkontakt die scheinbare elektrische Leitfähigkeit bestimmt wird. Eine Sendespule erzeugt im Boden ein elektromagnetisches Wechselfeld. Dieses primäre Magnetfeld wird durch die elektrische Leitfähigkeit des Bodens beeinflusst. Daraus resultiert ein sekundäres Feld, das von einer Empfangsspule gemessen wird. Aus dem Verhältnis zwischen beiden Feldern wird die scheinbare elektrische Leitfähigkeit abgeleitet. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass das EM 38 für die flächenhafte Beschreibung landwirtschaftlicher Böden bestens geeignet ist. Ermittelt wird die Leitfähigkeit bis in etwa 1,00 bis 1,50 m Tiefe als ein Summenparameter.

Für den Schlag „Lämmergrund 2“ lagen zusätzlich aus früheren Untersuchungen Messwerte zur Leitfähigkeit nach dem gleichstromgeoelektrischen Verfahren mittels „Veris“ vor. Sie sollen die gute Übereinstimmung der beiden Methoden im Hinblick auf die Differenziertheit des Schrages belegen. Methodisch wird bei dieser Messung über zwei an den Boden gekoppelte Elektroden (z. B. Scheibenschare) der Gleichstrom in den Boden gespeist. Dadurch baut sich im Boden ein Stromfeld auf. An mindestens zwei weiteren Elektroden, die in variabler Entfernung zum einspeisenden Elektrodenpaar angebracht werden, lässt sich nun der Spannungsabfall messen. Die Anordnung der Elektroden beeinflusst die Eindringtiefe des Stromflusses und damit den Aussagebereich hinsichtlich der Bodentiefe. Nach diesem Messprinzip arbeitende Leitfähigkeitsmessgeräte haben den Nachteil, dass bei trockenen Bodenverhältnissen die Übergangswiderstände zwischen den Elektroden groß werden und die Messgüte beeinflussen. Gegenüber dem elektromagnetischen Messprinzip besitzt dieses Verfahren den Vorteil, dass verschiedene Bodentiefen kartiert werden können. Dazu ist lediglich die Eindringtiefe der Elektroden in den Boden zu verändern.

Im Rahmen dieses Projektes sollte geprüft werden, ob sich die unterschiedliche Leitfähigkeit des Bodens als Bemessungskriterium für eine teilschlagspezifische Gülledüngung zu Vegetationsbeginn eignet. Ziel war es, einen auf den jeweiligen Teilflächen optimalen Ertrag zu erzielen sowie Stickstoffüberhänge und die damit verbundene höhere Belastung der Umwelt zu vermeiden.

Einen Überblick zur elektrischen Leitfähigkeit der Versuchsschläge geben die in den Abbildungen 27 und 28 dargestellten Karten. In ihnen sind die punktuellen Messwerte geostatistisch verarbeitet. Sie lassen eine beachtliche Heterogenität der Flächen erkennen. Für den Schlag „Lämmergrund 2“

lagen darüber hinaus Karten nach dem Messverfahren Veris vor (Abbildungen 29 und 30). Insgesamt besteht eine gute Übereinstimmung zu den mit dem EM 38 erstellten Karten. Deutlich wird aber auch, dass die Unterschiede in der Leitfähigkeit vor allem den Unterboden betreffen. Die Auswirkungen betreffen dann vor allem das Wasserspeichervermögen und die Durchwurzelung des Bodens. Von besonderer Ertragsrelevanz dürfte dies allerdings vor allem in trockenen Jahren sein.

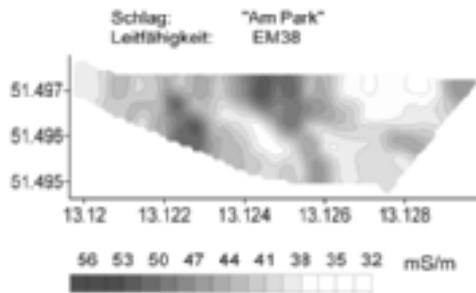


Abbildung 27: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit vom Schlag „Am Park“, gemessen mit dem EM 38

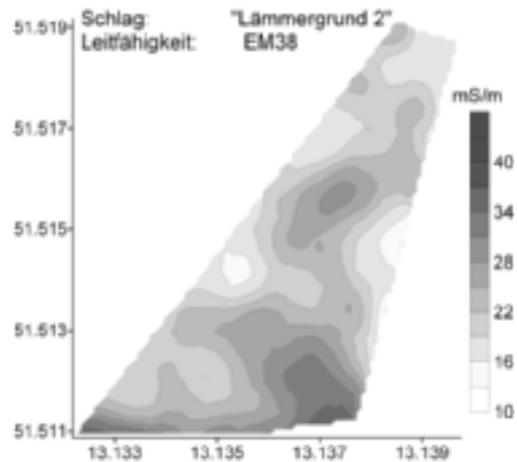


Abbildung 28: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit vom Schlag „Lämmergrund 2“, gemessen mit dem EM 38

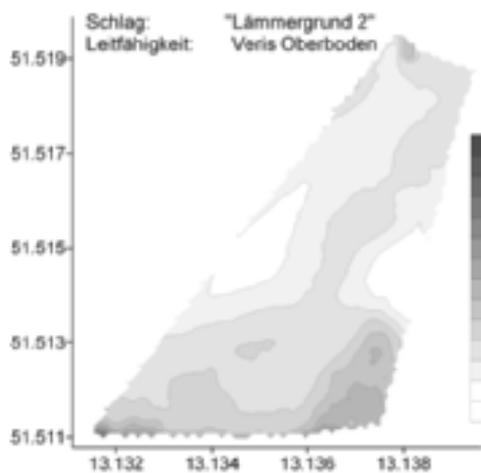


Abbildung 29: Leitfähigkeit im Oberboden gemessen nach dem Verfahren Veris

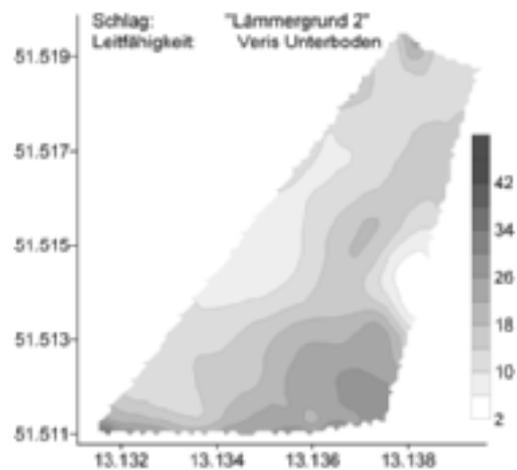


Abbildung 30: Leitfähigkeit im Unterboden gemessen nach dem Verfahren Veris

Die für die Untersuchungen genutzten Schläge weisen deutliche Unterschiede im Leitfähigkeitsniveau auf. Während auf dem „Lämmergrund 2“ ein mittlerer Wert von 22,7 gemessen wurde, war er

auf dem Schlag „Am Park“ mit 42,3 nahezu doppelt so hoch. Dieser Unterschied lässt sich allerdings nicht allein durch die Körnung erklären (vgl. Tabelle 6 und 7). Da bei den Messungen im Herbst 2003 die Feldkapazität des Bodens nicht aufgefüllt war, kommt den nach den unterschiedlichen Vorfrüchten verbliebenen Bodenwassergehalten eine große Bedeutung zu. Für die Untersuchungen selbst war das aber ohne Bedeutung.

Unterschiede finden sich auch hinsichtlich der Spanne der Leitfähigkeit innerhalb des jeweiligen Schlag es und die Häufigkeit der einzelnen Klassen (Abbildung 31 und 32). Dabei fällt auf, dass auf dem Schlag „Am Park“ der überwiegende Flächenanteil im unteren Messbereich einzuordnen ist (< 44 mS/m) und die Flächenanteile mit hoher Leitfähigkeit deutlich abnehmen. Auf dem Schlag „Lämmergrund 2“ ergibt sich für die Leitfähigkeitsklassen nahezu eine Normalverteilung.

Die ungleichmäßige Verteilung der Leitfähigkeitsklassen auf dem Schlag führte dazu, dass in den jeweiligen Prüfgliedern der Flächenanteil einzelner Klassen nicht im gleichen Umfang vorkam. Trotzdem war die mittlere Leitfähigkeit der einzelnen Prüfglieder (Abbildung 33 und 34) relativ einheitlich.

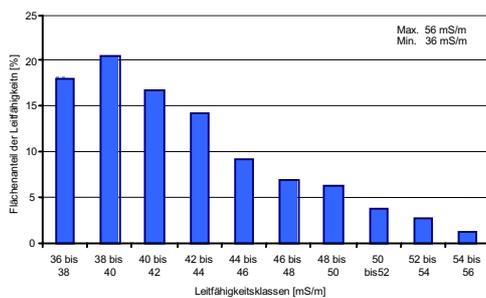


Abbildung 31: Anteil der Leitfähigkeitsklassen auf dem Schlag „Am Park“

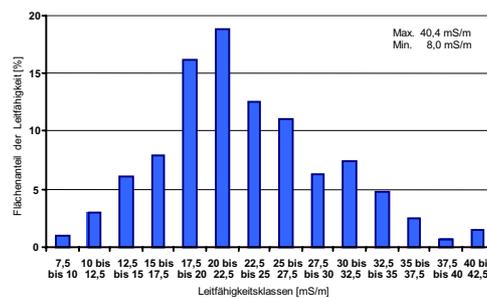


Abbildung 32: Anteil der Leitfähigkeitsklassen auf dem Schlag „Lämmergrund 2“

Ungünstig für die Versuchsdurchführung war jedoch, dass durch die Arbeitsbreite der Düngestreuer die Applikationsraster zwar bei der Gülleausbringung (Arbeitsbreite betrug sechs Meter) kleinräumige Differenzierungen zuließen, bei der Ausbringung des KAS mit dem zur Verfügung stehenden Düngestreuer (Schleuderradtechnik) und nominellen Arbeitsbreite von 27 m war dies allerdings nur unzureichend möglich. Für die Ausbringung der mineralischen Dünger nach Leitfähigkeitskarten erscheint der Einsatz von pneumatischen Streuern, die derzeit bis zu einer Arbeitsbreite von 18 m verfügbar sind, geeigneter. Von besonderem Vorteil sind zum einen die kleineren Applikationsraster, die den Unterschieden des Bodens besser Rechnung tragen, und zum anderen eine gleichmäßige Verteilung des Düngers ohne Überlappungszonen zulassen. Für die Versuchsdurchführung, aber auch für die zukünftige weitere Erprobung einer teilschlagspezifischen Düngung nach der Leitfähigkeit, ergibt sich der Vorteil, dass mit schmalen Prüfgliedstreifen und einer ent-

sprechenden Anzahl von Wiederholungen gearbeitet werden kann. Damit erhöht sich natürlich die Aussagekraft der Ergebnisse erheblich.

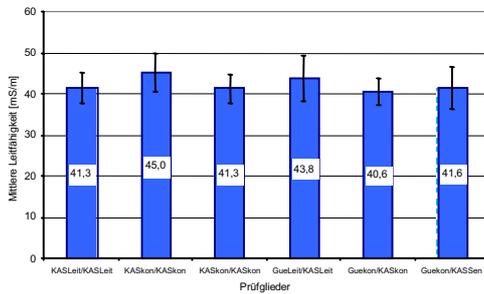


Abbildung 33: Mittlere Leitfähigkeit der Prüfglieder auf dem Schlag „Am Park“ sowie deren Standardabweichung

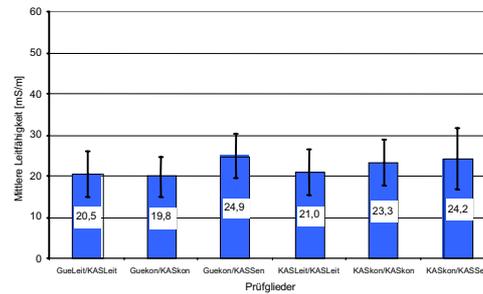


Abbildung 34: Mittlere Leitfähigkeit der Prüfglieder auf dem Schlag „Lämmergrund 2“ sowie deren Standardabweichung

3.2.2 Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und der Biomasse zu Vegetationsbeginn

Bei der Ermittlung der Höhe der ersten N-Gabe der Winterungen findet die Biomasse bereits pauschal Berücksichtigung. In Abhängigkeit von der Bestandesentwicklung werden entsprechende Zu- bzw. Abschläge getätigt. Die auf großflächigen heterogenen Schlägen regelmäßig auftretenden Unterschiede finden allerdings keine gezielte Berücksichtigung. Vorstellbar ist, dass die gebildete Biomasse bereits zu Vegetationsbeginn viel stärker als ein Entscheidungskriterium für eine differenzierte Düngung herangezogen werden kann. Dafür besonders geeignet sollten Winterraps sowie Wintergerste sein. Bei normaler Vorwinterentwicklung findet sich ein weitgehend geschlossener Bestand, der für die messtechnische Erfassung, beispielsweise mit dem N-Sensor, notwendig ist.

Da nach dem trockenen Jahr 2003 auf den Untersuchungsflächen nur eine sehr verhaltene Vorwinterentwicklung erfolgte, mit den daraus resultierenden lückigen Beständen (Abbildung 35 und 36), wurde darauf verzichtet, die Biomasse als Bemessungsgrundlage zu nutzen. Unabhängig davon wurde jedoch der Biomasseindex an mehreren Terminen mit dem Sensor aufgezeichnet. Von besonderem Interesse war, ob selbst bei diesen eher ungünstigen Ausgangsbedingungen bereits zu Beginn der Vegetation Unterschiede messbar sind und ob sich ein Zusammenhang zur Leitfähigkeit und damit zu den vorhandenen Bodenunterschieden ergibt.



Abbildung 35: Winterrapsbestand zur ersten N-Gabe



Abbildung 36: Wintergerstebestand zur ersten N-Gabe (Prüfglied mit Gülle)

3.2.2.1 Wintergerste auf dem Schlag „Lämmergrund 2“

Auf dem Gerstenschlag waren zu Beginn der Vegetation deutliche Unterschiede im Bestand vorhanden. Diese Differenzierung spiegelt sich im Biomasseindex zur ersten N-Gabe deutlich wieder (Abbildung 37). Zu diesem Zeitpunkt ließ sich keine enge Beziehung zur Leitfähigkeit und damit zur Bodenheterogenität feststellen. Selbst die nach dem Verfahren Veris vorliegenden Messwerte für den Oberboden, die den bis dahin durch die Gerste genutzten Wurzelraum beschreiben, lassen keinen Zusammenhang erkennen.

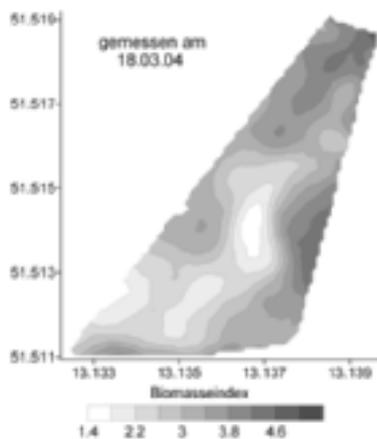


Abbildung 37: Spektralsensorisch gemessene Biomasse der Wintergerste auf dem Schlag „Lämmergrund 2“ zur ersten N-Gabe

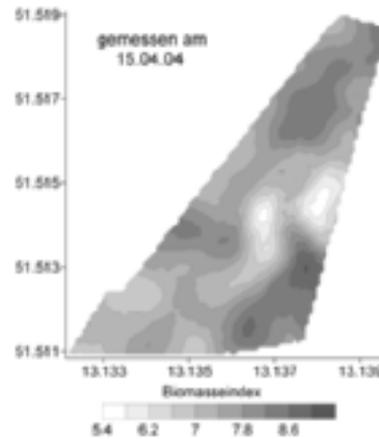


Abbildung 38: Spektralsensorisch gemessene Biomasse der Wintergerste auf dem Schlag „Lämmergrund 2“ zur zweiten N-Gabe

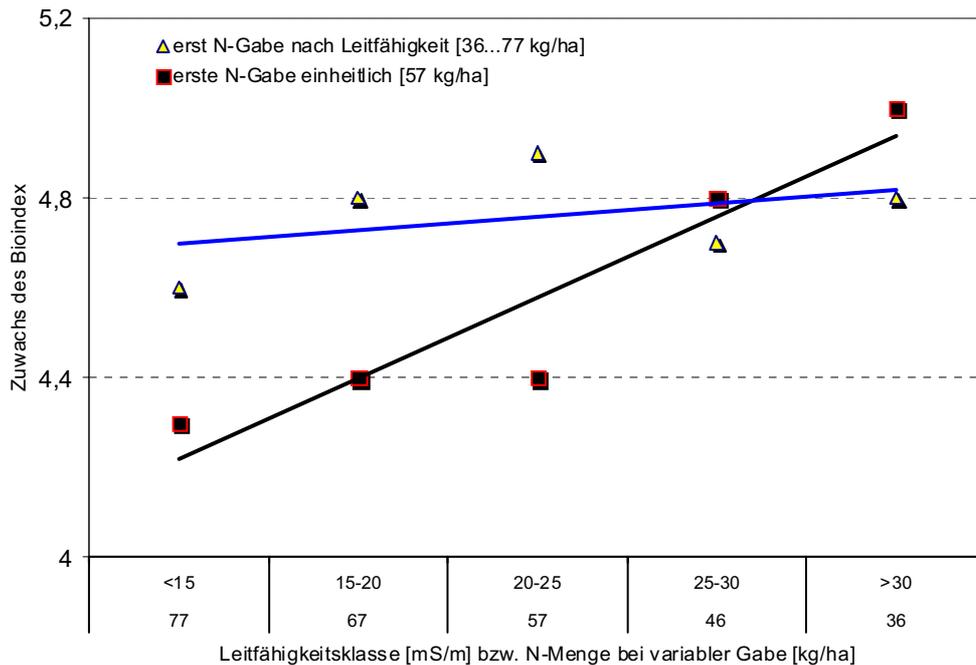


Abbildung 39: Zuwachs des Biomasseindex der Wintergerste zwischen erster und zweiter N-Gabe in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens und der ausgebrachten N-Menge

Bis zur zweiten N-Gabe wandelt sich das Bild beachtlich. Aus der in Abbildung 38 dargestellten Karte lässt sich zwar keine düngungsbedingte Wirkung erkennen. Eine Zuordnung der in den einzelnen Prüfgliedern gemessenen Bioindexwerte zu den in den jeweiligen Arealen gemessenen Leitfähigkeitsklassen zeigt eine erste Reaktion. Wurde die N-Menge einheitlich und unabhängig von der Leitfähigkeit ausgebracht, so steigt die Biomasse mit zunehmender Leitfähigkeit des Bodens an. Wurde dagegen zur ersten Gabe entsprechend der elektrischen Leitfähigkeit differenziert Stickstoff verabreicht (hohe Leitfähigkeit mit niedriger N-Gabe und umgekehrt), so wurden die Pflanzen im Bereich niedriger Leitfähigkeit stärker gefördert (Abbildung 39). Bemerkenswert ist diese Reaktion auch deshalb, weil zu Vegetationsbeginn bereits hohe N_{\min} -Mengen im Boden vorlagen.

Festzuhalten bleibt, dass zu Beginn der Vegetation, selbst bei dem eher lückigen Wintergerstenbestand, der Sensor flächendeckend den Biomasseindex registrierte. Die beachtliche Differenzierung entsprach dem visuellen Gesamteindruck. Da eine Beziehung zum Boden nicht vorliegt, ist allerdings eine Entscheidung über die günstigste Stickstoffdüngungsstrategie ohne genauere Kenntnis für die Ursachen schwer abzuleiten. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand erfolgt zum Zeitpunkt der ersten N-Gabe bei ungünstiger Biomasseentwicklung (zumeist gleichzusetzen mit unzureichender Bestockung) regelmäßig eine Erhöhung der N-Menge.

3.2.2.2 Winterraps auf dem Schlag „Am Park“

Mit etwa 15 bis 20 dt TM/ha hatte der Raps bis zum Winter, im Vergleich zu anderen Standorten und Jahren, eine eher verhaltene Sprosssubstanzbildung erfahren. Damit einher ging jedoch eine N-Aufnahme von 80 bis 100 kg/ha. Zum Vegetationsbeginn zeigte sich, dass zwischen dem gemessenen Biomasseindex und der Leitfähigkeit zum Zeitpunkt der ersten N-Gabe bereits eine recht enge Beziehung besteht (Abbildung 40). Die vorhandenen Bodenunterschiede dürften zu einem beachtlichen Teil Ursache für das unterschiedliche Pflanzenwachstum sein. Bis zur zweiten N-Gabe verstärkt sich dieser Zusammenhang noch weiter.

Wie bei der Wintergerste zeigt sich, dass bei einheitlicher Düngung der stärkste Zuwachs an Biomasse im Bereich der hohen Leitfähigkeitsklassen erfolgte (Abbildung 41). Eine differenzierte Ausbringung (niedrige Leitfähigkeit mit hoher N-Menge und umgekehrt, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen N_{min} -Werte) schafft zwar noch keinen Ausgleich, lässt aber die Differenzierung innerhalb des Bestandes nicht größer werden.

In Abbildung 42 ist die Biomassekarte des Winterrapsbestandes für den Gesamtschlag dargestellt. In den Bereichen, die zu diesem Termin bereits den höchsten Index aufwiesen, fanden sich zur Blüte Bestandeshöhen > 1,90 m, während auf den Flächen mit niedrigem Biomasseindex dann gerade einmal Wuchshöhen von 1,60 m angetroffen wurden.

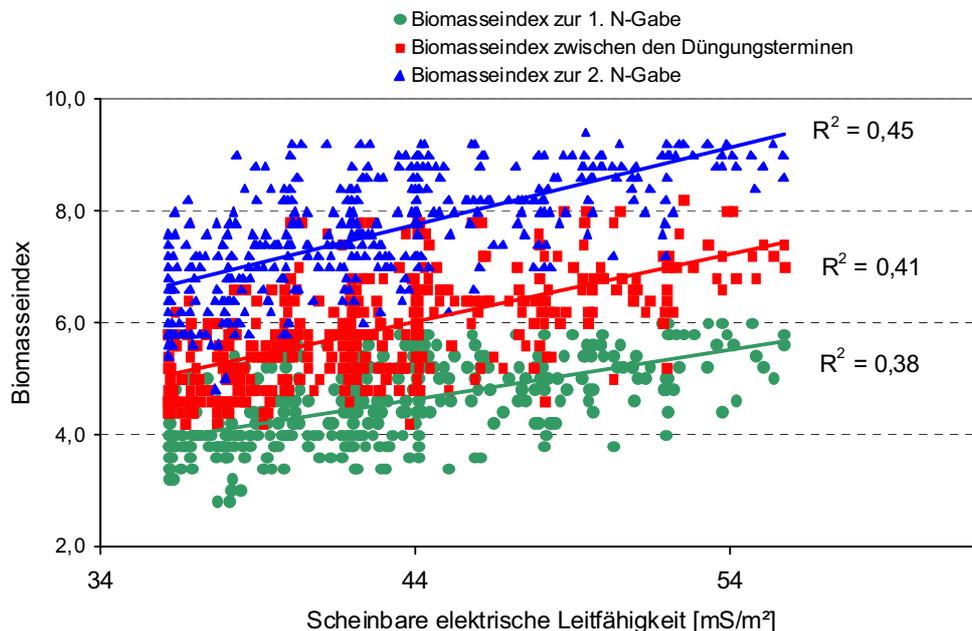


Abbildung 40: Biomasseindex des Winterraps in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens von der ersten bis zur zweiten N-Gabe

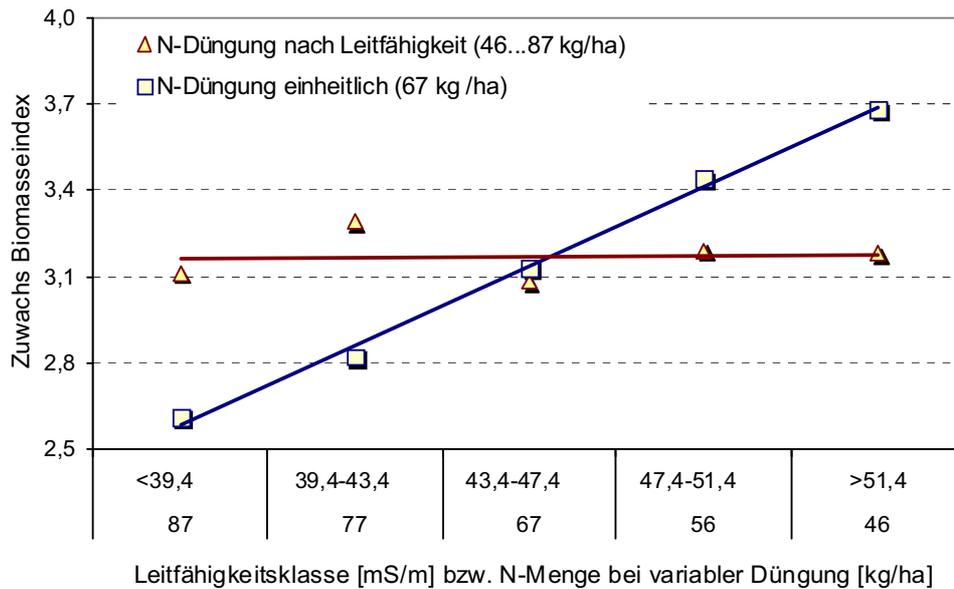


Abbildung 41: Zuwachs des Biomasseindex beim Winterraps zwischen erster und zweiter N-Gabe in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens und der ausgebrachten N-Menge

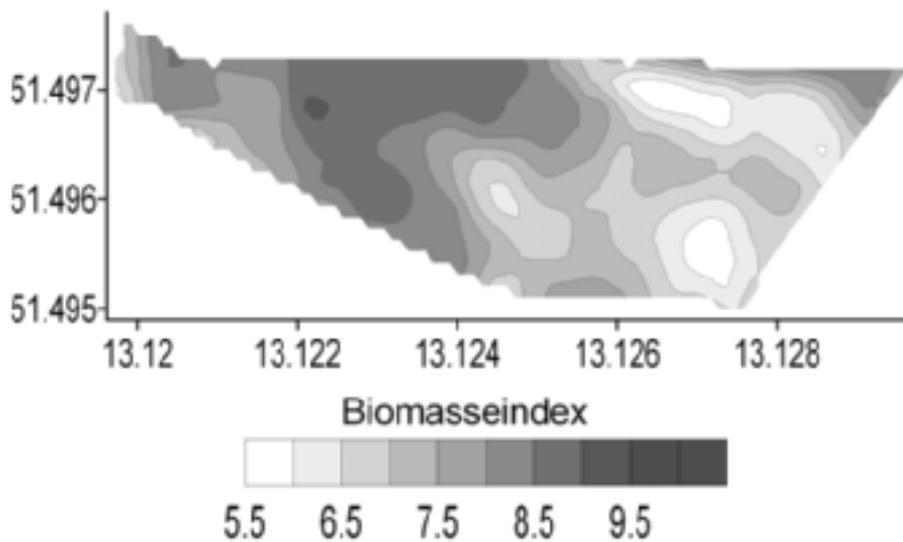


Abbildung 42: Spektroskopisch gemessene Biomasse des Winterraps auf dem Schlag „Am Park“ zur zweiten N-Gabe am 15.04.2004

3.2.3 N_{min} zu Vegetationsbeginn in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens

Ausgangspunkt der Überlegungen zur teilschlagspezifischen N-Düngung nach der Leitfähigkeit des Bodens war, dass auf den Flächenanteilen mit hoher Leitfähigkeit letztendlich auch das höchste Ertragspotential vorliegt. Für die Bemessung der differenzierten Stickstoffdüngung interessierte, ob

die vorhandenen Bodenunterschiede zu Beginn der Vegetation mit gerichteten Abweichungen im N_{\min} einhergingen. Deshalb wurden neben einer repräsentativen Erfassung des Gesamtschlages zusätzlich Flächenanteile mit hoher, mittlerer und niedriger Leitfähigkeit getrennt beprobt.

Unter der Wintergerste (Lämmergrund 2) erbrachte die Bodenprobenahme Anfang März ein Schlagmittel von 117 kg N_{\min} /ha (Tabelle 12). Davon befanden sich etwa 60 % in der Schicht 0 bis 60 cm. Die Beprobung nach Leitfähigkeitsklassen ergab eine gerichtete Differenzierung im N_{\min} . Hohe Leitfähigkeit war mit deutlich höheren N_{\min} -Werten verbunden. Es fand sich im Mittel ein Unterschied von 60 kg/ha. Überraschend ist, dass noch ein beachtlicher Teil die Bodenschicht von 0 bis 60 cm Tiefe betrifft. Geht man davon aus, dass mit einer Niederschlagsmenge von 153 mm (November bis Anfang März) diese Schicht weitgehend wassergesättigt war (Tabelle 13), so muss erst einmal davon ausgegangen werden, dass unterschiedliche Austräge dafür verantwortlich sind. Hingewiesen werden soll an dieser Stelle darauf, dass die gemessenen Wassergehalte in den einzelnen Bodenschichten sehr gut mit den Ergebnissen der Körnungsanalyse korrespondieren (vgl. Tabelle 6). Insbesondere die stark abweichenden Gehalte in der niedrigen Leitfähigkeitsklasse stehen in enger Beziehung zu den hohen Sandanteilen in der jeweiligen Bodenschicht.

Ob es regelmäßig zu einer derartigen Differenzierung kommt oder die spezifischen Jahresbedingungen dafür verantwortlich sind, lässt sich nach einjährigen Untersuchungen natürlich nicht abschätzen.

Tabelle 12: N_{\min} im Frühjahr auf dem Schlag „Lämmergrund 2“ unter Wintergerste (Probenahme am 08.03.2004, Mittelwert von zwei unabhängigen Probenahmen)

Leitfähigkeitsklasse [mS/m]	nach elektrischer Leitfähigkeit			Schlagmittelwert		
	0 - 60 cm	60 - 100 cm	0 - 100 cm	0 - 60 cm	60 - 100cm	0 - 100 cm
> 40	98	69	167	68	49	117
25 - 30	85	64	149			
< 10	57	51	108			

Tabelle 13: Wassergehalt (%) des Bodens zu Vegetationsbeginn in Abhängigkeit von der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (Probenahme am 08.03.2004)

Leitfähigkeitsklasse [mS/m]	Bodentiefe		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 100 cm
> 40	18,0	18,0	17,6
25 - 30	18,8	18,0	16,2
< 10	14,5	11,4	8,2

Tabelle 14: N_{\min} im Frühjahr auf dem Schlag „Am Park“ unter Winterraps (04.03.2004, Mittelwert von zwei unabhängigen Probenahmen)

Leitfähigkeitsklasse [mS/m]	nach elektrischer Leitfähigkeit			Schlagmittelwert		
	0 - 60 cm	60 - 100 cm	0 - 100 cm	0 - 60 cm	60 - 100cm	0 - 100 cm
> 60	59	46	105	47	50	97
40 - 45	49	39	88			
< 30	28	32	60			

Unter dem Winterrapsbestand konnte ausgangs des Winters ein N_{\min} -Gehalt von etwa 100 kg/ha ermittelt werden. Die Differenzierung fällt nicht so deutlich aus wie unter der Wintergerste. Der höhere Biomasseindex und die damit verbundene stärkere Trockenmassebildung im Bereich der hohen Leitfähigkeit sollte dafür verantwortlich sein.

Auch auf dem Schlag „Am Park“ stehen niedrige Messwerte bei der elektrischen Leitfähigkeit in Verbindung mit geringeren Wassergehalten ausgangs des Winters. Besonders betroffen ist hier der Unterboden. Auch hier stehen die ermittelten Wassergehalte in den jeweiligen Schichten in enger Beziehung zu der Körnung des Bodens. Besonders auffällig ist die starke Differenzierung des Unterbodens (< 60 cm). Da nach dem Winter annähernd die Feldkapazität in der untersuchten Bodentiefe erreicht wurde, korrespondieren diese Werte sehr gut mit den in Tabelle 7 zusammengestellten Werten der Körnungsanalyse.

Tabelle 15: Wassergehalt (%) des Bodens zu Vegetationsbeginn in Abhängigkeit von der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit

Leitfähigkeitsklasse [mS/m]	Bodentiefe		
	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 100 cm
> 60	17,8	18,9	18,4
40 - 45	16,7	16,0	15,1
< 30	16,8	16,7	11,8

3.2.4 Erträge

3.2.4.1 Wintergerste

Der günstige Witterungsverlauf im Frühjahr führte insgesamt zu einem hohen Kornertrag. Innerhalb der Prüfgliedflächen wurde ein mittlerer Ertrag von 84,5 dt/ha (bei 86 % TS) erzielt. Die Ertragskarte (Abbildung 43) weist jedoch starke Differenzierungen auf. Für den Kornertrag der Gerste ergab ich auf dem Gesamtschlag eine Spanne von 54 bis 120 dt/ha.

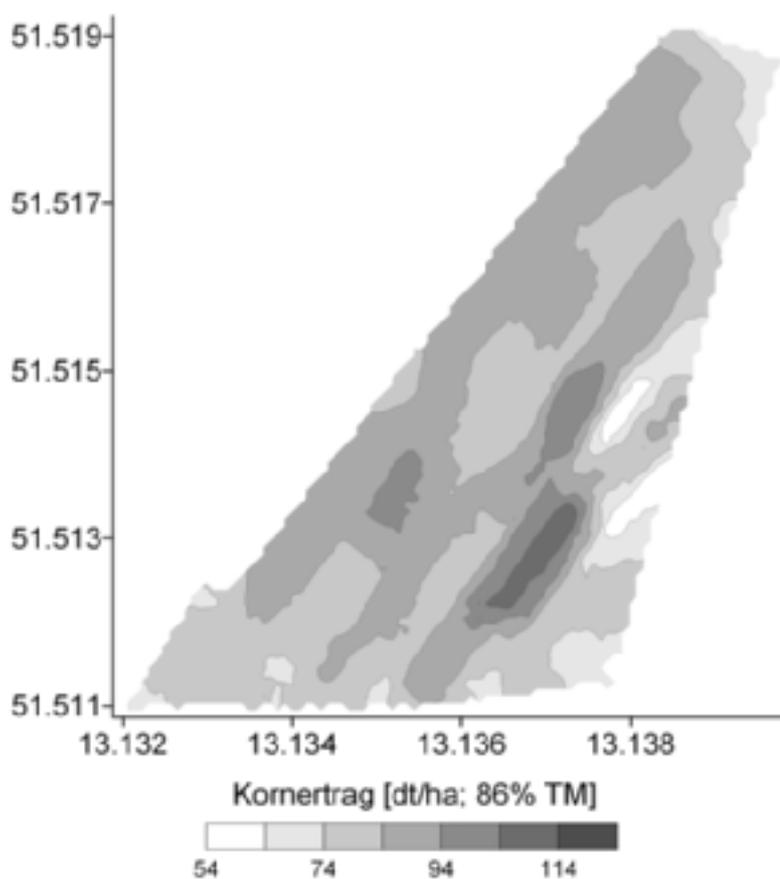


Abbildung 43: Ertragskarte für die im Jahr 2004 auf dem Schlag „Lämmergrund 2“ angebaute Wintergerste

Für die Auswertung interessiert erst einmal die Wirkung des Gülle-N im Vergleich zur mineralischen Düngung mit KAS zur ersten Stickstoffgabe (Abbildung 44). Für die Beurteilung der Erträge sollen nicht die einfachen Flächenmittel herangezogen werden, da innerhalb der Prüfglieder der Anteil einzelner Leitfähigkeitsklassen sehr unterschiedlich war. Zur Auswertung wurden deshalb Mittelwerte der einzelnen Leitfähigkeitsklassen gebildet. Das erklärten die auftretenden Abweichungen vom mittleren Schlagenertrag.

Die Gülldüngung erbrachte im Vergleich zur ausschließlichen mineralischen Stickstoffdüngung einen Kornmehrertrag von 3,7 dt/ha. Dabei waren die in pflanzenverfügbarer Form ausgebrachten N-Mengen annähernd gleich. Zur ersten Gabe standen den rund 60 kg N/ha aus KAS etwa 55 kg/ha $\text{NH}_4\text{-N}$ (N_t 94 kg/ha) aus dem flüssigen Dung gegenüber (vgl. Tabelle 10). Die zum Ausbringungstermin noch kühlen Temperaturen dürften dafür gesorgt haben, dass der überwiegende Teil des Ammoniums auch in den Boden gelangte und die Ausbringungsverluste sehr begrenzt blieben. Schwer abschätzen lässt sich die Wirkung des mit der Gülle zugeführten organischen N.

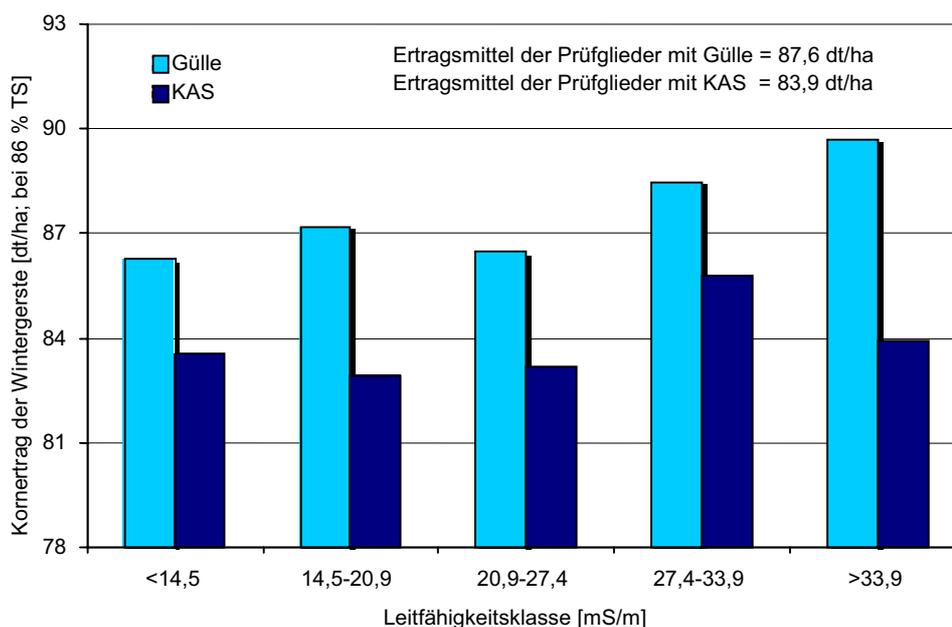


Abbildung 44: Kornertrag der Wintergerste in Abhängigkeit von der Düngerform (Gülle- bzw. KAS-N) zur ersten Gabe

In Tabelle 16 findet sich eine Kalkulation der Wirkung des Güllestickstoffs am Beispiel der nach Leitfähigkeit gedüngten Prüfglieder. Danach finden sich im Entzug 64 kg N/ha aus der Gülle wieder, woraus sich ein MDÄ von 66 % errechnet. Das bedeutet, dass etwa ein viertel des organisch gebundenen N im Verlauf des Frühjahrs pflanzenverfügbar wurde, bei Ausbringung in den Bestand und Verbleib der Gülle auf der Bodenoberfläche ein überraschend hoher Anteil. In erster Linie ist dies auf die guten Feuchtebedingungen im April/Mai (rund 120 mm Niederschlag) und die kühle Witterung zurückzuführen. In Jahren mit längerer Frühjahrs- bzw. Vorsommertrockenheit dürfte es wesentlich weniger sein.

Tabelle 16: Kalkulation der Wirksamkeit des im März 2004 zur Wintergerste ausgebrachten Güllestickstoffs am Beispiel der nach Leitfähigkeit gedüngten Prüfglieder

Merkmal	Prüfglied nach Leitfähigkeit gedüngt	
	KAS/KAS	Gülle/KAS
Kornertrag (dt/ha; 86 % TS)	83,7	86,1
N-Entzug (kg/ha)	190	195
Mineraldünger-N (kg/ha)	121	62
Differenz (kg/ha)	69	133
N aus dem Boden (kg/ha)	69 ⁱ	69
Gülle-N im Ertrag (kg/ha)	-	64 ⁱⁱ
MDÄ des Gülle-N		66

ⁱ von Vegetationsbeginn bis nach der Ernte nahm der N_{min} im Mittel um 62 kg/ha ab
ⁱⁱ ausgebracht wurden in diesem Prüfglied im Mittel 57 kg/ha löslicher NH₄-N bzw. 97 kg/ha Gesamt-N

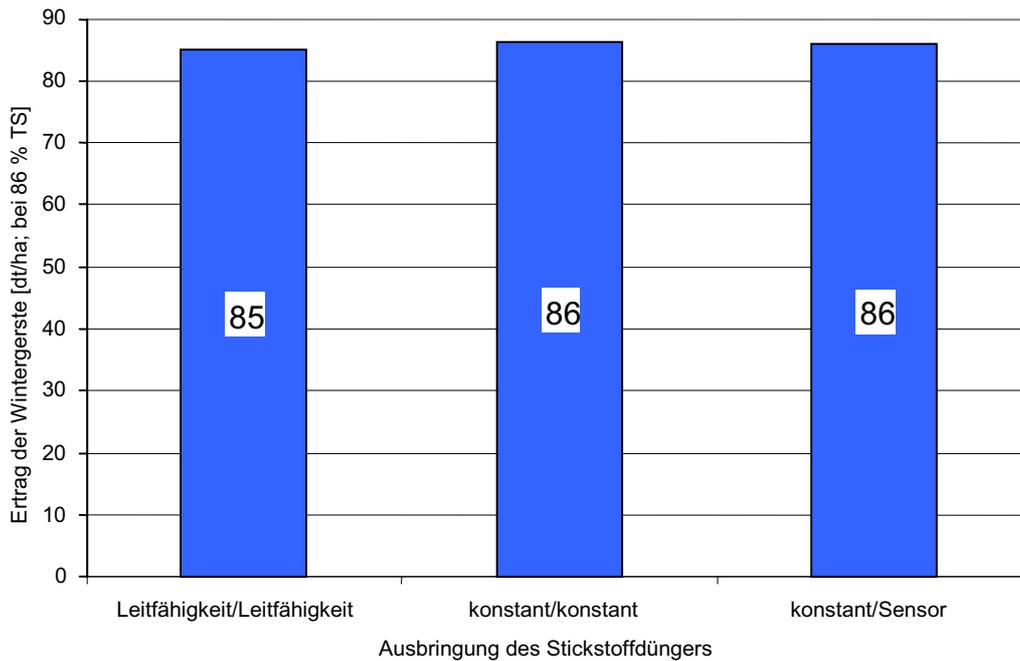


Abbildung 45: Wintergerstenerträge in Abhängigkeit von der Ausbringung des Stickstoffdüngers

Die unterschiedliche Ausbringung (konstant, nach Leitfähigkeit bzw. konstant und Sensor) führte unter Berücksichtigung der Leitfähigkeitsklassen zu keinem deutlichen Ertragsunterschied (Abbildung 45). Aus diesem einjährigen Ergebnis lassen sich allerdings noch keine Verallgemeinerungen ableiten. Unter ungünstigeren Bedingungen für die Ertragsbildung könnten diese Verhältnisse wesentlich anders aussehen. Am Beispiel der Abbildungen 46 und 47 werden die Ertragsverläufe in den Klassen am Beispiel der Prüfglieder mit Gülle (Ausbringung einheitlich bzw. nach Leitfähigkeit) dargestellt. Es ergeben sich deutliche Unterschiede. Fasst man die Erträge unabhängig von der Düngerform entsprechend der Ausbringung zusammen, so ergibt sich der in Abbildung 48 dargestellte Ertragsverlauf. Bei einheitlicher Düngung nahm der Ertrag mit steigender Leitfähigkeit zu. Gleiches findet sich auch dort, wo die zweite N-Gabe nach den Regelfunktionen des N-Sensors ausgebracht wurde. Bei Bemessung nach Leitfähigkeit kehren sich die Verhältnisse eher um.

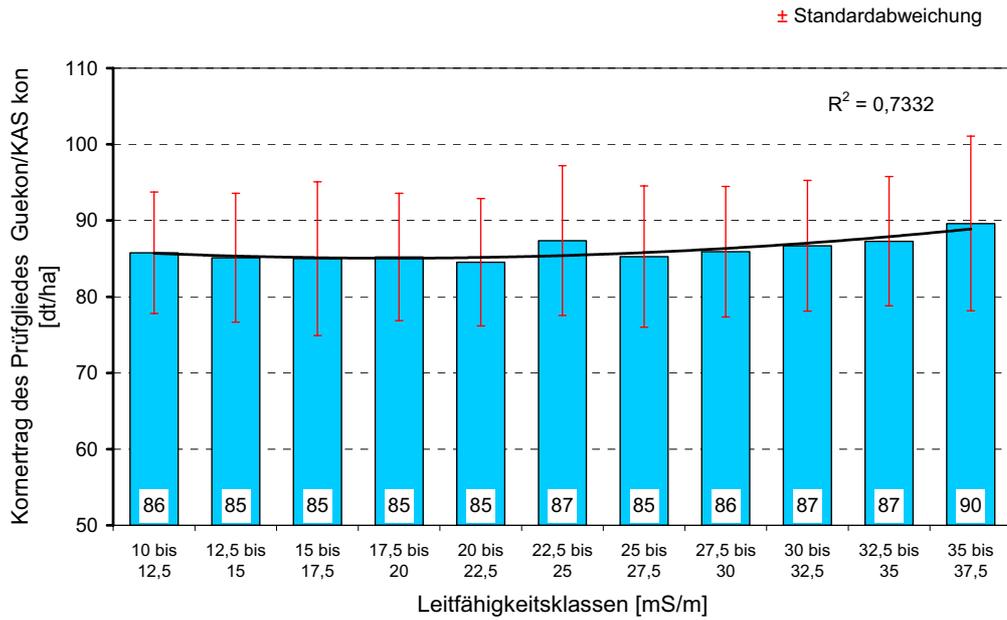


Abbildung 46: Korntrag der Wintergerste innerhalb der einzelnen Leitfähigkeitsklassen im Prüfgebiet Guekon/KASkon

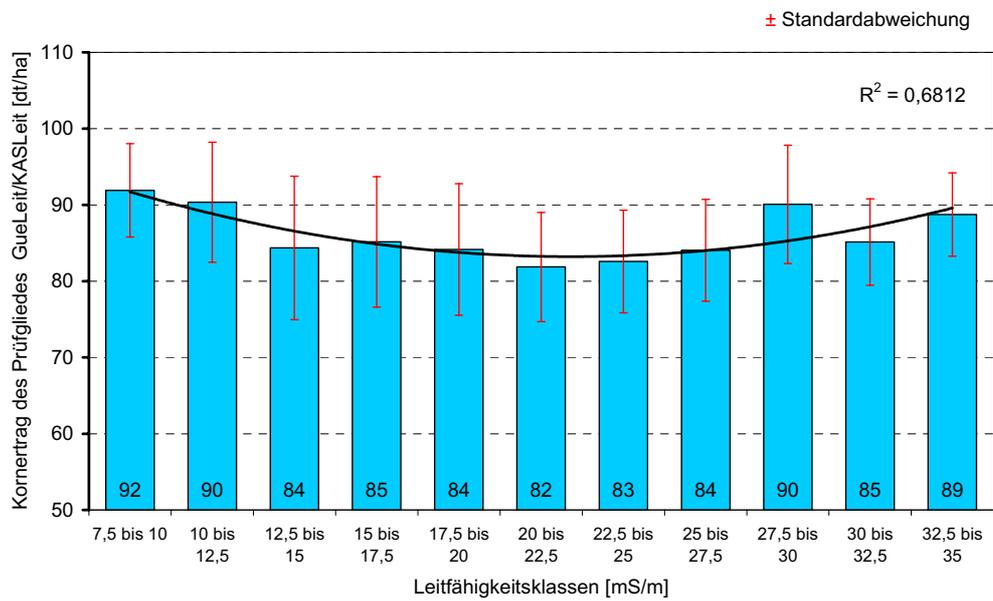


Abbildung 47: Korntrag der Wintergerste innerhalb der einzelnen Leitfähigkeitsklassen im Prüfgebiet GueLeit/KASLeit

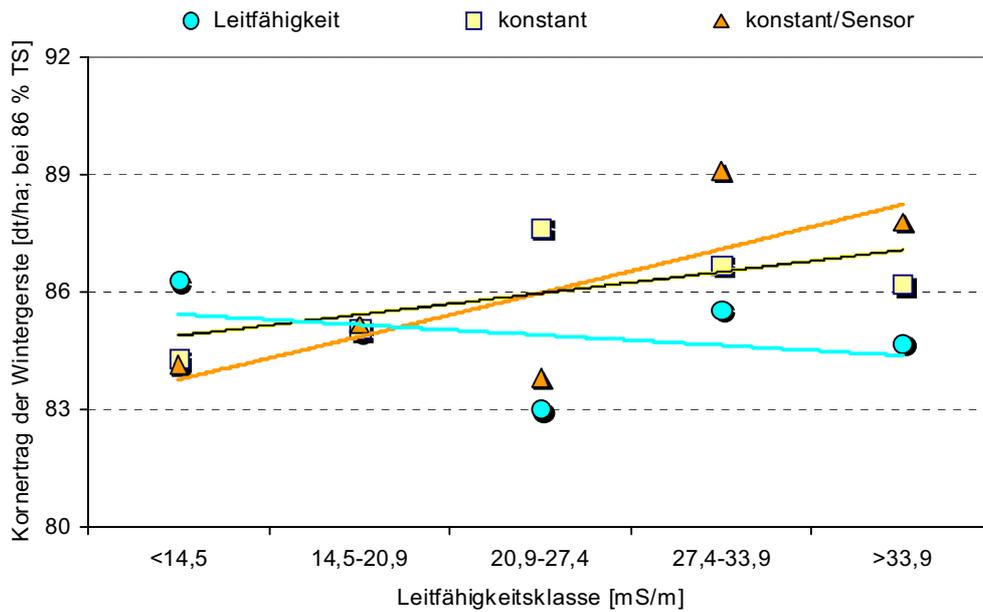


Abbildung 48: Wintergerstenertrag in Abhängigkeit von der Ausbringung des N-Düngers (Gülle- bzw. KAS-N) in den Leitfähigkeitsklassen des Bodens

3.2.4.2 Winterraps

Auch beim Winterraps zeigt sich innerhalb des Gesamtschlages eine beachtliche Ertragspanne (Abbildung 49), die zwischen 20,1 bis 57,3 dt/ha lag. Im Mittel der Prüfglieder wurden 39,3 dt/ha (bei 91 % TS) Raps geerntet.

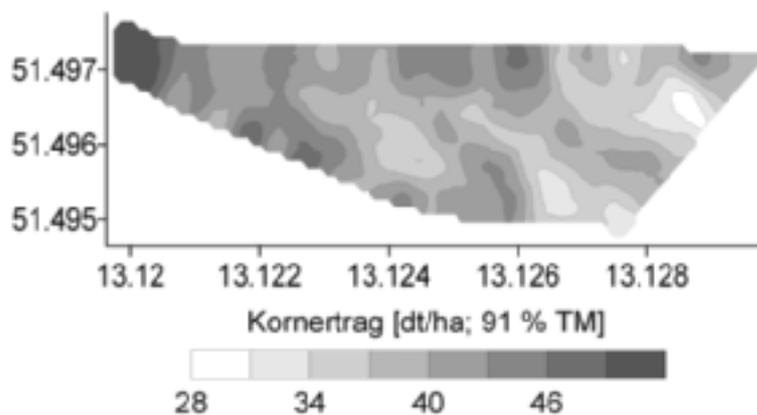
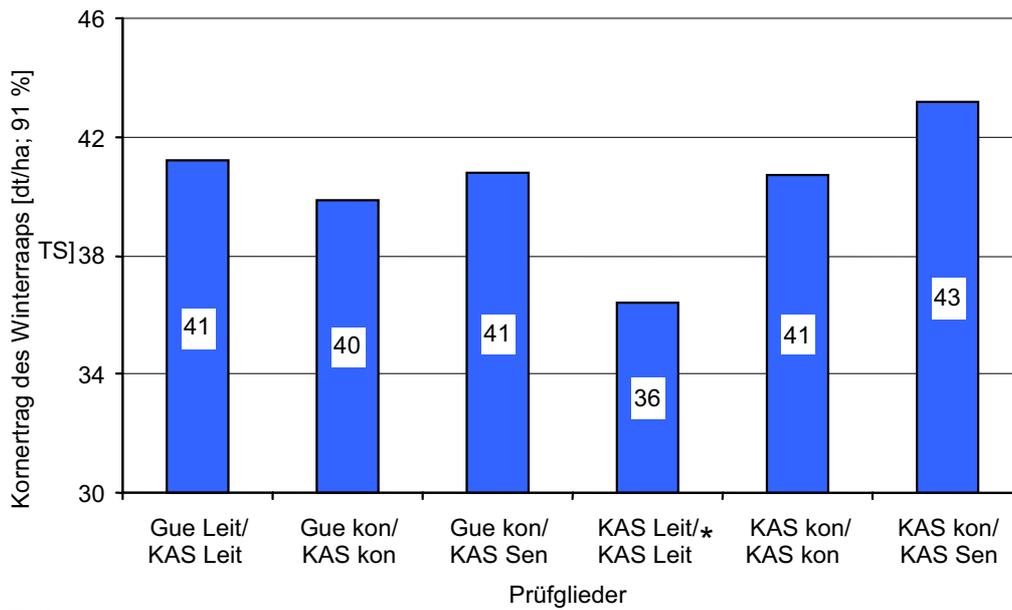


Abbildung 49: Ertragskarte vom Winterraps auf dem Schlag „Am Park“ im Jahr 2004



* Teilfläche mit starkem Wildschaden

Abbildung 50: Ertrag des Winterraps in den einzelnen Prüfgliedern (Mittelwert aus den mittleren Erträgen in den Leitfähigkeitsklassen)

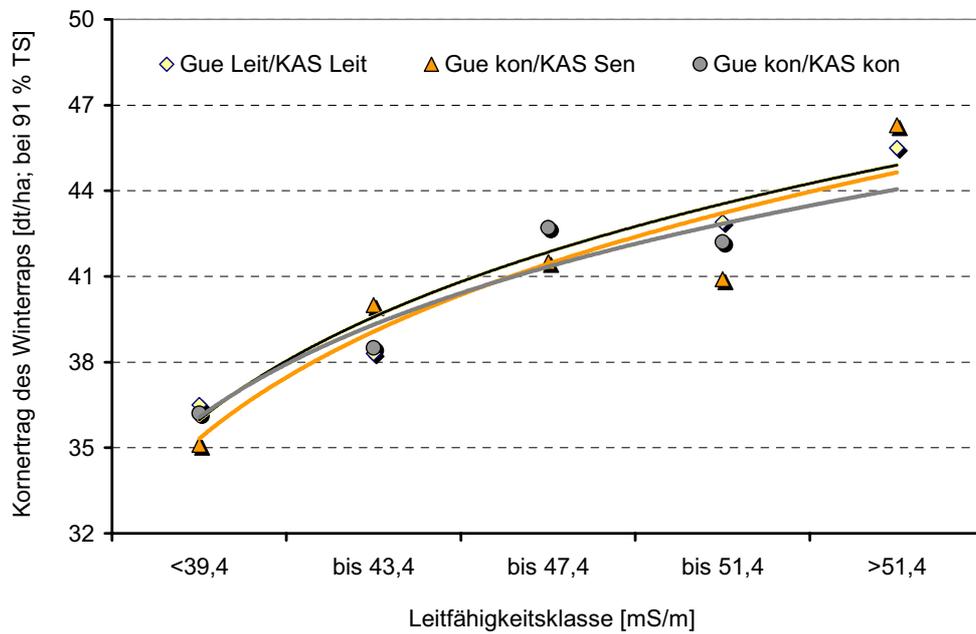


Abbildung 51: Korntrag des Winterraps in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens bei unterschiedlicher Verteilung der N-Düngung

Die in Abbildung 50 dargestellten Erträge sind wiederum Mittelwerte der in den Prüfgliedern vorhandenen Leitfähigkeitsklassen. Der zu Vegetationsbeginn eingesetzte Gülle-N stand in seiner Wirkung dem eingesetzten mineralischen N-Dünger in nichts nach.

Deutlicher als bei der Wintergerste zeigt sich beim Raps ein Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit des Bodens und dem erzielten Ertrag (Abbildung 51). Die unterschiedliche Verteilung des Stickstoffs hatte keine sichtbaren Auswirkungen auf den Kornерtrag. Daran änderte auch die Differenzierung in der zweiten N-Gabe bei Düngung nach Sensor bzw. nach Leitfähigkeit nichts. Der Unterschied in der Aufwandsmenge betrug hier immerhin rund 30 kg N/ha (Abbildung 52).

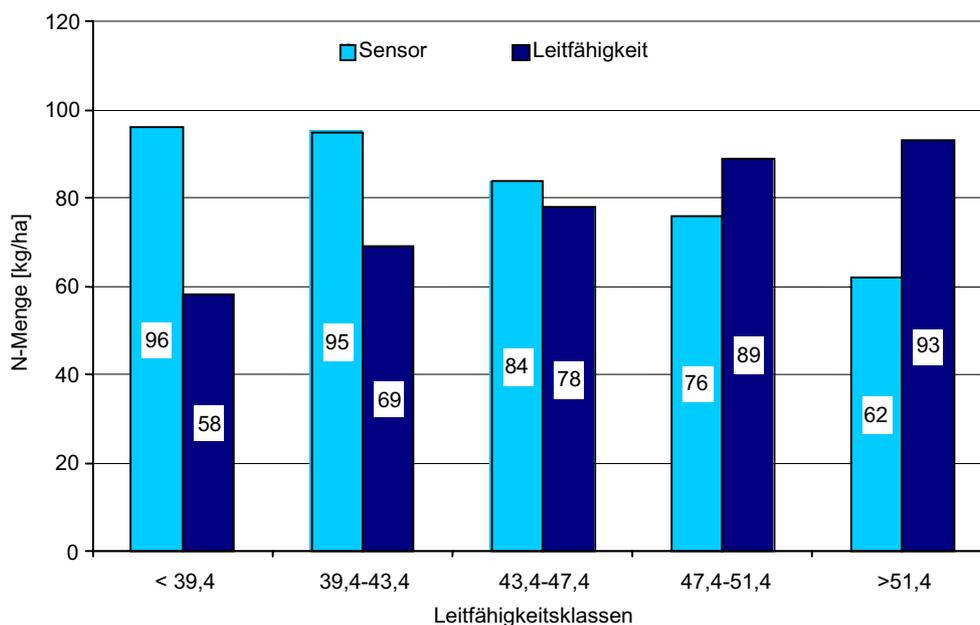


Abbildung 52: Ausgebrachte N-Menge in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit zur zweiten N-Gabe bei Verteilung mittels Sensor bzw. Leitfähigkeit

3.2.5 N_{\min} nach der Ernte der Wintergerste und des Winterraps

Nach der Ernte erfolgte die Beprobung zur Ermittlung des Rest- N_{\min} prüfgliedweise. Entnommen wurden neben repräsentativen Prüfgliedproben nach der Gerste zusätzlich Flächenanteile mit hoher bzw. niedriger Leitfähigkeit.

Nach der Wintergerste finden sich insgesamt nur niedrige Rest- N_{\min} -Werte (Abbildung 53). Die Differenzierung in den Beträgen zwischen den jeweiligen Prüfgliedern ist nicht durch die Düngung bedingt. Festzuhalten bleibt insbesondere die gute Ausnutzung des Güllestickstoffs. Die Abweichungen dürften in erster Linie auf die bei der Probenahme nicht beachteten Bodenunterschiede

zurückzuführen sein. Die getrennte Beprobung entsprechend der Leitfähigkeit (niedrige bzw. hohe Leitfähigkeit) verdeutlicht dies sehr anschaulich (Abbildung 54). Die nach der Ernte 2004 angetroffenen Verhältnisse können sich durchaus umkehren, wenn das Ertragniveau aufgrund unzureichender Wasserversorgung beeinträchtigt wird.

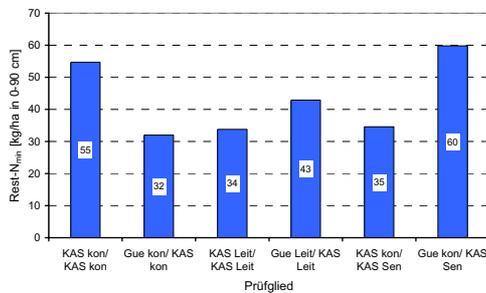


Abbildung 53: N_{min} nach der Ernte der Wintergerste im Mittel der Prüfglieder

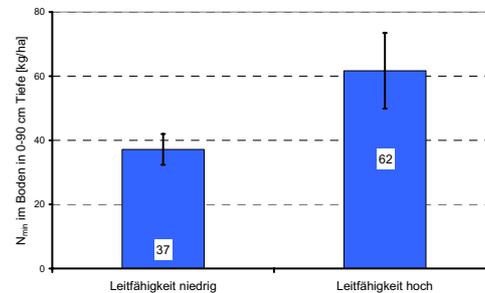


Abbildung 54: N_{min} nach der Ernte der Wintergerste in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit

Nach dem Winterraps zeigen sich im Hinblick auf den Rest-N_{min} deutliche Parallelen zu den Ergebnissen bei der Wintergerste (Abbildung 55 und 56). Auffallend ist allerdings, dass nach dem Raps ausgesprochen niedrige Gehalte vorlagen. Für den Standort eher eine Ausnahme und im Wesentlichen vom erzielten Ertragsniveau und dem moderaten Stickstoffeinsatz bedingt.

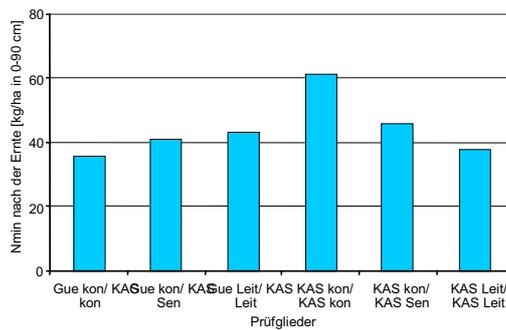


Abbildung 55: N_{min} nach der Ernte des Winterraps im Mittel der Prüfglieder

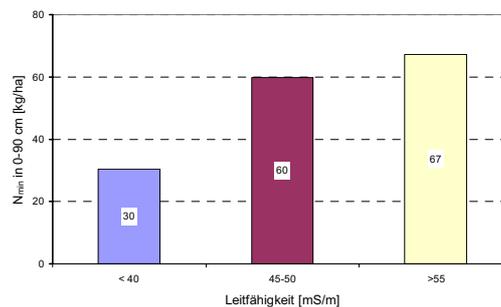


Abbildung 56: N_{min} nach der Ernte des Winterraps in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit

3.3 Fazit

Die Erhöhung der Effektivität des Nährstoffeinsatzes und die damit verbundene Entlastung der Umwelt sind auch zukünftig ein wichtiges Ziel. Von besonderer Relevanz ist dies bei der Anwendung von Gülle. Durch den hohen Anteil an löslichem Stickstoff kommt sie in ihrer Wirkung den mineralischen N-Düngern sehr nahe. Das spricht für den Einsatz zu Beginn der Vegetation bei allen Fruchtarten, die zu diesem Zeitpunkt den ausgebrachten Stickstoff zügig verwerten können. Sollen

zudem größere N-Mengen dieses organischen Düngers die Pflanzenernährung absichern, stellt sich die Frage, ob durch eine teilschlagspezifische Ausbringung den Bedürfnissen der Bestandesführung sowie den Anforderungen der Umwelt besser Rechnung getragen wird.

Die Anwendung von flüssigen organischen Düngern in wachsende Pflanzenbestände wird oft kritisch gesehen. Negative Folgen können Bodenverdichtung und Förderung von Zwiewuchs im Bereich der Fahrspuren sein. Durch Nutzung der Breitreifentechnik sowie Arbeitsbreiten, die dem vorhandenen Fahrgassenprinzip entsprechen, kann dem entgegengewirkt werden. Da im zeitigen Frühjahr die Befahrbarkeit der wassergesättigten Böden häufig zeitlich sehr begrenzt ist, bedarf es für diesen Einsatz eine schlagkräftige Ausrüstung und stellt erhöhte Anforderungen an das betriebliche Management.

Die vorgestellten einjährigen Untersuchungen hatten das Ziel, die Machbarkeit einer teilschlagspezifischen Gülleapplikation zu demonstrieren. Als Kriterium für eine differenzierte Ausbringung wurde die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens gewählt. Sie steht in enger Beziehung zum Ton- und Schluffgehalt des Bodens. Der Feinbodenanteil wiederum beeinflusst entscheidend die Wasser- und Nährstoffdynamik.

Die Beprobung getrennt nach Leitfähigkeit erbrachte zu Vegetationsbeginn gerichtet Unterschiede im N_{\min} -Gehalt in 0 bis 100 cm Bodentiefe. Hohe Leitfähigkeit war auf beiden untersuchten Schlägen mit den höheren N_{\min} -Werten verbunden und umgekehrt. Die ermittelten Abweichungen betragen unter der Wintergerste 60 kg/ha und unter dem Raps immerhin noch 45 kg/ha. Insbesondere bei der Gerste entspricht dies bereits einer häufig empfohlenen mittleren ersten N-Gabe.

Auf die Differenzierung im N_{\min} wurde bei der teilschlagspezifischen Bemessung so reagiert, dass im Bereich hoher Leitfähigkeit die Stickstoff- bzw. Güllemenge reduziert und bei niedriger Leitfähigkeit entsprechend erhöht wurde. Dass diese Vorgehensweise gerechtfertigt war, zeigten die während der Ausbringung der ersten N-Gabe mit dem N-Sensor gemessenen Bioindexwerte. Insbesondere beim Winterraps, der vor dem Winter bereits eine größere Substanzbildung und N-Aufnahme realisierte, bestand eine gute Beziehung zur Leitfähigkeit.

Nach der verhaltenen Jugendentwicklung realisierte den Wintergerste mit > 80 dt/ha noch ein beachtliches Ertragsniveau. Dabei erzielten die Prüfglieder mit Gülle-N zur ersten N-Gabe im Mittel einen Mehrertrag von etwa 4 dt/ha. Die teilschlagsbezogene Bemessung brachte im Vergleich zur einheitlichen Ausbringung unter den spezifischen Jahresbedingungen keinen Ertragsvorteil.

Der N_{\min} nach der Ernte lag im Bereich von 30 bis 60 kg/ha in 0 bis 90 cm Tiefe und war unabhängig von der Düngung. Auffallend war allerdings wiederum die gerichtete Differenzierung in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit.

Der Einsatz von Gülle-N zur ersten N-Gabe erbrachte beim Winterraps den gleichen Ertrag wie die ausschließliche Mineraldüngung. Deutlicher als bei der Gerste sind die Ertragsunterschiede in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens. Unabhängig von den jeweiligen Prüfgliedern wurde auf den Teilflächen mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit ein mittlerer Ertrag von etwa 36 dt/ha und bei hoher von etwa 46 dt/ha erzielt.

Eine dem Ertragsniveau angemessene N-Düngung führte auch nach dem Winterraps zu keinen überhöhten Rest-N_{min}-Werten. Auch hier zeigt sich eine Differenzierung in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit.

Sowohl die elektrische Leitfähigkeit als auch der Biomasseindex – bei gut entwickelten Winterungen – bieten sich als Bemessungsgrundlage für eine differenzierte teilschlagbezogene erste N-Gabe zu Vegetationsbeginn an. Der Vorteil im Hinblick auf die Verringerung von N-Austrägen sollte in Jahren mit niedrigeren Erträgen bzw. bei höherem N-Einsatz deutlicher werden. In jedem Fall besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

4 Zeitlich differenzierter Gülleinsatz zu Winterweizen und Winterraps

4.1 Material und Methoden

Die Untersuchungen zur zeitlich differenzierten Ausbringung von Gülle zu Weizen (vier Versuche) und Raps (zwei Versuche) erfolgten in den Jahren 2003 und 2004. Im ersten Jahr standen dafür zwei Schläge mit Winterweizen ab Vegetationsbeginn zur Verfügung, so dass hier nur der Vergleich verschiedener Ausbringungstermine im Frühjahr möglich war. Im darauf folgenden Jahr wurden zusätzlich Prüfglieder mit einer Güllegabe im Herbst angelegt. Während in den meisten Betrieben die Ausbringung vor der Saatbettbereitung erfolgt, kam die Gülle hier erst Ende September (Raps) bzw. Ende Oktober/Anfang November (Weizen) aufs Feld.

Angaben zur Versuchsdurchführung, Standort und Düngungsvarianten finden sich in den Tabellen 17 bis 24. Bei der Versuchsanlage handelte es sich jeweils um ein Lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen. Die Parzellengröße betrug jeweils 20 m². Die Ausbringung der Gülle erfolgte mit der Gießkanne gleichmäßig zwischen den Pflanzenreihen. Geerntet wurde mit einem Parzellenmähdrescher.

Tabelle 17: Zeitlich differenzierter Gülleinsatz zu Winterweizen; Angaben zu den Versuchsstandorten und der Versuchsdurchführung

Versuchsjahr 2002/2003		
Standort	Köllitsch	Gollmenz
NStE	AI 3	D 4
Bodenart	sandiger Lehm	stark lehmiger Sand
Sorte	Ludwig	Kontrast
Aussaat am	09.10.2002	04.10.2002
Saatstärke	400 Körner /m ²	330 Körner /m ²
Saatbett	Pflug und Kreiselegge	Pflug und Kreiselegge
Σ Niederschlag (mm)	August bis Juli 546,7 März bis Juli 65,9	August bis Juli 501,3 März bis Juli 92,3
Versuchsjahr 2003/2004		
Standort	Köllitsch	Brinnis
NStE	AI 3	D 2
Bodenart	sandiger Lehm	anlehmiger Sand
Sorte	Ludwig	Kontrast
Aussaat am	06.10.2002	27.09.2003
Saatstärke	380 Körner /m ²	320 Körner /m ²
Saatbett	Pflug und Kreiselegge	Pflug und Kreiselegge
Σ Niederschlag August 03 bis Juli 04	August bis Juli 456,0 März bis Juli 264,4	August bis Juli 464,0 März bis Juli 257,4

Tabelle 18: Zeitlich differenzierter Gülleinsatz zu Winterraps; Angaben zu den Versuchsstandorten und der Versuchsdurchführung

Versuchsjahr 2003/2004		
Standort	Köllitsch	Luckowehna
NStE	AI 3	D 4
Bodenart	sandiger Lehm	stark lehmiger Sand
Sorte	Smart	Laser
Aussaat am	20.08.2003	21.08.2003
Saatstärke	80 Körner /m ²	70 Körner /m ²
Saatbett	Scheibenegge	Pflug und Kreiselegge

Tabelle 19: Varianten und N-Mengen im Versuch mit Frühjahrsgülle zu Winterweizen in Gollmenz 2003

Prüf-glied	Varianten			N-Mengen			N-Summe*
	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	1. N-Gabe 03.04.03	2. N-Gabe 06.05.03	3. N-Gabe 27.05.03	
1	ohne	ohne	ohne	0	0	0	0
2	KAS	KAS	KAS	50	20	30	100
3	Gülle	KAS	KAS	168 ⁱ /100 ⁱⁱ	40	30	170
4	Gülle+DMPP	KAS	ohne	168 ⁱ /100 ⁱⁱ	40	0	140
5	KAS	Gülle	KAS	50	153 ⁱ /84 ⁱⁱ	30	164
6	Gülle	Gülle	KAS	168 ⁱ /100 ⁱⁱ	153 ⁱ /84 ⁱⁱ	30	214
7	Gülle+DMPP	Gülle	ohne	168 ⁱ /100 ⁱⁱ	153 ⁱ /84 ⁱⁱ	0	184
8	ohne	Gülle	ohne	0	153 ⁱ /84 ⁱⁱ	0	84

* es wurde nur der lösliche NH₄-Anteil aus der Gülle einbezogen

ⁱ N; ⁱⁱ NH₄-N

Tabelle 20: Varianten und N-Mengen im Versuch mit Frühjahrsgülle zu Winterweizen in Köllitsch 2003

Prüf-glied	Varianten			N-Mengen			N-Summe*
	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	1. N-Gabe 01.04.03	2. N-Gabe 05.05.03	3. N-Gabe 27.05.03	
1	ohne	ohne	ohne	0	0	0	0
2	KAS	KAS	KAS	50	40	30	120
3	Gülle	KAS	KAS	166 ⁱ /90 ⁱⁱ	70	30	190
4	Gülle+DMPP	KAS	ohne	166 ⁱ /90 ⁱⁱ	70	0	160
5	KAS	Gülle	KAS	50	112 ⁱ /60 ⁱⁱ	30	140
6	Gülle	Gülle	KAS	166 ⁱ /90 ⁱⁱ	112 ⁱ /60 ⁱⁱ	30	180
7	Gülle+DMPP	Gülle	ohne	166 ⁱ /90 ⁱⁱ	112 ⁱ /60 ⁱⁱ	0	150

* von der Gülle wurde nur der lösliche NH₄-Anteil einbezogen

ⁱ N; ⁱⁱ NH₄-N

Tabelle 21: Varianten und N-Mengen im Versuch zur zeitlich differenzierten Gülleausbringung zu Winterweizen in Brinnis 2003/2004

Prüfglied	Herbst 23.10.03	N-Menge kg/ha	1. Gabe 19.03.04	N-Menge kg/ha	2. Gabe 22.04.04	N-Menge kg/ha	3. Gabe 18.05.04	N-Menge kg/ha	N-Summe* kg/ha
1	ohne		ohne	0	ohne	0	ohne	0	0
2	ohne		KAS	60	KAS	60	KAS	30	150
3	Gülle	100/62 ⁱⁱ	KAS	30	KAS	40	ohne	0	132
4	Gülle	100 /62	Gülle	72/42	KAS	60	KAS	30	194
5	Gülle ⁺	100 /62	Gülle ⁺	72/42	KAS	60	ohne	0	164
6	ohne		KAS	60	Gülle	64/32	KAS	30	102
7	ohne		Gülle	144/84	Gülle	96/48	KAS	30	162
8	ohne		Gülle	144/84	Gülle	96/48	ohne	0	132

* vom Gülle-N wurde nur der lösliche $\text{NH}_4\text{-N}$ einbezogen

i Nt; ii $\text{NH}_4\text{-N}$; + der Gülle wurde DMPP als Nitrifikationsinhibitor zugesetzt

Tabelle 22: Varianten und N-Mengen im Versuch zur zeitlich differenzierten Gülleausbringung zu Winterweizen in Brinnis 2003/2004

Prüfglied	Herbst 13.11.03	N-Menge kg/ha	1. Gabe 23.03.04	N-Menge kg/ha	2. Gabe 22.04.04	N-Menge kg/ha	3. Gabe 18.05.04	N-Menge kg/ha	N-Summe* kg/ha
1	ohne		ohne	0	ohne	0	ohne	0	0
2	ohne		KAS	30	KAS	60	ohne	0	90
3	Gülle	70/40 ⁱⁱ	KAS	0	KAS	60	ohne	0	100
4	Gülle	70 /40	Gülle	0	KAS	60	ohne	0	100
5	Gülle ⁺	70 /40	Gülle ⁺	0	KAS	60	ohne	0	100
6	ohne		KAS	30	Gülle	85/40	ohne	0	70
7	ohne		Gülle	72/42	Gülle	85/40	ohne	0	82
8	ohne		Gülle	72/42	Gülle	85/40	ohne	0	82

* vom Gülle-N wurde nur der lösliche $\text{NH}_4\text{-N}$ einbezogen

i Nt; ii $\text{NH}_4\text{-N}$; + der Gülle wurde DMPP als Nitrifikationsinhibitor zugesetzt

Tabelle 23: Varianten und N-Mengen (kg N/ha) im Versuch zum differenzierten Gülleinsatz zu Winterraps in Luckowehna 2003/2004

Prüfglied	Herbst (25.09.2003)		1. N-Gabe (22.03.2004)		2. N-Gabe (15.04.2004)		N-Summe*
	N-Form	N-Menge	N-Form	N-Menge	N-Form	N-Menge	
1	ohne	0	ohne	0	ohne	0	0
2	ohne	0	KAS	90	KAS	90	180
3	Gülle	68 ⁱ / 38 ⁱⁱ	KAS	80	KAS	60	178
4	Gülle	68 / 38	Gülle	144 / 84	KAS	60	182
5	Gülle +	68 / 38	Gülle +	144 / 84	Entec	60	182
6	ohne	0	KAS	90	Entec	90	180
7	ohne	0	Gülle	180/105	KAS	60	165
8	ohne	0	Gülle +	180/105	Entec	60	165

* von der Gülle wurde nur der lösliche NH₄-Anteil einbezogen
ⁱ N_i ⁱⁱ NH₄-N; bei * wurde der Gülle DMPP zur Hemmung der Nitrifikation zugesetzt

Tabelle 24: Varianten und verabreichte N-Mengen (kg N/ha) im Versuch zum differenzierten Gülleinsatz zu Winterraps in Köllitsch 2003/2004

Prüfglied	Herbst (23.09.2003)		1. N-Gabe (23.03.2004)		2. N-Gabe (15.04.2004)		N-Summe*
	N-Form	N-Menge	N-Form	N-Menge	N-Form	N-Menge	
1	ohne	0	ohne	0	ohne	0	0
2	ohne	0	KAS	90	KAS	90	180
3	Gülle	66 ⁱ / 33 ⁱⁱ	KAS	80	KAS	60	178
4	Gülle	66 / 33	Gülle	144 / 84	KAS	60	182
5	Gülle +	66 / 33	Gülle +	144 / 84	Entec	60	182
6	ohne	0	KAS	90	Entec	90	180
7	ohne	0	Gülle	180/105	KAS	60	165
8	ohne	0	Gülle +	180/105	Entec	60	165

* von der Gülle wurde nur der lösliche NH₄-Anteil einbezogen
ⁱ N_i ⁱⁱ NH₄-N; bei * wurde der Gülle DMPP zur Hemmung der Nitrifikation zugesetzt

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Winterweizen im Versuchsjahr 2003

Das erste Versuchsjahr war durch eine extreme Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit (vgl. Tabelle 17) gekennzeichnet. Bis zum Schossen entwickelte sich auf beiden Standorten ein guter Pflanzenbestand, der auch bei alleiniger N-Ernährung durch Güllestickstoff nicht benachteiligt war. Insbesondere auf dem sandigen Lehm in Köllitsch kam es bereits zum Ährenschieben zu deutlichem Trockenstress. Hier fiel am Ende der Ertrag besonders niedrig aus (Tabelle 25). Ursache war der

im Unterboden ab etwa 50 bis 60 cm Tiefe anstehende steinige Sand, der sowohl wenig Wasser speichert als auch das Vordringen der Wurzeln in größere Bodentiefen beeinträchtigt. Nach der Ernte war der Boden derart trocken, dass eine Probenahme bis in 60 cm Tiefe nur mit größter Mühe erfolgen konnte. Beim Ertrag zeigten sich letztendlich keine Düngungseffekte.

Die Folge von derart drastischen Ertragseinbußen sind große N_{\min} -Überhänge. Die nach der Ernte ermittelten Werte lassen auf beiden Standorten zumindest keine Unterschiede zwischen den Prüfgliedern mit mineralischer und organischer Düngung erkennen (Abbildungen 57 und 58). Die höchsten Werte finden sich jeweils in den Prüfgliedern mit einer dritten N-Gabe, die unter den trockenen Bedingungen nicht zur Wirkung kamen.

Interessant ist in jedem Fall die ungedüngte Variante in Gollmenz. Bei einem N-Entzug von etwa 100 kg/ha durch Korn und Stroh zeigt sich, dass der N_{\min} in der Ackerkrume in der Zeit von Vegetationsbeginn bis nach der Ernte nahezu konstant blieb. Da die für die N-Nachlieferung bedeutsame Bodenschicht (0 bis 15 cm) mit den ansteigenden Temperaturen zügig austrocknete, war die Mineralisation unbedeutend. Bilanziert man die aufgenommene N-Menge, so müssen etwa 50 bis 60 kg N/ha aus der Bodentiefe unterhalb von 90 cm aufgenommen worden sein.

Tabelle 25: Erträge und Rohproteingehalte von Winterweizen bei zeitlich differenziertem Gülleinsatz im Versuchsjahr 2003

Prüfglied	stark lehmiger Sand		sandiger Lehm	
	Kornertrag dt/ha; 86% TM	Rohprotein % in der TM	Kornertrag dt/ha; 86% TM	Rohprotein % in der TM
1 (ohne N)	32,8	13,1	15,8	11,1
2 (KAS/KAS/KAS)	36,5	15,3	16,8	17,3
3 (Gü/KAS/KAS)	36,2	14,9	19,2	16,8
4 (Gü+DMPP/KAS)	39,4	14,6	18,3	14,8
5 (KAS/Gü/KAS)	37,6	14,9	18,3	16,6
6 (Gü/Gü/KAS)	36,5	15,0	21,4	14,2
7 (Gü+DMPP/Gü)	38,5	14,9	20,1	12,4
8 (ohne/Gü/ohne)	36,6	14,1	-	-

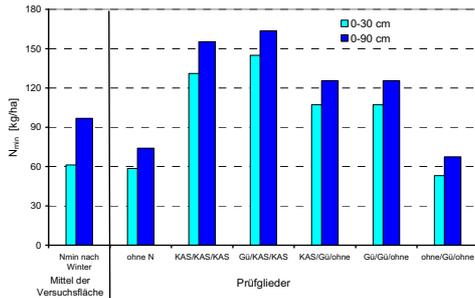


Abbildung 57: N_{min} unter Weizen, Ausgangswert zu Vegetationsbeginn und ausgewählte Prüfglieder nach der Ernte im Sommer 2003 auf dem stark lehmigen Sand

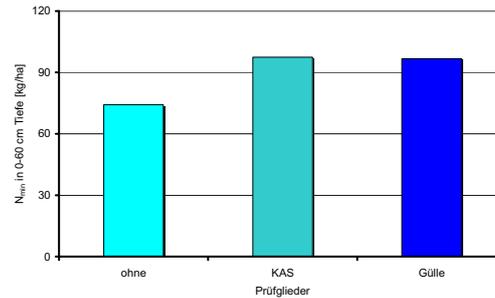


Abbildung 58: N_{min} unter Weizen von ausgewählten Prüfgliedern nach der Ernte im Sommer 2003 auf dem sandigen Lehm

4.2.2 Winterweizen im Versuchsjahr 2003/2004

Aufgrund der auf beiden Standorten in Folge der Trockenheit vorhandenen N-Überhänge, ergaben sich durch die zusätzlichen Herbstgüllegaben vor Winter N_{min}-Beträge von über 200 kg/ha. Auf dem Sand ist davon aus der untersuchten Bodenschicht etwa die Hälfte ausgetragen. Besonders betroffen war davon der verbliebene Reststickstoff. Der Anfang November ausgebrachte Gülle-N wurde vermutlich nur langsam nitrifiziert, was seine Verlagerung verzögerte. Die Prüfglieder mit und ohne Herbstgülle (Abbildung 59) unterscheiden sich in etwa um die ausgebrachte lösliche N-Menge.

Während auf dem Sand ein beachtlicher Teil des im Herbst vorhandenen N-Überhangs verloren ging, erfuhr der N_{min} auf dem Lehm in der untersuchten Bodenschicht über Winter keine Veränderung (Abbildung 60). Da zu Vegetationsbeginn dem Weizen insgesamt sehr hohe Stickstoffmengen zur Verfügung standen, war hier nur noch eine verhaltene Düngung notwendig. In den Prüfgliedern mit Herbstgülle konnte sogar auf eine erste N-Gabe verzichtet werden.

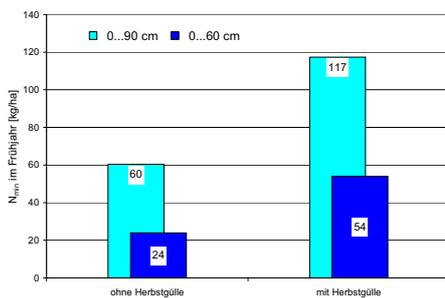


Abbildung 59: N_{min} unter Weizen zu Vegetationsbeginn auf anlehmigem Sand

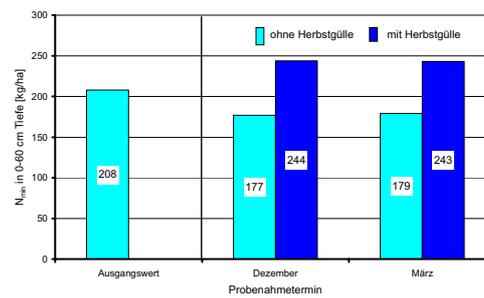


Abbildung 60: N_{min} im Boden auf sandigem Lehm vor und nach dem Winter mit und ohne Herbstgülle

Anders als im Jahr zuvor wurde ein sehr hohes Ertragsniveau realisiert. Auf dem Sandboden fällt lediglich das ungedüngte Prüfglied signifikant ab (Tabelle 26). Die dritte N-Gabe hatte hinsichtlich der Qualitätsmerkmale einen starken Einfluss (Tabelle 27). Der über Winter aus der Schicht 0 bis 90 cm ausgetragene Nitrat-N (> 100 kg/ha), der regelmäßig auf tiefgründigen Lößstandorten wie späte Stickstoffdüngung wirkt, war hier für den Weizen nicht verfügbar.

Tabelle 26: Einfluss einer zeitlich differenzierten Gülleanwendung auf den Ertrag von Winterweizen im Erntejahr 2004 auf einem Sand- und einem Lehmstandort

Prüfglied	Düngungsvarianten				lehmiger Sand		sandiger Lehm	
	Herbst	Frühjahr			N-Menge ²⁾ (kg/ha)	Kornertrag [dt/ha, 86 % TM]	N-Menge ²⁾ (kg/ha)	Kornertrag [dt/ha, 86 % TM]
		1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe ¹⁾				
1	ohne	ohne	ohne	ohne	0	43,0	0	84,9
2	ohne	KAS	KAS	KAS	150	85,3	90	90,2
3	Gülle	KAS	KAS	ohne	132	84,1	100	91,8
4	Gülle	Gülle	KAS	KAS	194	86,3	100	91,6
5	Gülle*	Gülle*	KAS	ohne	164	84,0	100	95,4
6	ohne	KAS	Gülle	KAS	122	85,7	72	96,5
7	ohne	Gülle	Gülle	KAS	150	83,8	82	98,7
8	ohne	Gülle*	Gülle	ohne	132	80,4	82	99,0
GD_{5%}					11,2		8,0	

¹⁾ bei sehr gutem N-Ernährungszustand bis zur Blüte wurde auf dem Lehm auf eine 3. N-Gabe verzichtet

²⁾ aus der eingesetzten Gülle wurde der jeweils ausgebrachte Ammoniumanteil angerechnet

* der Gülle wurde der Nitrifikationshemmer DMPP zugesetzt

Tabelle 27: Ertrag, Qualitätsmerkmale sowie der N-Entzug des Winterweizens auf dem anlehmigen Sand im Jahr 2004

Prüfglied	Kornertrag dt/ha; b. 86 % TM	Rohprotein %	Fallzahl (s)	Sedi-Wert (ml)	N-Entzug* kg/ha
ohne N	43,0	9,5	379	27	85
ohne/ KAS/KAS/KAS	85,3	12,8	448	52	226
Herbst-Gü/ KAS/KAS/ohne	84,1	11,4	443	41	195
Herbst-Gü/ Gü/KAS/KAS	86,3	13,3	474	63	239
Herbst-Gü+/ Gü+/KAS/ohne	84,0	11,8	467	45	201
ohne/ KAS/Gü/KAS	85,7	12,8	458	54	214
ohne/ Gü/Gü/KAS	83,8	12,5	423	53	220
ohne/ Gü+/Gü/ohne	80,4	11,2	450	43	186

* N-Entzug durch Korn und Stroh; + Gülle mit Nitrifikationshemmer DMPP

Auf dem sandigen Lehm hatte das hohe N-Angebot des Bodens bereits ohne Düngung einen Grundertrag von 85 dt/ha ermöglicht. Die ermittelten Erträge deuten an, dass trotz des hohen N_{\min} zu Vegetationsbeginn, eine kleine N-Menge zur Andüngung von Vorteil war. Unter diesen speziellen Standortbedingungen war damit ein N-Entzug von über 200 kg/ha verbunden (Tabelle 28).

Tabelle 28: Ertrag, Qualitätsmerkmale sowie der N-Entzug des Winterweizens auf dem sandigen Lehm im Jahr 2004

Prüfglied	Kornertrag dt/ha; b. 86% TM	Rohprotein %	Fallzahl (s)	Sedi-Wert (ml)	N-Entzug* kg/ha
ohne N	84,9	12,4	377	41	216
ohne/ KAS/KAS/ohne	90,2	15,0	418	70	283
Herbst-Gü/ ohne/KAS/ohne	91,8	15,2	417	72	281
Herbst-Gü/ ohne/KAS/ohne	91,6	14,9	423	72	281
Herbst-Gü/ ohne/KAS/ohne	95,4	15,2	422	70	296
ohne/ KAS/Gü/ohne	96,5	14,5	426	69	288
ohne/ Gü/Gü/ohne	98,7	13,7	386	63	273
ohne/ Gü/Gü/ohne	99,0	14,7	389	65	289

* N-Entzug durch Korn und Stroh; + Gülle mit Nitrifikationshemmer DMPP

In Tabelle 29 ist sowohl die Ausnutzung des mineralischen als auch des insgesamt zugeführten Stickstoff in den einzelnen Prüfgliedern für den Sandboden in Brinnis zusammengestellt. Daraus lässt sich für den Gülle-N ein entsprechendes MDÄ errechnen. Für die Beurteilung des Stickstoffs aus dem Mineraldünger wird die bei ausschließlicher KAS-Anwendung ermittelte Ausnutzung von 94 % zugrunde gelegt.

Für die Herbstgülle errechnet sich im Mittel ein MDÄ von 41 %. Überraschend ist, dass bei der Frühjahrsgülle auch nur ein Betrag von 44 erscheint. Zieht man ausschließlich den löslichen Stickstoff in diese Betrachtungen ein, ergibt sich ein anderes Bild. Bei der im Frühjahr ausgebrachten Gülle steigt dieser Wert auf 81 % und kommt damit der Wirkung des Mineraldüngers recht nahe. Während vermutlich bei der Frühjahrsgülle vorwiegend der NH_4 -N zur Ernährung der Pflanzen beigetragen hat, sollte aus der Herbstgülle ein größerer Anteil des Stickstoffs aus der organisch gebundenen Fraktion stammen.

Tabelle 29: Ausnutzung des verabreichten N durch den angebauten Winterweizen auf dem anlehmigen Sand in Brinnis

Prüfglied	N-Zufuhr kg/ha	Mehrentzug gegenüber ungedüngt kg/ha	Ausnutzung des minerali- schen N (einschl. NH₄-N der Gülle) %	Ausnutzung der gesamten N-Zufuhr %
ohne N	0	0	0	0
ohne/ KAS/KAS/KAS	150/150*	141	94	94
H-Gü/ KAS/KAS/ohne	132/170	110	83	65
H-Gü/ Gü/KAS/KAS	194/232	154	79	66
H-Gü/ Gü/KAS/ohne	164/202	116	71	57
ohne/ KAS/Gü/KAS	122/154	139	113	90
ohne/ Gü/Gü/KAS	162/270	135	83	50
ohne/ Gü/Gü/ohne	132/240	101	76	42

* einschließlich organisch gebundener N aus der Gülle

Auf dem sandigem Lehm zeigt sich, dass bei hohen N_{min}-gehalten auch die Wirksamkeit des KAS-Stickstoffs zurückgeht (Tabelle 30) und in seiner Wirkung etwa mit dem Ammonium-N aus der Herbstgülle vergleichbar ist. Im Mittel der Prüfglieder, in denen die N-Zufuhr über Frühjahrsgülle abgedeckt wurde, entspricht der Mehrentzug gegenüber „ungedüngt“ dem löslichen Ammoniumanteil.

Tabelle 30: Ausnutzung des verabreichten N durch den angebauten Winterweizen auf dem sandigen Lehm in Köllitsch

Prüfglied	N-Zufuhr kg/ha	Mehrentzug gegenüber ungedüngt kg/ha	Ausnutzung des minerali- schen N (einschl. NH₄-N der Gülle) %	Ausnutzung der gesamten N-Zufuhr %
ohne N	0	0	0	0
ohne/ KAS/KAS/ohne	90	67	74	74
Herbst-Gü/ ohne/KAS/ohne	100/130*	70	70	54
ohne/ Gü/Gü/ohne	82/157*	79	96	50

* einschließlich organisch gebundener N aus der Gülle

Nach der Ernte lagen die N_{min}-Werte auf dem Sand zwischen 40 und 80 kg/ha und auf dem Lehm zwischen 50 und 90 kg/ha (Abbildungen 61 und 62). Der Gülleeinsatz führte bis zur Ernte insgesamt zu keinen höheren N_{min}-Restmengen.

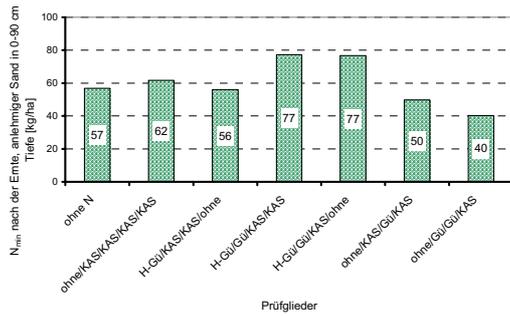


Abbildung 61: N_{min} unter Weizen nach der Ernte auf anlehmigem Sand bei differenzierter N-Düngung

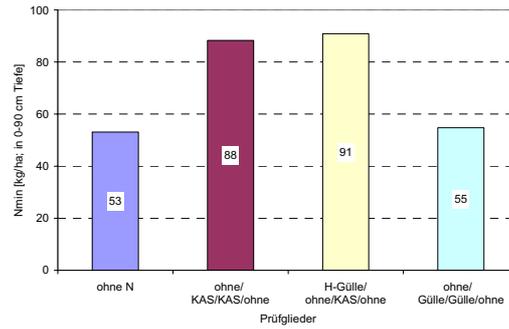


Abbildung 62: N_{min} unter Weizen nach der Ernte auf sandigem Lehm bei differenzierter N-Düngung

4.2.3 Winterraps im Versuchsjahr 2003/2004

Im Spätsommer 2003 war die Entwicklung des Winterrapses auf den einzelnen Standorten sehr unterschiedlich. Aufgrund der Trockenheit hatte die Vorfrucht (jeweils Wintergerste) ein niedriges Ertragsniveau. Das führte zu hohen Rest-N_{min}-Gehalten (Abbildungen 63 und 64), die selbst für eine optimale Vorwinterentwicklung mehr als ausreichend waren.

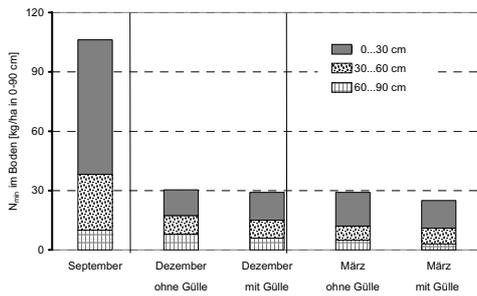


Abbildung 63: N_{min} unter Winterraps auf stark lehmigem Sand in Luckowehna

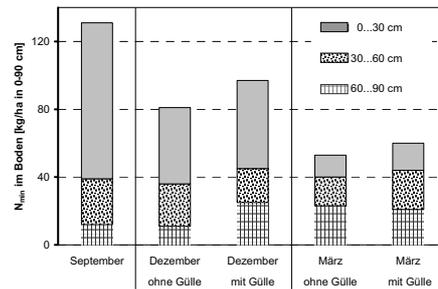


Abbildung 64: N_{min} unter Winterraps auf sandigem Lehm in Köllitsch

Unter diesen Bedingungen konnte der mit der Gülle verabreichte Ammonium-N (vgl. Tabelle 23) nur auf dem stark lehmigen Sand bei hoher Substanzbildung (Abbildung 65) aufgenommen werden. Infolge der Trockenheit lief der Raps auf dem Lehm nur zögerlich auf und entwickelte sich bis zum Winter schlecht. Die N-Aufnahme blieb sehr unvollständig. Der zusätzliche N aus der Herbstgülle hatte allerdings auf beiden Standorten keinen Einfluss auf die Trockenmassebildung.

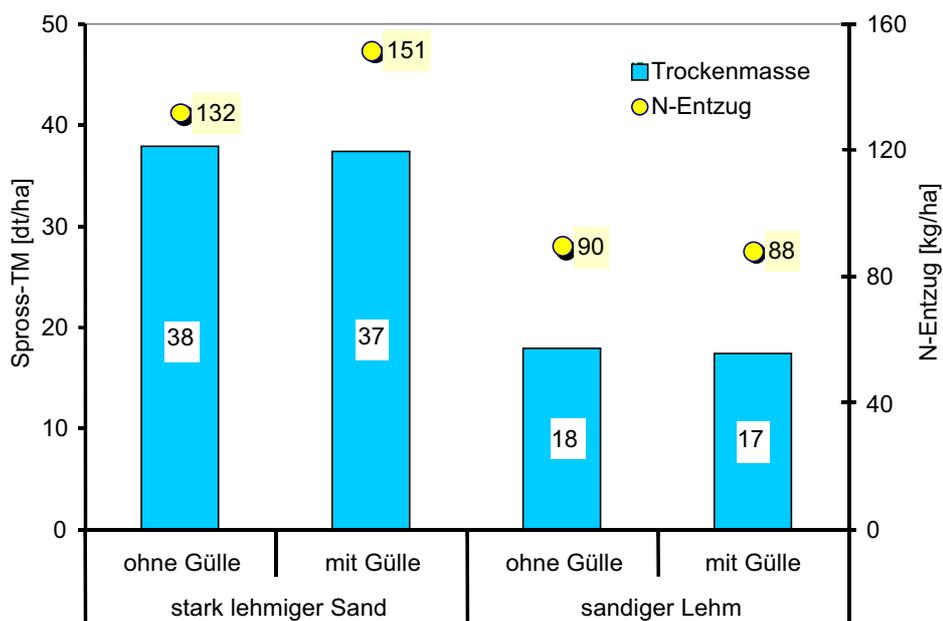


Abbildung 65: Trockenmassebildung und N-Entzug von Winterraps bis zum Ende der Vegetation 2003 auf den Versuchstandorten

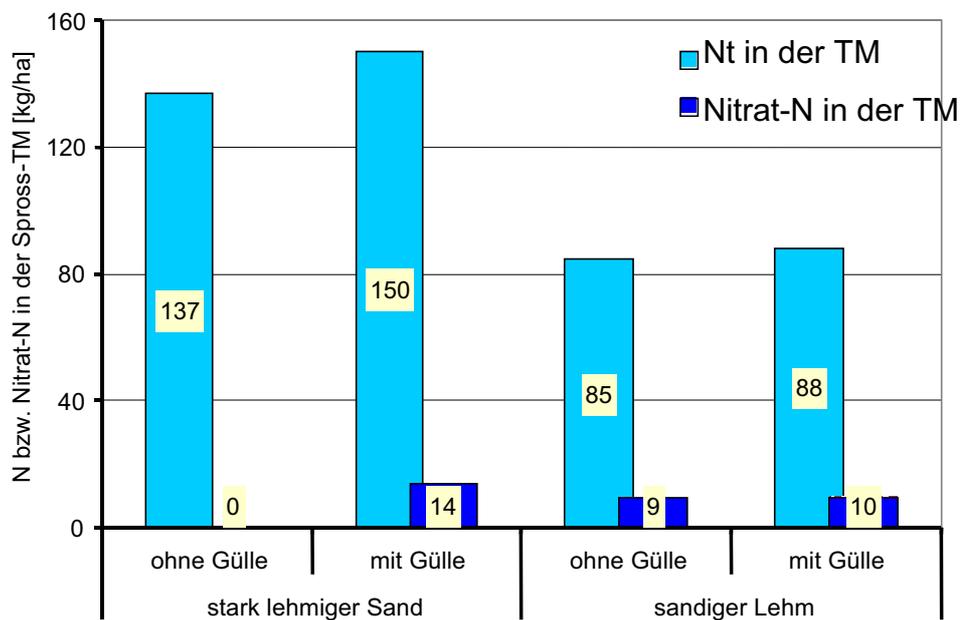


Abbildung 66: N_{ges} sowie Nitrat-N in der Spross-TM des Winterraps zu Vegetationsbeginn auf den Versuchstandorten

Die N_{\min} -Mengen im Boden sind zu Vegetationsbeginn insgesamt niedrig. Daraus lässt sich aber nicht ableiten, dass der Raps eine besonders zeitige Stickstoffdüngung beansprucht. Die im März ermittelten N-Mengen (Abbildung 66) in den Sprossen entsprechen den vor dem Winter bestimmten Werten. Mit etwa 10 % Nitratstickstoff befindet sich insbesondere nach Herbstgülle eine beachtliche N-Reserve in den Pflanzen. Das erklärt die verschiedentlich in anderen Versuchsreihen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft gemachte Beobachtung, dass für die Andüngung im Frühjahr auch beim Raps ein deutlich größerer Spielraum besteht. Ein niedriger N_{\min} im Boden ist nicht automatisch mit einem erhöhten zeitigen N-Bedarf verbunden.

Tabelle 31: Einfluss einer zeitlich differenzierten Gülleanwendung auf den Ertrag von Wintereraps im Jahr 2004 auf einem Sand- und einem Lehmstandort

Prüf-glied	Düngungsvarianten			stark lehmiger Sand			sandiger Lehm		
	Herbst	Frühjahr		N-Menge ¹⁾ kg/ha	Kornertrag dt/ha b. 91 %	Rohfett %	N-Men-ge ¹⁾ kg/ha	Kornertrag dt/ha b. 91 %	Rohfett %
		1. N-Gabe	2. N-Gabe						
1	ohne	ohne	ohne	0	49,7	46,8	0	45,6	43,9
2	ohne	KAS	KAS	180	62,6	44,9	160	55,9	42,2
3	Gülle	KAS	KAS	178	58,7	44,4	185	55,2	42,3
4	Gülle	Gülle	KAS	182	54,9	44,4	179	54,4	41,9
5	Gülle*	Gülle*	Entec	182	56,6	43,8	179	53,0	42,7
6	ohne	KAS	Entec	180	62,3	44,4	160	54,5	41,5
7	ohne	Gülle	KAS	165	59,1	45,1	165	55,2	41,5
8	ohne	Gülle*	Entec	165	59,7	45,2	165	55,1	42,2
GD 5 %					7,8			7,0	

¹⁾ aus der eingesetzten Gülle wurde der jeweils ausgebrachte Ammoniumanteil angerechnet

* Gülle mit Nitrifikationshemmer

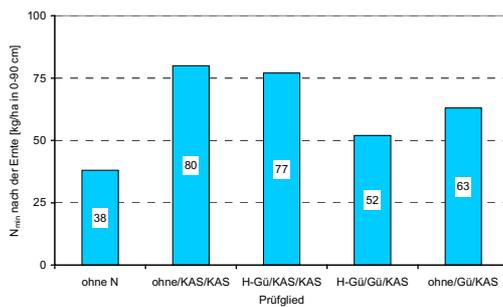


Abbildung 67: N_{\min} nach der Ernte des Wintereraps auf stark lehmigem Sand

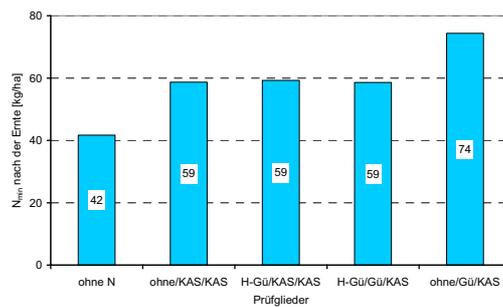


Abbildung 68: N_{\min} nach der Ernte des Wintereraps auf sandigem Lehm

Die große N-Hinterlassenschaft der Vorfrucht hat dazu geführt, dass selbst bei unterlassener Düngung bereits beachtliche Rapskornerträge erzielt wurden. Die Herbstanwendung der Gülle hatte auf beiden Standorten keine Nitrat auswaschung zur Folge, brachte allerdings auch keinen Ertragsvor-

teil. Die vollständige Abdeckung der ersten N-Gabe im Frühjahr durch Gülle-N war der ausschließlichen Mineraldüngung gleichwertig. Der Rohfettgehalt lag auf beiden Standorten deutlich über 40 %. Die Gülledüngung hatte keinen Einfluss darauf. Es deutet sich jedoch an, dass ein verhaltenener N-Einsatz den Rohfettgehalt ansteigen lässt.

Tabelle 32: Wirksamkeit des zu unterschiedlichen Terminen zum Winterraps ausgebrachten Güllestickstoffs auf dem stark lehmigen Sand

Merkmal	Prüfglied			
	ohne/ KAS/KAS	H-Gü/ KAS/KAS	H-Gü/ F-Gü/KAS	ohne/ F-Gü/KAS
Kornertrag (dt TM/ha)	58	53	51	54
N-Entzug (kg/ha)	288	280	259	270
Mineraldünger-N (kg/ha)	180	140	60	60
Differenz (kg/ha)	108	140	199	210
N aus dem Boden (kg/ha)	108	108	108	108
Gülle-N im Ertrag (kg/ha)		32 ⁱ	91 ⁱⁱ	102 ⁱⁱⁱ
MDÄ des Gülle-N _t		47	43	57

ⁱ ausgebracht wurden 68 kg/ha Gesamt-N bzw. 38 kg/ha löslicher NH₄-N
ⁱⁱ ausgebracht wurden 212 kg/ha Gesamt-N bzw. 122 kg/ha löslicher NH₄-N
ⁱⁱⁱ ausgebracht wurden 180 kg/ha Gesamt-N bzw. 105 kg/ha löslicher NH₄-N

Tabelle 33: Wirksamkeit des zu unterschiedlichen Terminen zum Winterraps ausgebrachten Güllestickstoffs auf dem sandigen Lehm

Merkmal	Prüfglied			
	ohne/ KAS/KAS	H-Gü/ KAS/KAS	H-Gü/ F-Gü/KAS	ohne/ F-Gü/KAS
Kornertrag (dt TM/ha)	55,9	55,2	53,7	55,1
N-Entzug (kg/ha)	334	326	310	320
Mineraldünger-N (kg/ha)	160	140	60	60
Differenz (kg/ha)	174	186	250	260
N aus dem Boden (kg/ha)	174	174	174	174
Gülle-N im Ertrag (kg/ha)		12 ⁱ	76 ⁱⁱ	86 ⁱⁱⁱ
MDÄ des Gülle-N _t		18	36	48

ⁱ ausgebracht wurden 66 kg/ha Gesamt-N bzw. 33 kg/ha löslicher NH₄-N
ⁱⁱ ausgebracht wurden 210 kg/ha Gesamt-N bzw. 117 kg/ha löslicher NH₄-N
ⁱⁱⁱ ausgebracht wurden 180 kg/ha Gesamt-N bzw. 105 kg/ha löslicher NH₄-N

Nach der Ernte finden sich in den ungedüngten Prüfgliedern etwa 40 kg/ha N_{min} (Abbildung 67 und 68). Das sind 10 bis 40 kg/ha weniger als bei den gedüngten. Die auf den N-Bedarf des Bestandes angepasste Gülledüngung führte nicht zu erhöhten Rest-N_{min}-Werten. Eine überschlägige Berechnung gibt Auskunft über die Wirkung des Gülle-N bei Winterraps (Tabelle 32 und 33). Es deuten sich Standortunterschiede an. Auf dem stark lehmigen Sand mit einer sehr üppigen Substanzbildung bis zum Winter (vgl. Abbildung 65) kommen annähernd 50 % des ausgebrachten Gülle-N zur

Wirkung. Ausschließliche Frühjahrsanwendung bringt nur eine geringe Erhöhung. Auf dem Lehm ist die Wirkung insgesamt niedriger, bei deutlicherer Differenzierung zwischen den Anwendungsterminen.

4.3 Fazit

Von den Winterungen hat der Weizen den geringsten N-Bedarf bis zum Frühjahr. Der sich entwickelnde Pflanzenbestand kann deshalb den im Herbst ausgebrachten Gülle-N nicht vor Austrag schützen. Seine Ertragswirksamkeit ist deshalb in Abhängigkeit vom jeweiligen Witterungsverlauf sehr unsicher. Unter diesen Bedingungen stellt der N aus der Herbstgülle eine potentielle Verlustquelle dar.

Unter optimalen Ausbringungsbedingungen und vergleichbaren N-Mengen, bezogen auf den löslichen Stickstoffanteil, sind im Frühjahr die gleichen Ertragseffekte möglich. In der Regel bleibt auf den trockeneren sächsischen Standorten die Freisetzung aus dem organisch gebundenen Stickstoff klein.

Auch beim Raps brachte unter den Versuchsbedingungen der im Herbst ausgebrachte Güllestickstoff keinen Ertragsvorteil. Bei deutlich niedrigeren N_{\min} -Beträgen im Herbst kann das durchaus anders sein. Erfolgt die Gülleausbringung wie in der Praxis üblich vor der Saat im August, kann unter guten Mineralisationsbedingungen schnell ein Überangebot entstehen. Hohe Temperaturen und trockener Boden führen im Sommer zu erhöhten Ammoniakverlusten, selbst bei zügiger Einarbeitung. Als Alternative bietet sich die direkte Einbringung in den Boden an. Bei deutlicher Einschränkung der NH_3 -Verluste sind die Güllegaben allerdings zu reduzieren.

Als Alternative bietet sich die Ausbringung zu einem späteren Zeitpunkt in den Bestand an. Die deutlich niedrigeren Temperaturen sowie die Beschattung durch den bereits gut entwickelten Rapsbestand sind günstige Voraussetzungen für geringe gasförmige Verluste. Zu diesem Zeitpunkt lässt sich zudem rein visuell abschätzen, ob der Bestand einen wirklichen Düngungsbedarf aufweist.

Unter gut entwickelten Rapsbeständen ist mit keinem N-Austrag zu rechnen. Das N-Überangebot wird als Nitratstickstoff gespeichert. Bei niedrigen N_{\min} -Mengen zu Vegetationsbeginn, lassen derartige Bestände einen größeren zeitlichen Spielraum für die Andüngung im Frühjahr.

Der lösliche Stickstoff der Frühjahrsgülle hat eine hohe Ertragswirksamkeit. Ein auf den N-Bedarf des Bestandes abgestimmter Gülleeinsatz führt zu keinen erhöhten N_{\min} -Resten nach der Ernte. Zu erwarten ist jedoch, dass im Spätsommer nach dem Stoppelumbruch die Mineralisation der organischen N-Fraktion stärker einsetzt. Da bereits häufig aus der Mineralisation der stickstoffreichen Ernte- und Wurzelreste beachtliche Beträge freigesetzt werden, sollte die verabreichte Güllemenge nicht mehr als 50 kg N/ha abdecken.

5 Begleitende Untersuchungen

5.1 Hemmung der Nitrifikation durch DMPP

In den im Herbst 2003 angelegten Versuchen wurde jeweils in einem Prüfglied der Gülle DMPP (Dimethylpyrazolphosphat) als Nitrifikationsinhibitor zugesetzt. Damit sollte überprüft werden, ob sich das bis zum Winter nicht aufgenommene Ammonium auf diese Weise vor der Umwandlung in Nitrat und somit vor Austrag schützen lässt.

Zum Winterraps wurde die Gülle bereits in der letzten Septemberdekade ausgebracht. Zum Ende der Vegetation zeigte sich, dass der Gülle-N bei guter Vorwinterentwicklung weitgehend aufgenommen wurde. War die N-Aufnahme nicht so vollständig, bestand der im Dezember ermittelte N_{\min} ausschließlich aus Nitrat-N. Die Wirkung des Inhibitors war also bereits abgeklungen.

Vorteile erbrachte der Einsatz des Inhibitors beim Winterweizen. Von dem Ende Oktober ausgebrachten NH_4-N (62 kg N/ha) war bis Mitte Dezember noch etwa ein Drittel als Ammonium vorhanden. Die größte hemmende Wirkung wurde bei Ausbringung der Gülle unmittelbar vor dem Einsetzen der Sperrfrist im November erzielt.

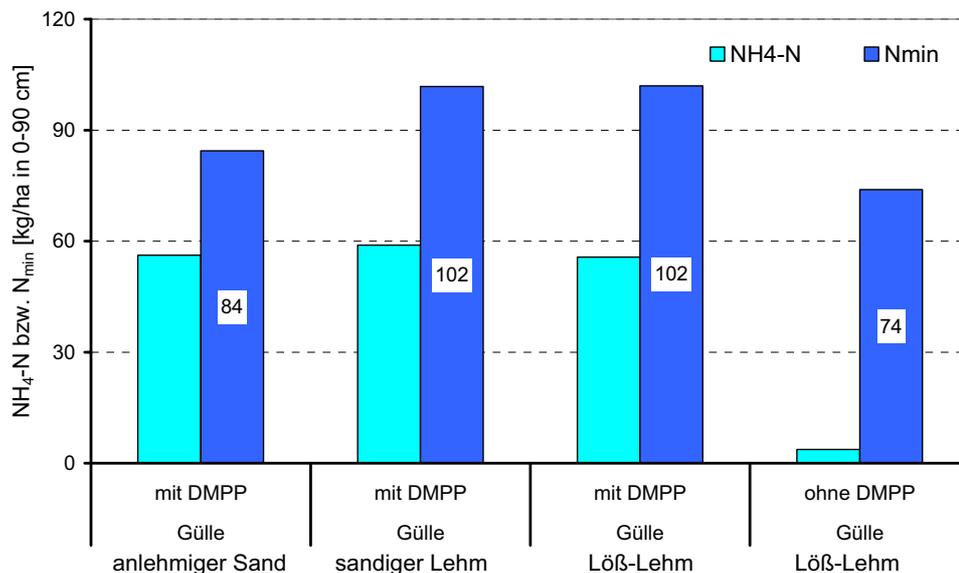


Abbildung 69: NH_4-N bzw. N_{\min} im März 2004 nach Gülleanwendung im November mit und ohne Einsatz eines Nitrifikationshemmers

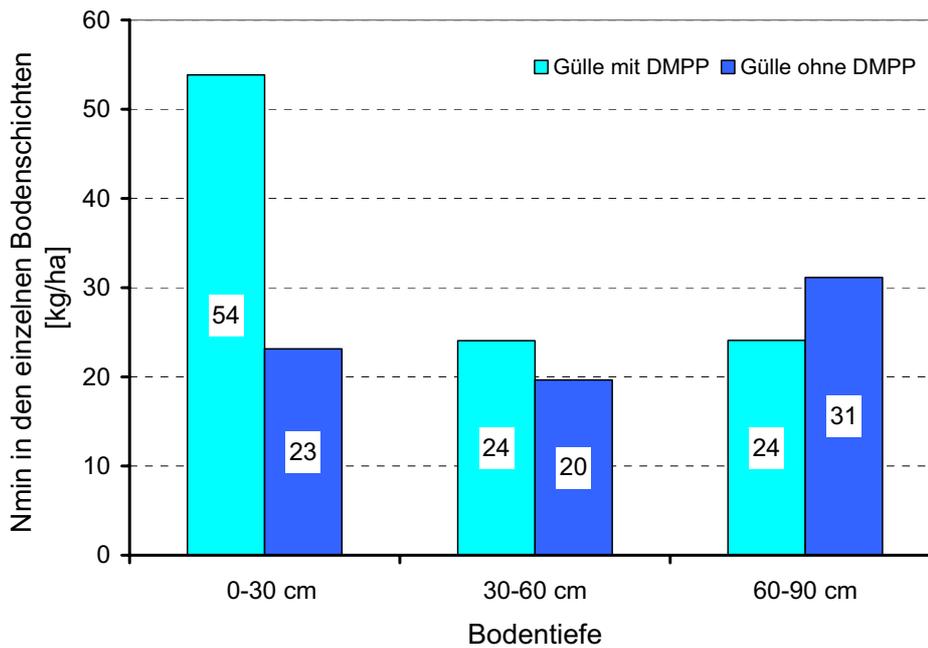


Abbildung 70: Verteilung des N_{\min} im Frühjahr in den Bodenschichten unter Winterweizen

Zusätzliche Untersuchungen hierzu erfolgten auf der Kastenanlage in Leipzig. Auf drei unterschiedlichen Böden (diluvialer anlehmgiger Sand, Verwitterungs-Lehm, Löß-Lehm) wurden 20 m³ Rindergülle mit DMPP in dreifacher Wiederholung ausgebracht. In der Gülle waren 0,25 % NH₄-N enthalten, was einer Menge von 50 kg N/ha entsprach. Auf dem Löß-Lehm wurde zusätzlich auf drei Parzellen Gülle ohne Nitrifikationshemmer ausgebracht. Die hier erzielten Ergebnisse sind in Abbildung 69 und 70 dargestellt. Bei später Anwendung hielt die hemmende Wirkung auf allen drei Böden bis Mitte März an.

Am Beispiel des Löß-Lehms wird deutlich, dass selbst bei später Gülleanwendung ohne Einsatz dieses Inhibitors die Nitrifikation über Winter fast vollständig erfolgte. Damit einher ging ein deutlicher Austrag an Nitrat. Unter vergleichbaren Bedingungen ist dann auf leichteren und flachgründigen Böden zumeist mit einem vollständigen Austrag zu rechnen.

5.2 Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Gülle

Eine sehr variable Größe stellen die Ammoniakverluste dar. Der als Harnstoff ausgeschiedene und zügig in Ammoniumcarbonat umgewandelte Stickstoff liegt gelöst in der Gülleflüssigkeit vor. Beeinflusst wird die Höhe der Ammoniakverluste bei der Ausbringung durch die Witterung (Temperatur, Sonneneinstrahlung, Wind, Luftfeuchtigkeit), den Bodenbedingungen (Bodenfeuchtigkeit, Porenvolumen, Sorptionskapazität), der Ausbringungstechnik (Prelltechnik, bodennahe Ausbringung,

Injektion) und von der Beschaffenheit der Gülle. Mit welchen Verlusten in Abhängigkeit von der Ausbringungstechnik (Prellblech bzw. Schleppschlauch), Temperatur und der Einarbeitungszeit zu rechnen ist, wurde bereits in Tabelle 2 vorgestellt. Moderne Ausbringungstechnik (Güllegrubber und Gülleinjektionsgeräte) können dafür sorgen, die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Emissionen weiter einzuschränken.

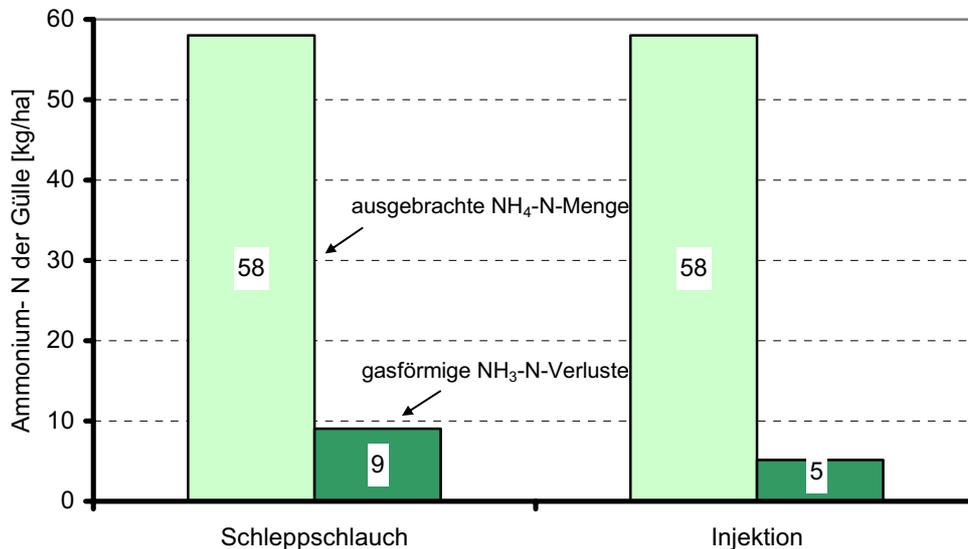


Abbildung 71: Ammoniakverluste aus Rindergülle in Abhängigkeit vom Applikationsverfahren innerhalb der ersten zwei Stunden nach der Gülleausbringung in einem sich bestockenden Weizenbestand auf anlehmigem Sand (gemessen mittels Absaugglocke)

Im Frühjahr 2002 wurden dazu in einem Weizenbestand auf lehmigem Sand in Spröda Untersuchungen durchgeführt. Die Ausbringung in den Bestand erfolgte entsprechend dem Schleppschlauchverfahren bodennah und durch flache Injektion der Gülle in den Boden. Bei letzterem war nach der Ausbringung der überwiegende Teil des Flüssigdüngs mit Boden bedeckt und auf einem eng begrenzten Bodenvolumen beschränkt. Die Ammoniakverluste im Verlauf der ersten beiden Stunden nach der Gülleapplikation wurden mit einer Absaugglocke gemessen.

Von besonderem Interesse bei diesen Untersuchungen war auch, wie sich das Ammonium im Boden unterhalb der Güllebänder verhält und wie die Wirkung eines Nitrifikationsinhibitors eingreift (Tabelle 34). Festzustellen ist, dass unterhalb der mit dem Schleppschlauch ausgebrachten Gülle die Konzentration wesentlich niedriger ausfällt als bei Injektion in den Boden. Neben den höheren gasförmigen Verlusten ist die breitflächigere Verteilung beim Auftreffen auf dem Boden dafür verantwortlich. Die Injektion erhöhte die Konzentration des Ammoniums unterhalb des Güllebandes erheblich. Das führte dazu, dass die Umwandlung in Nitrat selbst ohne Nitrifikationshemmer deutlich eingeschränkt blieb. Von Vorteil besonders auf auswaschungsgefährdeten Standorten, wo selbst im Frühjahr Nitratverlagerung vorkommt.

Tabelle 34: Ammonium- und Nitrat-N (mg/kg Boden) in der Ackerkrume (0 bis 20 cm) nach unterschiedlicher Gülleapplikation (18.03.2003) mit und ohne Nitrifikationshemmer auf einem anlehmigen Sandboden in Spröda zu verschiedenen Terminen nach der Ausbringung (Mittel von zwei Wiederholungen)

Termin der Probenahme	Variante	Prüfglied	Nitrat-N	Ammonium-N	Summe
21.03.02	Schleppschlauch (ohne DMPP)	1	2,5	10,0	12,5
	Schleppschlauch (mit DMPP)	2	1,5	10,5	12,0
	Injektion in Boden (ohne DMPP)	3	2,0	70,5	72,5
	Injektion in Boden (mit DMPP)	4	1,5	48,5	50,0
	N aus ENTEC	5	5,0	6,3	11,3
10.04.02	Schleppschlauch (ohne DMPP)	1	3,5	2,0	5,5
	Schleppschlauch (mit DMPP)	2	1,0	1,0	1,0
	Injektion in Boden (ohne DMPP)	3	6,5	26,5	33,0
	Injektion in Boden (mit DMPP)	4	1,0	25,5	26,5
	N als ENTEC	5	2,0	2,3	4,3
25.04.02	Schleppschlauch (ohne DMPP)	1	1,0	0,5	1,5
	Schleppschlauch (mit DMPP)	2	0,5	1,5	2,5
	Injektion in Boden (ohne DMPP)	3	11,5	12,0	23,5
	Injektion in Boden (mit DMPP)	4	1,5	21,5	23,0
	N als ENTEC	5	1,0	1,0	2,0

5.3 Einfluss unterschiedlicher Gülleapplikation auf den Ertrag und den N-Entzug bei Silomais

Der Einsatz von Gülle zu Mais ist in den letzten Jahren in Sachsen beachtlich zurückgegangen (vgl. 2.1.3). Ursache dafür ist u. a., dass die Anwendung vor Winter laut Düngeverordnung nur in Verbindung mit einer Strohdüngung bzw. dem Anbau von Zwischenfrüchten möglich ist. Da zumeist bis zum Beginn der Sperrfrist Mitte November die Güllelager geleert werden, weichen die Landwirte zunehmend auf Flächen mit Winterraps sowie Wintergetreide aus. Die Gülleanwendung zu Mais ausgangs des Winters ist standortabhängig vielfach kritisch zu bewerten. Insbesondere auf den leichten sowie den niederschlagsreichen flachgründigen Standorten ist bei der langen Zeitspanne,

die bis zum Beginn der intensiven Nährstoffaufnahme durch den Mais im Frühsommer besteht, ein hohes Risiko hinsichtlich von Nitratverlusten vorhanden.

Auf den nachlieferungsstarken Böden sowie bei regelmäßiger organischer Düngung findet zu dem auf den noch brachen Maisschlägen, anders als beispielsweise unter dem zu diesem Zeitpunkt bereits schossenden Wintergetreide, schon beachtliche N-Freisetzung statt. Das macht eine zusätzliche N-Bereitstellung häufig erst nach dem Erreichen des 6-Blattstadiums notwendig. Die Ausbringung von Gülle besonders mit der noch häufig zum Einsatz kommenden Pralltechnik ist dann allerdings nicht angezeigt, da hier regelmäßig hohe Ammoniakverluste die Folge sind. Ungünstig für die Ausnutzung des Stickstoffs wirkt sich die große Reihentfernung und späte und häufig sehr unvollständige Erschließung des Reihenzwischenraumes durch die Maiswurzeln aus. Weite Reihen erlauben allerdings auch ein Befahren bis zum Beginn des Längenwachstums, also weit in den Juni hinein.

Unter dem Gesichtspunkt ist zu überdenken, ob durch eine Gülleausbringung in den Pflanzenbestand eine höhere Nährstoffeffizienz erreicht werden kann und somit eine Ausbringungsalternative darstellt. Erfolgt die Ausbringung in unmittelbarer Wurzelnähe, sollten bereits mit entsprechend moderaten Gaben gute Effekte möglich sein. Um dies zu demonstrieren wurden im Jahr 2001 und 2002 auf der Kastenanlage in Leipzig und im Jahr 2002 zusätzlich im LVG Köllitsch Kleinparzellenversuche durchgeführt. Verglichen wurden dabei die Ertragswirksamkeit und die N-Entzüge von Gülle-N bzw. ammoniumreichen Mineraldüngern mit Kalkammonsalpeter (KAS), dem mineralischen Standarddünger.

5.3.1 Material und Methoden

Auf der Kastenanlage in Leipzig standen für diese Untersuchungen 20 Parzellen zu je 2,7 m² mit einem Verwitterungsboden zur Verfügung. Jedes Prüfglied hatte vier Wiederholungen. Im LVG Köllitsch wurden die Parzellen auf einen Produktionsschlag als einfaktorielle Blockanlage angelegt. Die Ausbringung der verschiedenen Dünger erfolgte von Hand. Bei der Applikation der Gülle wurde das Schleppschlauch- sowie ein Schlitzinjektionsverfahren simuliert. Bei letzterem wurde der Boden etwa 10 cm tief mit einem Handhäufelkörper aufgeschlitzt, die Gülle mittels Gießkanne ausgebracht und unmittelbar darauf mit dem vorher zur Seite gedrückten Boden bedeckt. Für die punktförmige Einbringung der Düngerlösung wurden in den Boden 10 cm tiefe Löcher (Ø 1 cm) gebohrt und die Lösung über einen Dispenser auf den Grund laufen lassen. Für die Ertragsfeststellung wurden in Leipzig alle Pflanzen und in Köllitsch nur zwei Reihen im Kern der jeweiligen Parzelle herangezogen. Weitere Angaben zur Versuchsdurchführung und die geprüften Varianten finden sich in Tabelle 35 und 36.

Tabelle 35: Angaben zur Versuchsdurchführung zur platzierten Gülleausbringung in Silomaisbeständen

Merkmale	Versuchsjahr		
	2001	2002	2002
	Versuchsstandort		
	Kastenanlage Leipzig	Kastenanlage Leipzig	Köllitsch
Bodenart	Verwitterungs-Lehm	Verwitterungs-Lehm	sandiger Lehm
Humusgehalt	2,5 %	2,5 %	1,8
CAL-P (mg/100g)	4,2	4,2	9,7
CAL-K (mg/100g)	6,1	6,1	18,1
pH-Wert	5,3	5,3	6,4
Σ Niederschlag (mm)	657	750	727
Aussaat	22.05.2001	07.05.2002	23.04.2002
Düngungstermin	08.06.2001	27.05.2002	30.05.2002
Witterung zur Düngung	Tagesmitteltemperatur von 12 °C, bedeckt	Tagesmitteltemperatur von 13 °C, bedeckt	Tagesmitteltemperatur von 16 °C, sonnig
% TS der Gülle	3,0	7,3	5,5
% N _t der Gülle	0,20	0,44	0,24
% NH ₄ -N	0,12	0,25	0,12
N _{min} vor der Aussaat	129 kg/ha	122 kg/ha in 0 - 90 cm Bodentiefe	136 kg/ha

Tabelle 36: N-Mengen und Ausbringung der jeweiligen Dünger

1. Prüfglied	80 kg N/ha als Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL); entsprechend 80 kg N/ha	80 kg N/ha als Harnstoff-Ammonsulfat-Lösung (HAS-Lösung)	100 kg N/ha als HAS-Lösung
	Die Ausbringung erfolgte punktförmig (Düngernester). Die Injektion erfolgte im Abstand von 15 cm parallel zur Pflanzenreihe alle 10 cm in eine Bodentiefe von etwa 10 cm.		
2. Prüfglied	80 kg N/ha als AHL; entsprechend 80 kg N/ha	80 kg N/ha als HAS-Lösung	100 kg N/ha als HAS-Lösung
	Die Ausbringung erfolgte bandförmig (Düngerband). Der Dünger wurde im Abstand von 15 cm parallel zur Pflanzenreihe auf dem Boden abgelegt.		
3. Prüfglied	86 kg N _t /ha aus Gülle bzw. 52 kg löslicher NH ₄ -N/ha	140 kg N _t /ha aus Gülle bzw. 80 kg löslicher NH ₄ -N/ha	100 kg N _t /ha aus Gülle bzw. 50 kg löslicher NH ₄ -N/ha
	Die Rindergülle wurde in 10 cm Tiefe etwa 20 cm parallel zur Pflanzenreihe injiziert. Der überwiegende Teil der Gülle war danach von Boden bedeckt.		
4. Prüfglied	86 kg N _t /ha aus Gülle bzw. 52 kg löslicher NH ₄ -N/ha	140 kg N _t /ha aus Gülle bzw. 80 kg löslicher NH ₄ -N/ha	100 kg N _t /ha aus Gülle bzw. 50 kg löslicher NH ₄ -N/ha
	Die Rindergülle wurde 20 cm entfernt parallel zur Pflanzenreihe bandförmig ausgebracht (Schleppschlauchverfahren).		
5. Prüfglied	80 kg N/ha als KAS	80 kg N/ha als KAS	100 kg N/ha als KAS
	Breitwürfige gleichmäßige Verteilung über die gesamte Versuchsfläche.		
6. Prüfglied	-	-	ohne N

5.3.2 Ergebnisse

Die in den Abbildungen 72 bis 78 dargestellten Ergebnisse lassen als erstes erkennen, dass die Prüffaktoren einen stärkeren differenzierenden Einfluss auf die Trockenmassebildung hatten als auf die N-Entzüge. Zurückzuführen in erster Linie auf eine zum Zeitpunkt der intensiven Substanzbildung während der Streckungsphase bis zur Blüte differenzierten N-Verfügbarkeit. Ein uneinheitliches Ergebnis erbringt die Variante mit punktförmiger Injektion (AHL bzw. HAS-Lösung). Inwieweit die unterschiedliche Zusammensetzung der Düngerlösungen Ursache dafür ist, lässt sich hier nicht klären. Die zusätzliche Schwefelversorgung durch die HAS-Lösung könnte für den Mais durchaus von Vorteil sein.

Für die Güllevarianten ist festzustellen, dass sie bei Ausbringung von etwa gleichen Mengen an sofort pflanzenverfügbarem Stickstoff (löslichem $\text{NH}_4\text{-N}$) den Varianten mit ausschließlichem mineralischem N durchaus gleichwertig waren. Günstig wirkte sich in jedem Fall die Einbringung der Gülle in den Boden ein. Das wurde allerdings auf der Kastenanlage in Leipzig, wo die Applikation jeweils bei niedrigeren Temperaturen und bedecktem Himmel erfolgte, nicht so deutlich wie in Köllitsch.

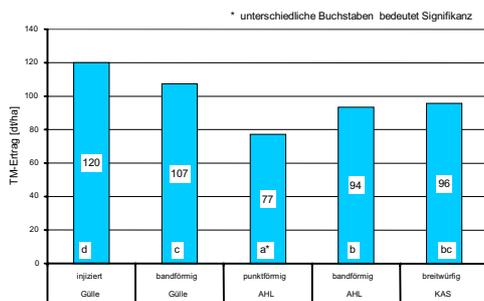


Abbildung 72: Trockenmasseertrag von Silomais in Abhängigkeit von der N-Form und deren Ausbringung im Jahr 2001

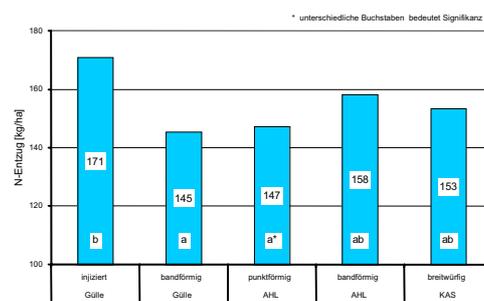


Abbildung 73: N-Entzug durch Silomais in Abhängigkeit von der N-Form und deren Ausbringung im Jahr 2001

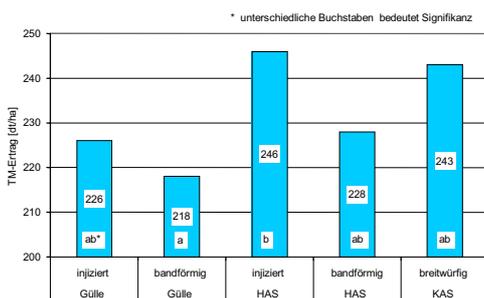


Abbildung 74: Trockenmasseertrag von Silomais in Abhängigkeit von der N-Form und deren Ausbringung im Jahr 2002

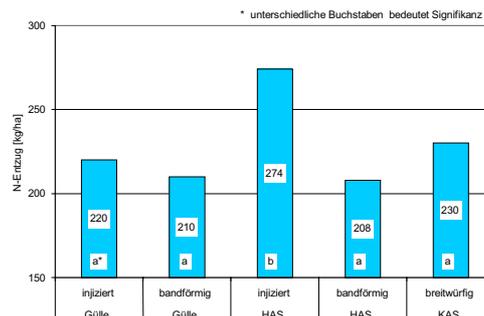


Abbildung 75: N-Entzug durch Silomais in Abhängigkeit von der N-Form und deren Ausbringung im Jahr 2002

Das ungedüngte Prüfglied in Köllitsch (Abbildung 77) erlaubt eine Beurteilung der Wirksamkeit des eingesetzten Stickstoffs. Es wird deutlich, dass beim oberflächlich ausgebrachten Mineraldünger nur etwa 70 % mit dem Ertrag abgeführt wurden (Abbildung 78). Günstiger schneidet die in den Boden injizierte HAS-Lösung ab. Für die Beurteilung des mit der Gülle ausgebrachten Stickstoffs ist sowohl das lösliche Ammonium als auch der insgesamt ausgebrachte N von Interesse. Es zeigt sich, dass die Einbringung in den Boden zu einer wesentlich höheren N-Ausnutzung führt. Verantwortlich dafür sind geringere Ammoniakverluste bei der Ausbringung sowie eine bessere Erschließung der „Düngernester“ durch die Maiswurzeln, was eine zügigere und vollständigere Anreicherung bewirkt. Durch die Bedeckung mit dem Boden sind auch die Bedingungen für die Mineralisation des organisch gebundenen N wesentlich günstiger, was letztendlich zu einer besseren Ausnutzung geführt hat. Die unerwartet niedrige N-Wirkung der nach dem Schleppschlauchprinzip ausgebrachten Gülle lässt sich nur durch die während der Ausbringung herrschenden Witterungsbedingungen erklären (vgl. Tabelle 35). Trockener Boden und damit schlechtes Eindringen der Gülleflüssigkeit in den Boden sowie intensive Sonneneinstrahlung dürften beachtliche Ammoniakverluste verursacht haben. Zudem verbleiben die nicht wasserlöslichen organischen N-Verbindungen auf der Bodenoberfläche. Ihr mikrobieller Abbau ist dadurch weitgehend eingeschränkt.

Bei den Versuchen auf der Kastenanlage fehlt ein ungedüngtes Prüfglied, mit dem sich die N-Nachlieferung aus dem Boden ermitteln lässt. Setzt man jedoch voraus, dass die Ausnutzung des KAS-N in allen drei Versuchen relativ einheitlich war, kann eine überschlägige Berechnung erfolgen (Tabelle 37). Deutlich wird, dass sowohl die Jahres- als auch die Standortunterschiede beachtlich waren. Es fällt auf, dass die N-Wirkung in enger Beziehung zum TS-Gehalt der Gülle und zur Aufwandmenge stand (vgl. Tabelle 35). Insbesondere hohe Trockensubstanzgehalte, bei denen geringere Lagerkapazität benötigt wird und die weniger Transportaufwand erfordern, wirken sich ungünstig aus. Die positiven Auswirkungen der Gülleinjektion sind unübersehbar.

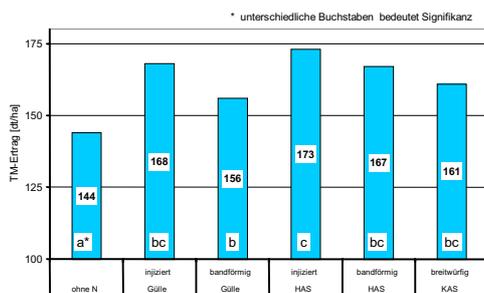


Abbildung 76: Maistrockensmasse in Abhängigkeit von der N-Form und deren Ausbringung auf sandigem Lehm im Jahr 2002

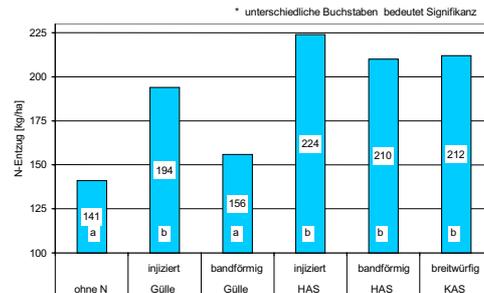


Abbildung 77: N-Entzug durch Silomais in Abhängigkeit von der N-Form und deren Ausbringung auf sandigem Lehm im Jahr 2002

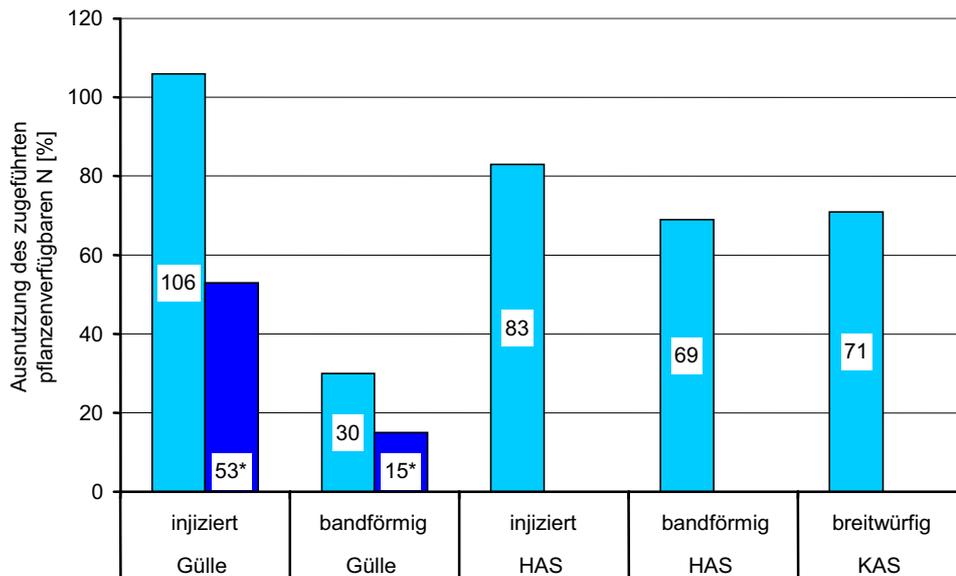


Abbildung 78: Ausnutzung des mit der Düngung im Jahr 2002 in LVG Köllitsch zugeführten pflanzenverfügbaren Stickstoffs sowie des N_t* der Gülle

Tabelle 37: Kalkulierte Ausnutzung des ausgebrachten Güllestickstoffs (N_t) durch den Silomais

Versuch	In den Boden injizierte Gülle	Bandförmig auf den Boden ausgebrachte Gülle
Leipzig 2001	86	56
Leipzig 2002	33	26
Köllitsch 2002	53	15
Mittel	57	32

5.3.3 Fazit

Der Maisanbau lässt im Frühjahr einen breiten Spielraum für den Gülleeinsatz. Organische Flüssigdünger sind in ihrer Wirkung Mineraldüngern ähnlich. Deshalb ist eine Anwendung erst dann effektiv, wenn unmittelbar nach der Ausbringung ausreichender Pflanzenbedarf besteht. Zwar halten sich ausgangs des Winters Ammoniakverluste aufgrund der noch niedrigeren Temperaturen in Grenzen und die Gülleflüssigkeit und das darin gelöste Ammonium dringen zügig in den Boden ein, doch mit den ansteigenden Bodentemperaturen erfolgt eine schnelle Umwandlung in das bewegliche Nitrat. Nach zeitiger Ausbringung kann es auf den leichten und flachgründigen Böden noch im Verlauf des Frühjahrs zu beachtlichen N-Austrägen aus dem Wurzelbereich kommen. Bedeutsam ist dabei auch, dass sich auf den Maisflächen im Frühjahr der Boden aufgrund fehlender Beschattung schneller erwärmt und dadurch regelmäßig eine höhere N-Mineralisation zu beobachten ist. Von jungen Maisbeständen werden bis Ende Juni zumeist weniger als 50 kg N/ha aufgenommen.

Die Versuche mit Mais zeigten, dass bei Einsatz von Gülle in den Bestand vergleichbare Maiserträge wie bei ausschließlicher mineralischer Düngung erzielt werden können. Für eine gute Wirksamkeit sind die Ammoniakverluste zu minimieren. Insbesondere in den trockenen und warmen Lagen Mitteldeutschlands lässt sich das allerdings nicht mit breitwürfigen Ausbringungsverfahren realisieren. In Maisbeständen mit ihrem weiten Standraum werden die Reihenzwischenräume erst sehr spät und häufig sehr unvollständig durchwurzelt. Das hat Auswirkungen auf die Verfügbarkeit der über die gesamte Oberfläche verteilten Nährstoffe. Hohe Nährstoffeffektivität lässt sich hier durch entsprechende Platzierung in Reihennähe erreichen.

Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, unterliegt die Wirksamkeit des Güllestickstoffs beachtlichen Schwankungen, die von den Witterungs- und Bodenbedingungen bestimmt werden. Eine Injektion in den Boden trug in jedem Fall zu einer deutlichen Verbesserung der Verfügbarkeit bei.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit der Anwendung von Wirtschaftsdüngern lässt sich der Stoffkreislauf Boden → Pflanze → Tier → Boden schließen. Die Zufuhr von organischer Substanz stellt allerdings nicht nur einen einfachen Nährstoffersatz dar, sondern ist mit einer Vielzahl positiver Wirkungen auf die biologischen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften verbunden. Aus diesem Grund sind organische Dünger vor allem auf den benachteiligten Standorten für eine nachhaltige Bewirtschaftung unverzichtbar.

Mit dem Einsatz von Wirtschaftsdüngern kommt allerdings auf den Landwirt eine besondere Verantwortung zu. Im Mittelpunkt steht dabei der Stickstoff, der bei unsachgemäßer Anwendung zu einer bedeutenden Quelle für diffuse Nährstoffverluste werden kann. Organische Dünger mit einem hohen Anteil an sofort pflanzenverfügbarem N (Gülle, Jauche) erfordern dabei besondere Aufmerksamkeit. Ammoniakverluste während der Ausbringung und Austrag von Nitrat vor allem in der vegetationslosen Zeit über Winter sind hier zu nennen. Ist der Stickstoff dagegen vorwiegend in organischer Form (Stallmist, Komposte) enthalten, wird er erst nach der Mineralisation pflanzenverfügbar. Problematisch wird es zumeist, wenn die Freisetzung im Spätsommer bis zum Winter ein beachtliches Maß erreicht und bereits mit dem Auffüllen des Bodenwasservorrats Nitrat in tiefere Bodenschichten getragen wird.

Aufgrund des im Vergleich zu anderen Bundesländern niedrigeren Viehbesatzes, scheint die Situation in Sachsen weniger kritisch. Allerdings täuschen Mittelwerte darüber hinweg, dass sich regional deutlich höhere Viehkonzentrationen je Flächeneinheit finden bzw. oftmals vor allem Flächen in Stallnähe mit Wirtschaftsdüngern versorgt werden. Die Gefahr von Verlusten ist immer dort von besonderer Bedeutung, wo große Mengen an organischen Düngern je Flächeneinheit anfallen.

Zum Einsatz von Wirtschaftsdünger in Sachsen

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Analyse zur organischen Düngung in Sachsen durchgeführt. Ausgewertet wurden die Erfassungsbelege zum Beratungsprogramm BEFU. Damit wurden in

den letzten Jahren etwa 42 % der LF im Freistaat erfasst. Ein derartig aussagefähiger Datenpool ist anderenorts nicht verfügbar und erlaubt bei weiterer Pflege auch zukünftig repräsentative Aussagen zur Entwicklung der landwirtschaftlichen Praxis im Bereich des Acker- und Pflanzenbaus.

Im Hinblick auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern zeigten sich folgende Fakten:

- Die Ausbringung von Gülle und Stallmist, den wichtigsten bei der Viehhaltung anfallenden organischen Düngern, erfolgt zunehmend im Spätsommer und Herbst. Dafür verantwortlich sind vermutlich in erster Linie arbeitswirtschaftliche Gesichtspunkte, die gute Befahrbarkeit der Böden sowie veränderte Anbaustrukturen. Es besteht das Bestreben, selbst bei ausreichender Kapazität, die Lager möglichst vollständig bis zur Güllesperrfrist zu entleeren. Insbesondere die verstärkte Anwendung von Gülle im Herbst stellt eine negative Entwicklung dar, da bis zum Winter der N-Bedarf zumeist sehr begrenzt bleibt und somit eine effektive N-Nutzung nicht gegeben ist.
- Die mit einer durchschnittlichen organischen Düngergabe ausgebrachten Nährstoffmengen sind im Verlauf der letzten Jahre zurückgegangen. Das lässt einen größeren Spielraum, die weitere Versorgung entsprechend der stark witterungsabhängigen Nachlieferung (organisch gebundener Stickstoff aus Dung und Boden) und dem erzielbarem Ertragsniveau zu gestalten. Dadurch lassen sich Nährstoffüberhänge besser vermeiden.
- Auffallend war, dass für die Berechnung der Nährstoffzufuhr zumeist nur Faustzahlen Verwendung fanden. Die Zusammensetzung und damit Wirkung der in der betriebseigenen Tierhaltung anfallenden organischen Dünger weist allerdings selbst innerhalb einer Stallanlage im Jahresverlauf beachtliche Schwankungen auf. Für eine exakte betriebliche Düngerplanung ist deshalb eine regelmäßige Analyse der Nährstoffgehalte unerlässlich. Die Nutzung von Faustzahlen sollte die Ausnahme sein.
- Der Gülleeinsatz zu Mais und zu den Hackfrüchten ist im Zeitraum von 1996 bis 2002 deutlich zurückgegangen (etwa 50 %). Parallel nahm die Anwendung von Flüssigdüngung zum Winterraps und Wintergetreide zu. Die Ursache dafür dürfte vor allem in den Vorgaben der Düngeverordnung begründet sein, wonach der Einsatz von Gülle im Spätsommer/Herbst nur bei ausreichendem Pflanzenbedarf erfolgen darf. Problematisch ist in diesem Zusammenhang die Frage nach dem Bedarf des Bestandes im Herbst. Er lässt sich nur schwer abschätzen. Neben bereits vorhandenem Rest-N_{min} und der N-Nachlieferung des Bodens entscheidet der Witterungsverlauf sowie der heranwachsende Pflanzenbestand über die notwendige zu düngende N-Menge. Zur Verringerung des Verlustrisikos sind die Güllegaben niedrig zu halten (N-Mengen sollten unter den von der Düngeverordnung vorgegebenen Höchstmengen bleiben) bzw. sind erst dann auszubringen, wenn die Pflanzen wirklich N-Bedarf anzeigen.
- Zu Bedenken ist, dass eine regelmäßige organische Düngung mit einer Erhöhung des Mineralisationspotentials verbunden ist. Diese Tatsache muss stärker in den Blickpunkt rücken, wenn es um den N-Bedarf der Zwischenfrüchte und der Winterungen im Spätsommer und Herbst geht. Regelmäßig mit organischen Düngern versorgte Schläge sind deshalb von einer Gülleanwendung im Herbst auszuschließen bzw. erlauben nur eine minimale N-Zufuhr (< 40 kg N/ha).

- Die Ausbringung im Spätsommer und Herbst, wenn die Temperaturen noch hoch sind und auf vielen sächsischen Standorten der Boden noch nicht ausreichend durchfeuchtet ist, sollte auf den Einsatz veralteter Applikationstechnik (Prallblechtechnik) verzichtet werden, da mit beachtlichen Ammoniakverlusten gerechnet werden muss. Besonders in dieser Zeit ist die direkte Einbringung in den Boden (z. B. durch Güllegrubber bei der Stoppelbearbeitung) eine deutlich entlastende Maßnahme.
- Auch Stalldung wird zunehmend zu Raps und Getreide und entsprechend weniger zu Mais und den Hackfrüchte eingesetzt. Während zu den Winterungen die Ausbringung bereits vor der Saat im Spätsommer erfolgen muss, empfiehlt sich ansonsten eine Anwendung möglichst nicht vor November. Frühere Termine sind regelmäßig mit höherer N-Freisetzung verbunden. Das spiegelt sich allerdings nicht in den N_{\min} -Werten im Frühjahr wider. Die Ausbringung von Stalldung im Spätsommer ist mit großen N-Austrägen verbunden, wenn der Boden bis zum Frühjahr brach bleibt.

Teilflächenspezifische Gülleanwendung

Eine teilflächenspezifischen Düngung zielt vor allem auf Ertragsstabilität, verbesserte Qualität des Erntegutes und eine höhere Effektivität des eingesetzten Düngers. Besonders letzteres ist Voraussetzung für die Verlustvermeidung. Gegenwärtig findet eine teilschlagbezogene Stickstoffdüngung vorwiegend im Getreide mit Beginn des Schossens Anwendung. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein neuer Ansatz für eine teilschlagbezogene differenzierte Gülleausbringung zu Beginn der Vegetation zu Wintergerste und Winterraps geprüft. Die Untersuchungen zeigten:

- Der Einsatz von Gülle zur ersten N-Gabe erbrachte bei der Wintergerste einen leichten Ertragsvorteil im Vergleich zur ausschließlichen Mineraldüngung. Selbst bei dem Winterraps, wo in der sächsischen Landwirtschaft kaum Gülle im Frühjahr eingesetzt wird, waren keine negativen Auswirkungen auf den Ertrag festzustellen.
- Für eine teilschlagspezifische Düngung sprachen die nach dem trockenen Jahr 2003 sowohl unter Wintergerste als auch unter Winterraps hohen N_{\min} -Werte im Frühjahr. Die Differenzierung auf den Schlägen war beachtlich. Sie stand im engen Zusammenhang mit den Unterschieden in der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens. Teilflächen mit hoher Leitfähigkeit wiesen jeweils höhere N_{\min} -Werte auf und umgekehrt. Unter der Wintergerste betrug die Differenz immerhin 60 kg N/ha, also eine mittlere N-Gabe.
- Beim Raps bestand bereits zur ersten N-Gabe im März ein bemerkenswert enger Zusammenhang zwischen dem Biomasseindex und der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens. Findet das in weiteren Untersuchungen eine Bestätigung, so könnten sich beide Merkmale als brauchbare Entscheidungshilfen für eine teilschlagspezifische Stickstoffdüngung zu Vegetationsbeginn erweisen.
- Während bei der Gerste der Ertrag vor allem bei einheitlicher Düngung mit dem Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit zunahm, war das beim Raps wesentlich deutlicher und unabhängig von den Prüfgliedern.

- Unter den spezifischen Jahresbedingungen erbrachte die teilschlagbezogene Düngung keine ertraglichen Vorteile. Besonders nach dem hohen Ertrag der Wintergerste blieben nur geringe Rest-N_{min}-Werte. Sie waren auf den Teilflächen mit hoher Leitfähigkeit wiederum erhöht. In Jahren mit niedrigeren Erträgen kann das jedoch umgekehrt sein.

Versuche zum Einsatz von Gülle zu Winterraps, Winterweizen und Mais

Als wichtige Ergebnisse der durchgeführten Versuche bleibt festzuhalten:

- Der Einsatz von Gülle im Herbst war insgesamt mit einer schlechteren N-Verwertung verbunden als bei der Anwendung im Frühjahr.
- Von den Winterungen kann der Raps bis zum Einsetzen der Vegetationsruhe beachtliche N-Mengen aufnehmen. Voraussetzung dafür ist eine zügige und üppige Herbstentwicklung. Bleibt die Substanzbildung begrenzt (verzögerter Aufgang infolge Trockenheit, späte Aussaat usw.), verbleibt auch hier entsprechendes Verlustpotential. In den Versuchen erbrachte Herbstgülle selbst bei Raps keine Ertragsvorteile.
- Um das Verlustrisiko zu minimieren, muss bei Herbstanwendung ein entsprechender Düngebedarf vorliegen. Auskunft darüber gibt nur eine N_{min}-Bestimmung vor der Anwendung bzw. der Pflanzenbestand (N-Mangelsymptome). Der konkrete Bedarf zeichnet sich erst im Verlauf der Herbstentwicklung ab.
- Ein später Einsatz von Gülle in Kombination mit einem Inhibitor verzögerte die Nitrifikation deutlich und führte selbst auf anlehmigem Sand zu geringeren Nitratausträgen.
- Ausgangs des Winters sind die Ammoniakverluste zu meist niedrig. Durch bodennahe Ausbringung bzw. Injektion in den Boden lassen sie sich weiter reduzieren.
- Unter den Versuchsbedingungen kam etwa die N-Menge der Gülle zur Wirkung, die als löslicher Ammoniumstickstoff ausgebracht wurde. Bei Frühjahrsanwendung in Getreide- bzw. Rapsbeständen bleibt auf den trockeneren Standorten in Sachsen die Freisetzung aus dem organisch gebundenen N bis zur Ernte begrenzt.
- Bei bedarfsgerechtem Einsatz verwertet Mais den pflanzenverfügbaren N der Gülle gut. Diese Frucht lässt im Frühjahr einen breiten zeitlichen Spielraum für den Einsatz. Als günstig hat sich die Injektion in den Bestand in der Nähe der Pflanzenreihen erwiesen.

Voraussetzung für eine effiziente Nutzung des Güllestickstoffs

Für die Ausnutzung des Stickstoffs in der Gülle sind Zeitpunkt und Art der Ausbringung, Höhe der gasförmigen Verluste, Fruchtart, Witterung, Stroh- und Gründüngung bzw. Zwischenfruchtanbau entscheidend. Die N-Wirkung ist umso höher, je näher der Zeitpunkt der Ausbringung am Bedarf der Pflanzen liegt.

50 bis 70 % des in der Gülle enthaltenen Gesamt-N liegen als schnell verfügbarer Stickstoff vor. Dieser ist unmittelbar oder nach Nitrifikation von der Pflanze aufnehmbar. Während der Vegetationsperiode wird er innerhalb von zwei bis drei Wochen in Nitrat überführt und ist als solches aus-

waschungsgefährdet. Zeitgerechter Gülleeinsatz ist deshalb wichtig. Zur Vermeidung unnötiger Nitratverluste sollte Gülle kurz vor oder während der Vegetation ausgebracht werden.

Gasförmige Ammoniakverluste lassen sich vermindern durch:

- rasche Einarbeitung (auch z. B. Güllegrubber, Gülledrill)
- bodennahe Ausbringung
- Ausbringung bei kühler Witterung, Windstille und bedecktem Himmel
- dünnflüssige Gülle (Wasserezusatz, Biogasgewinnung, Separierung)
- streifenförmige Gülleablage (z. B. Schleppschlauch).

Von den in organischer Bindung vorliegenden Stickstoff werden etwa 10 bis 20 % im ersten Jahr mineralisiert, der Rest ist relativ inert und verhält sich ähnlich wie im Humus gebundener Stickstoff. Es ist mit Mineralisierungsraten, je nach Intensität der Bodenbearbeitung, von 1 bis 3 % pro Jahr zu rechnen. Die langsame Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs führt bei regelmäßiger Güllendüngung zur Anreicherung des Bodens mit Stickstoff und damit zu einer langsam zunehmenden N-Nachlieferung. In vegetationsfreien Zeiten sollte deshalb durch Zwischenfruchtanbau die erhöhte N-Freisetzung abgeschöpft und konserviert werden.

Bei kurzfristiger Betrachtung (im Jahr der Anwendung) ist maximal mit einer potentiellen Wirkung in Höhe des ausgebrachten Ammoniumstickstoffs zu rechnen. Langfristig ist bei konsequenter Anwendung verlustmindernder Maßnahmen von einer Verwertung der ausgebrachten N-Menge von etwa 80 % auszugehen.

Die TS-Gehalte der Gülle und davon abhängig auch die Nährstoffgehalte schwanken in der Praxis aufgrund unterschiedlicher Wasserzumischung stark. Dies hat entsprechende Auswirkungen auf den Gülleanfall/Tier und den Nährstoffgehalt/m³. Eine Verdünnung führt zu sinkenden Inhaltsstoffen (TS, Nährstoffgehalt) und zu höheren Güllemengen, aber auch geringeren Ammoniakverlusten.

Die Ausbringung großer Güllemengen zu einzelnen Früchten oder in stallnahe Rotationen führt zu unverhältnismäßig hohen Verlusten. Besser ist es, die anfallende Gülle auf eine möglichst große Fläche des Betriebes im Turnus zu verteilen. Bei regelmäßigem Einsatz organischer Dünger ist die N-Zufuhr nicht im vollen Umfang durch Gülle abzudecken. Als obere Grenze sind 70 % anzusetzen. Das lässt bei witterungsbedingten Ertragsschwankungen einen entsprechenden Spielraum und bei günstigen Bedingungen für die Mineralisation kann der freigesetzte organisch gebundene Stickstoff besser genutzt werden.

Voraussetzungen für eine gute Nährstoffwirkung sind:

- die Güllemenge muss auf den Nährstoffbedarf der Fruchtarten (insbesondere N, bei hoher Bodenversorgung auch P) abgestimmt sein
- eine gute Verteil- und Dosiergenauigkeit mit entsprechend geeigneten Geräten
- Gülleausbringung ohne schädliche Bodenverdichtung (Breitreifentechnik)

- der richtige Ausbringzeitpunkt, so dass die Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend ausgenutzt werden können.

Je höher der Gehalt an schnell wirksamem Ammoniumstickstoff ist, umso wichtiger ist eine verlustarme Ausbringung. Vor allem bei Gülle, Jauche und Geflügelkot sollte der Ausbringtermin zur Vermeidung von Auswaschungsverlusten möglichst nahe am Bedarfszeitpunkt liegen. Optimal sind Termine zu Beginn oder während der Vegetation bzw. bei Sommerungen unmittelbar vor der Bestellung.

Zur optimalen Wirkung des Stickstoffs im Stalldung

Die Wirksamkeit und Verfügbarkeit des im Stallmist enthaltenen Stickstoffs resultiert aus:

- der Bindungsform (Frischmist mit höherem Anteil an sofort pflanzenverfügbarem N bzw. bei Rottemist vorwiegend organisch gebunden)
- dem Ausbringungstermin (spezifischen Bedingungen für die Mineralisation sowie dem Abstand zwischen Nährstoffbereitstellung und Pflanzenbedarf)
- den Standortbedingungen (Bodenart, Witterungsverlauf usw.)
- der Länge der Vegetationszeit der angebauten Kultur.

Die Stickstoffwirkung des Stalldungs schwankt stark. Sie ist abhängig vom Standort, der Ausbringungszeit und der Witterung. Unter günstigen Bedingungen können im ersten Vegetationsjahr mehr als 40 % des Gesamtstickstoffs pflanzenverfügbar werden. Sind die Bedingungen schlecht, sinkt dieser Wert deutlich unter 20 %. Eine hohe Wirksamkeit des N aus dem Stallmist ergibt sich:

- bei sofortiger Einarbeitung nach der Ausbringung
- Ausbringung bei kühler und feuchter Witterung
- kurze Zeitspanne zwischen Ausbringung und Aussaat der Folgekultur (weniger als 30 Tage)
- gute Bodenkultur
- ausreichende Bodenfeuchte im Verlauf der Vegetationsperiode.

Eine schlechte Wirkung verbunden mit hoher Umweltbelastung ergibt sich:

- bei nicht bzw. falscher Einarbeitung
- wenn während der Ausbringung trockene und warmer Witterung vorherrscht
- wenn nach der Ausbringung im Herbst warme sowie feuchte Witterung dominiert und kein ausreichender Pflanzenbedarf vorhanden ist.

Bei der Anwendung von Stalldung zu Sommerungen ist es angezeigt, die Ausbringung und Einarbeitung frühestens zum Ende der Vegetation vorzunehmen. Auf den leichten Böden ist dann in jedem Fall die Applikation im Frühjahr anzuraten.

Literatur

- Albert, E.; Ernst, F. und Förster, F. (2003): Entwicklung der N_{\min} -Gehalte in Sachsen in Abhängigkeit von Standortfaktoren und der Bewirtschaftung; Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung, 11, S. 59 - 64
- Albert, E. und Schliephake, W. (2003): Optimale N-Düngung zu Winterraps; Thüringer Düngungstage 2002, TLL Schriftenreihe, Heft 8, S. 12 - 25
- Ehlert, D. (2001): Teilflächenspezifische Applikation von Stickstoffdünger in Echtzeit; Landtechnik Bd. 56; H. 2, S. 74 - 75
- Ernst, H.; Förster, F. und Albert, E. (2002): Ausgewählte Ergebnisse zur Anwendung des Düngungsmodells BEFU 1997-2001; Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung, 11, S. 59 - 63
- Körschens, M.; Howitz, H.; und Hein, H.-O. (2002): Untersuchungen über eine leistungsfähige, nachhaltige sowie ökonomisch und ökologisch orientierte Landwirtschaft; Archives of Agronomy and Soil Science; Bd. 48, H. 3; S. 195 - 211
- Körschens, M. (1997): Strategien zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfunktionen; Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 85, Heft II, S. 941 - 944
- Kurzer, H.-J. (2002): Nitratbericht 2000 unter Berücksichtigung der Untersuchungen ab 1990; Schriftenreihe der LfL, Heft 1, 7. Jg.
- Lück, E.; Eisenreich, M. und Domsch, H. (2002): Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft. In: Blumstein, O. und Schachtzabel, H; Stoffdynamik in Geosystemen; Bd. 7, S. 1 - 158
- Sauer, S.; Haußmann, W. und Harrach, T. (2002): Effektive Durchwurzelungstiefe, Sickerwasserbildung und Nitratverlagerung in tiefgründigen Lößböden eines Trockengebietes; J. Plant Nutr. Soil Sci., Vol. 165, No. 3, S. 269 - 273
- Schliephake, W. (2003): C:N-Verhältnis im Getreidestroh und die Auswirkungen auf den Stickstoffausgleich nach einer Strohdüngung; Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung, 11, S. 65 - 75
- Schliephake, W. und Albert, E. (2003): Vermeidung von Stickstoffverlusten; Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft; Bd. 9; H. 8
- Wanka, U. (2000): Abschätzung des Anwendungs- und Reduktionspotentials ammoniakmindernder Maßnahmen in Sachsen, Teil 2: Lagerung organischer Wirtschaftsdünger; Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung, 02, S. 99 - 101

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl
- Projektleiter:** Dr. habil. Erhard Albert
- Autor:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Dr. Wilfried Schliephake
- Redaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Dr. habil. Erhard Albert
Gustav-Kühn-Str. 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341 / 9174 - 182
Telefax: 0341 / 9174 - 189
E-Mail: Erhard.Albert@leipzig.lfl.smul.sachsen.de
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Birgit Seeber, Ramona Scheinert
Telefon: 0351 / 2612 - 345
Telefax: 0351 / 2612 - 151
E-Mail: Birgit.Seeber@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- Redaktionsschluss:** Mai 2005
- Satz:** Christlich-Soziales Bildungswerk Sachsen e. V. Miltitz
- Foto:** Dr. Wilfried Schliephake
- Druck:** Sächsisches Digitaldruck Zentrum GmbH Dresden
- Auflage:** 150 Exemplare

Diese Broschüre wurde auf chlorfrei gebleichtem sowie alterungsbeständigem Papier (ISO 9706) gedruckt. Die Alterungsbeständigkeit beträgt laut Zertifikat mehr als 200 Jahre.

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:
Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

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