



Das Lebensministerium



Vermeidung von Stickstoffverlusten

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 9 – 8. Jahrgang 2003

Bericht zum Projekt „Verminderung von Nährstoffverlusten durch effiziente Nährstoffverwertung bei differenzierter Bewirtschaftung“

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Material und Methoden	3
2.1	Der Anbau von Zwischenfrüchten	3
2.1.1	Kastenanlage in Leipzig	3
2.1.2	N-Bindungsleistung verschiedener Arten von Zwischenfrüchten auf typischen sächsischen Standorten	4
2.1.3	Anbau von Zwischenfrüchten im LVG Köllitsch	6
2.1.4	Untersuchungen zum löslichen Stickstoff in Zwischenfrüchten	6
2.2	Untersuchungen zur differenzierten Aussaatzeit von Winterweizen	7
3	Ergebnisse und Diskussion	8
3.1	Der Anbau von Zwischenfrüchten	8
3.1.1	Kastenanlage in Leipzig	8
3.1.2	Die N-Bindungsleistung verschiedener Zwischenfruchtarten	18
3.1.2.1	Versuchsjahr 2000/2001	18
3.1.2.2	Versuchsjahr 2001/2002	23
3.1.3	Zwischenfruchtbau in Köllitsch	29
3.1.3.1	Versuchsjahr 2000/2001	29
3.1.3.2	Versuchsjahr 2001/2002	33
3.1.4	Untersuchungen zum löslichen Stickstoff in Zwischenfrüchten	35
3.1.5	Zusammenfassung	37
3.2	Differenzierte Aussaatzeit von Winterweizen zur Minderung von N-Verlusten	39
3.2.1	Vorwinterentwicklung	42
3.2.2	Ertrag in Abhängigkeit von der Aussaatzeit	48
3.2.3	Zusammenfassung	51
3.3	Ammoniumbetonte N-Ernährung	53
3.4	Strohdüngung	56
4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	60
	Literatur	65
	Tabellen	67
	Abbildungen	70

1 Einleitung und Problemstellung

Zu einer umweltschonenden und auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Landbewirtschaftung gehört die Begrenzung von Nährstoffverlusten. Im Kreislauf Boden - Pflanze lassen sich Verluste schon deshalb nicht vollständig unterbinden, weil bereits mit dem Anfall von Sickerwasser die darin gelösten Stoffe abtransportiert werden. Für die Pflanzen sind sie verloren, sofern sie unterhalb des Wurzelbereichs gelangen und auch durch kapillaren Anstieg nicht mehr dahin zurückgelangen können. Die Verlustgefahr nimmt zu mit steigendem Nährstoffgehalt des Bodens, umso leichter und flachgründiger der Standort und je höher die Niederschläge und je ungünstiger deren Verteilung. Neben dem Sickerwasser finden sich weitere Quellen für Verluste. So geht beispielsweise Phosphat überwiegend durch Erosion von nährstoffreichem Oberboden verloren.

Bei der Vermeidung von Verlusten stellt der Stickstoff einen besonderen Schwerpunkt dar. Durch ihn wird die Ertragsbildung stark beeinflusst. Von diesem Nährstoff, der in natürlichen Ökosystemen häufig im Mangel ist, gehen bei überhöhtem Einsatz und unsachgemäßer Anwendung sehr verschiedene Verlust- und Gefährdungspotentiale aus. Vorrangig ist dabei die Ammoniakemission, der Nitratauswaschung, die Bildung und Freisetzung von NO_x während der Nitrifikation/Denitrifikation sowie der Austräge durch die verschiedenen Formen der Erosion zu nennen.

Die größten Stickstoffverluste erfolgen in Form von Ammoniak und von Nitrat. Die Höhe der NH_3 -Emission wird besonders von der Technologie der Ausbringung organischer Dünger und den Boden- und Witterungsverhältnissen während der Applikation ammoniumhaltiger Düngemittel beeinflusst. Durch unverzügliches Einbringen in den Boden gelangt das Ammonium an den Sorptionskomplex und bleibt so den Pflanzen erhalten.

Der Nitrat-N liegt fast vollständig in der Bodenlösung vor. Das ist der Grund sowohl für seine gute Pflanzenverfügbarkeit als auch für die hohe Beweglichkeit. Fällt Sickerwasser an, so folgt er weitgehend der Wasserbewegung. Besonders auswaschungsgefährdet ist Reststickstoff, der mit der Wiederbefeuchtung und Auffüllung des Bodenwassers nach der Ernte als erstes in die Tiefe verlagert wird. Aus der Mineralisation stammender Nitrat-N kann insbesondere in den niederschlagsärmeren Gebieten und auf Böden mit großem Wasserhaltevermögen eher im Wurzelraum verbleiben. Dem entgegen wirken Pflanzenbestände, die mit ihren Wasseraufnahmen insbesondere auf den tiefgründigen Böden und bei Jahresniederschlägen ≤ 600 mm unterhalb von 150 cm Bodentiefe Nitratverluste verhindern bzw. deutlich einschränken (SAUER u. a., 2002).

Während bei Mähweiden und einer jährlichen N-Zufuhr unter 100 kg/ha keine Gefährdung des Grundwassers zu befürchten sind (PAMPERIN u. a., 2002), erweisen sich längere Schwarzbrachezeiten als besonders ungünstig. Von den verschiedenen Standorten betrifft dies besonders die leichten und die flachgründigen Böden, wo nach größeren Niederschlagsereignissen unter Umständen selbst innerhalb der Vegetationsperiode das Bodenwasser nicht vollständig im Wurzel-

raum gehalten wird. Neben dem Sickerwasseranfall entscheidet besonders die darin befindliche Nitratkonzentration über die Höhe der Verluste. Sie muss deshalb zum Ende der Vegetation, wenn keine bzw. nur noch geringfügige Aufnahmen durch die Pflanzen erfolgen, ein Minimum erreichen.

Eine entscheidende Voraussetzung dafür sind Stickstoffbilanzen mit leichtem standortbedingtem Überschuss, die einen natürlichen Verlust berücksichtigen. Die von ALBERT (2002) für das Gebiet von Sachsen vorgelegte N-Bilanz der letzten vierzig Jahre lässt hinsichtlich der N-Salden eine günstige Entwicklung erkennen (Abbildung 1). Insbesondere die in den 70iger und 80iger Jahren vorhandenen hohen Überschüsse von 60 bis 90 kg N/ha haben sich im Mittel des letzten Dezenniums auf unter 20 kg/ha abgebaut. Ursache dafür war der starke Rückgang im Viehbesatz Anfang der 90iger Jahre um $\sim 0,5$ GV/ha LN und damit einhergehend ein rückläufiger Einsatz von organischen Düngern um etwa 40 %. Aber auch der zwischenzeitlich verminderte Einsatz von mineralischem Dünger-N auf < 75 kg/ha LN hat dazu beigetragen.

Als Folge sanken die Nitratgehalte im Herbst deutlich ab. Die Dauertestflächen in Sachsen spiegeln dies anschaulich wieder (Abbildung 2). Allerdings lagen die in den letzten zehn Jahren ermittelten Werte immer noch zwischen 70 und 90 kg N/ha. Eine Trendberechnung, welche lediglich die ab 1992 im Herbst auf den Dauertestflächen ermittelten Nitratstickstoffwerte berücksichtigt, lässt - bei Beibehaltung der derzeitigen Bewirtschaftung und weitgehend konstantem Input und Output - erst nach einem längeren Zeitraum einen weiteren Rückgang erwarten.

Hingewiesen werden muss jedoch darauf, dass in den in Abbildung 2 dargestellten Mittelwerten viele Einzelwerte eingeflossen sind, die sowohl deutlich darunter als auch wesentlich darüber lagen. Dabei finden sich sowohl Rang- und Reihenfolgen im Hinblick auf Bewirtschaftung als auch bei den einzelnen Fruchtarten (KURZER, 2002).

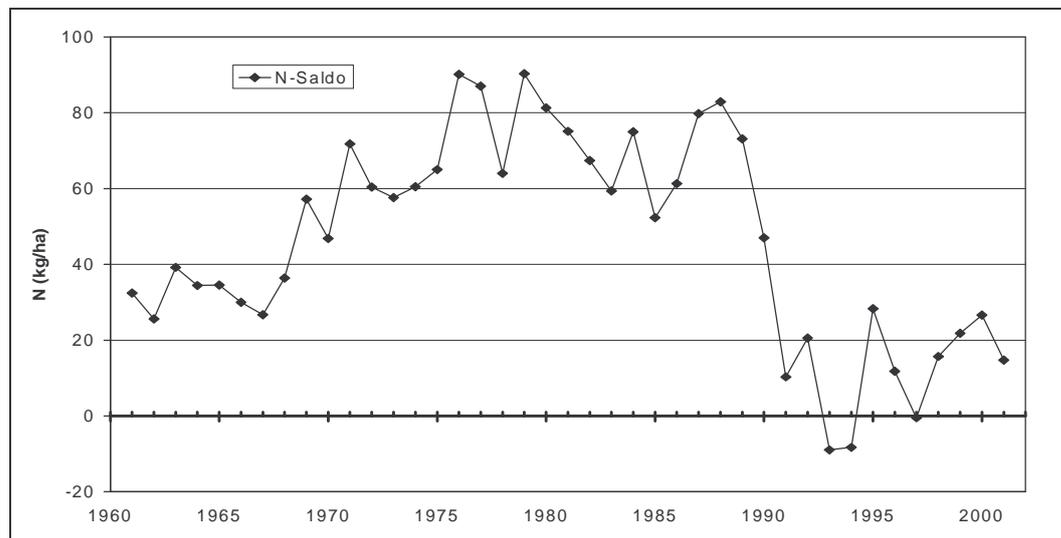


Abbildung 1: N-Salden für das Gebiet von Sachsen in den Jahren 1960 bis 2001 (ALBERT, 2002)

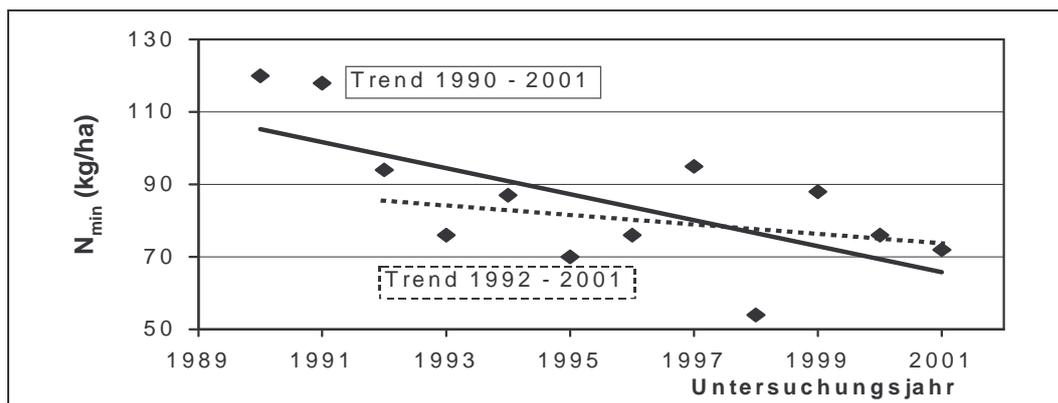


Abbildung 2: N_{min} im Herbst auf den Dauertestflächen in Sachsen und der daraus ermittelte Trend (nach Ergebnissen von KURZER, 2002)

Erhöhte Rest- N_{min} -Werte finden sich zum Ende der Vegetation besonders nach intensivem Stickstoffeinsatz, bei regelmäßiger organischer Düngung (Mais) sowie nach Fruchtarten mit stickstoffreichen Ernte- und Wurzelresten (Raps, Kartoffeln, Leguminosen und Gemüse). Im Einzelnen können die Ursachen für erhöhte Nitratgehalte sehr vielgestaltig sein. Sie bilden jedoch unter den sehr verschiedenen Standortbedingungen in Sachsen ein entsprechendes Verlustpotential.

Ziel der im Rahmen eines Projektes durchgeführten Untersuchungen war es, Möglichkeiten aufzuzeigen, wie sich unter den gegenwärtigen Produktionsbedingungen Stickstoffverluste durch geeignete acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen weiter einschränken lassen. Als praktische Möglichkeiten bieten sich dabei der Anbau von Zwischenfrüchten sowie die Erhöhung der N-Bindungsleistung einzelner Winterungen an.

Im Einzelnen wurden folgende Schwerpunkte gesetzt:

- N-Bindungsleistung von verschiedenen Zwischenfrüchten, N-Speicherung über Winter und die anschließende Remineralisierung und Ertragswirksamkeit
- Einfluss differenzierter Aussaatzeit von Winterweizen auf die N-Aufnahme sowie die Stickstoffverluste über Winter und die Auswirkungen auf den N-Bedarf im Frühjahr und den Ertrag
- Einfluss von Düngerformen und Applikation auf die N-Verluste

2 Material und Methoden

2.1 Der Anbau von Zwischenfrüchten

2.1.1 Kastenanlage in Leipzig

Gepprüft wurde der Einfluss unterschiedlicher N_{min} -Gehalte auf das Wachstum und die N-Aufnahme von Gelbsenf sowie die anschließende Wiederfreisetzung des im Pflanzenmaterial konservierten Stickstoffs. Zur Verfügung standen jeweils 20 Kleinparzellen (2,7 m²) mit anlehmigem Sand und mit

Lehm. Der N_{\min} in 0 - 90 cm Bodentiefe wurde vor der Aussaat der Zwischenfrucht untersucht und auf zwei Stufen (50 bzw. 100 kg N/ha) aufgedüngt. Ausgesät wurde Gelbsenf am 16.8.2000 auf acht Parzellen je Boden und N-Stufe. Vier Parzellen mit 100 kg N_{\min} /ha blieben brach.

Um den Weg des Stickstoffs eingehender zu verfolgen, erhielten Teilflächen der Parzellen der hohen N-Stufe vor der Aussaat 5 kg/ha markierten Stickstoff (97 Atom % ^{15}N) in Form einer Impulsmarkierung. Nach einer Probenahme (Pflanzen und Boden) zum Ende der Vegetation blieben die davon nicht betroffenen Pflanzen bis zum Frühjahr unberührt auf den Parzellen. Auf einer 0,45 m² großen Teilfläche erfolgte die Ermittlung der gebildeten Pflanzensubstanz. Davon wurde eine Mischprobe von 0,5 kg Frischmasse für die Laboruntersuchungen aufbereitet. Die restlichen Pflanzen verblieben auf der Erntefläche.

Auf der anderen N-Stufe erfolgte auf einer Teilfläche von 0,9 m² zum Ende der Vegetation ein teilweiser Austausch des gewachsenen Gelbsenf durch separat mit ^{15}N angezogene Senfpflanzen (135 kg N/ha mit 2,08 Atom % ^{15}N). Auf diese Weise war es möglich einen Ausgleich zwischen den einzelnen Parzellen vorzunehmen, so dass letztendlich auf den Parzellen mit anlehmigem Sand entsprechend 206 und auf dem Lehm 224 kg N/ha in der Zwischenfrucht gebunden vorlagen. Anschließend erfolgte eine Einarbeitung. Auf der einen Hälfte der Parzellen wurde das Pflanzenmaterial 15 bis 20 cm tief eingegraben und auf der anderen lediglich flach gemulcht (0 bis 5 cm).

Im folgenden Frühjahr wurde der N_{\min} ermittelt. Dort wo die Senfpflanzen auf den Parzellen verblieben waren, erfolgte zusätzlich eine Bestimmung der Sprossmasse und des darin befindlichen Stickstoffs. Nach Zerkleinerung wurde das Pflanzenmaterial auch hier auf jeweils vier Parzellen eingegraben bzw. eingemulcht.

Die Verfügbarkeit des durch die Zwischenfrucht konservierten N wurde durch einheitlichen Nachbau von Silomais geprüft. Voraussetzung dafür war eine maßvolle N-Düngung. Nach dem Auflaufen der Pflanzen kamen 70 (Sand) bzw. 50 kg N/ha (Lehm) als Kalkammonsalpeter zur Anwendung. Da ein beachtlicher Teil des verabreichten ^{15}N nach dem Mais noch im Boden vorhanden war, kam zur Prüfung möglicher Nachwirkungen im zweiten Jahr Winterweizen zum Anbau. Einbezogen wurden hierfür allerdings nur noch die Varianten mit und ohne Zwischenfruchtbau auf der hohen N_{\min} -Stufe im August 2000.

2.1.2 N-Bindungsleistung verschiedener Arten von Zwischenfrüchten auf typischen sächsischen Standorten

Zur Prüfung der N-Bindungsleistung verschiedener Zwischenfrüchte wurde im Herbst 2000 eine Versuchsreihe auf dem Prüffeld in Spröda und dem Versuchsfeld in Pommritz begonnen. Nach Auswertung der ersten Ergebnisse wurde das anfängliche Konzept modifiziert. Kamen im Herbst 2000 noch zwei Winterfuttraps-, Winterfuttrübsen-, Ölrettich-, Gelbsenf- und Phaceliasorten in einem Lateinischen Rechteck mit jeweils vier Wiederholungen zum Anbau, so wurde an Stelle der

Sorten das Artenspektrum durch den zusätzlichen Anbau von Buchweizen und Sommerroggen erweitert. Verglichen wurde die N-Bindungsleistung der Zwischenfrüchte mit einer selbstbegrünten Brache. Die Untersuchungen erfolgten ab dem Herbst 2001 auf fünf für Sachsen typischen Standorten. Angaben zu den Versuchsorten und zur Versuchsdurchführung finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Angaben zu den Standorten und der Versuchsdurchführung

Versuchsorte:	Christgrün	Forchheim	Pommritz	Roda	Spröda
Angaben zum Standort					
Standorttyp:	V 5	V 8a	Lö 4c	Lö 4b	D 4
Bodenart:	sandiger Lehm	sandiger Lehm	sandiger Lehm	Lehm	anlehmiger Sand
\bar{x} Ackerzahl:	35,0	33,0	61,0	68,0	30,0
Höhenlage:	430,0	565,0	230,0	224,0	120,0
Niederschlag*: \sum Jahr	722,0	879,0	698,0	711,0	547,0
\sum 2000	559,0	767,0	550,0	627,0	373,0
\sum 2001	583,0	940,0	707,0	708,0	463,0
\sum 2002	788,0	1336,0	749,0	803,0	622,0
Temperatur*: \bar{x} Jahr	7,4	6,5	8,6	8,6	8,8
Angaben zur Versuchsdurchführung					
2000/2001					
Aussaat			08.08.00		07.08.00
Ausgangs- N_{\min} N-Düngung			88 kg/ha 50 kg/ha		8 kg/ha 30 kg/ha
Pflanzenprobe: Herbst Frühjahr			26.09.00 02.04.01		25.10.00 02.04.01
Nachfrucht			Hafer		Sommergerste
2001/2002					
Aussaat	22.08.01	15.08.01	27.08.01	02.08.01	12.09.01
Ausgangs- N_{\min} ** N-Düngung	58 kg/ha 0 kg/ha	106 kg/ha 0 kg/ha	80 kg/ha 0 kg/ha	68 kg/ha 0 kg/ha	54 kg/ha 30 kg/ha
Pflanzenprobe: Herbst Frühjahr	12.11.01 18.03.02	05.11.01 18.03.02	15.11.01 06.03.01	12.11.01 06.03.02	03.12.01 06.03.02
Nachfrucht N-Düngung	Hafer 40 kg/ha	Hafer 40 kg/ha	Hafer 30 kg/ha	Hafer 30 kg/ha	Hafer 30 kg/ha

* dreißigjähriges Mittel;

** N_{\min} -Untersuchungen erfolgten in 0 bis 90 cm, auf den V-Standorten jedoch in 0 bis 60 cm Tiefe

Ermittelt wurde der Verlauf des N_{\min} unter den Zwischenfrüchten, die gebildete Trockenmasse und die N-Aufnahme bis zum Ende der Vegetation und die Veränderungen im Sprossmaterial über Winter. Die Probenahme zur Ermittlung der Spross-TM und N-Aufnahme erfolgte im Herbst und im Frühjahr auf jeweils zwei der vier Wiederholungen. Auf den im Herbst beprobten Parzellen wurde das Pflanzenmaterial anschließend eingemulcht. Um die Ertragswirksamkeit des in den Zwischenfrüchten eingebundenen Stickstoffs zu ermitteln, wurde im Frühjahr Sommergetreide (zumeist Ha-

fer) nachgebaut. Aus anbautechnischen Gründen wurde in Kauf genommen, dass durch die relativ kurze Vegetationszeit des Sommergetreides nicht die gesamte freiwerdende N-Menge in den Ertrag eingeht, wie es beispielsweise bei Zuckerrüben oder Mais der Fall wäre.

2.1.3 Anbau von Zwischenfrüchten im LVG Köllitsch

Im LVG Köllitsch kamen auf einem Al-Standort (sandiger Lehm, Ackerzahl 62, mittlerer jährlicher Niederschlag von 486 mm) Ölrettich, Gelbsef, Sommerroggen, Phacelia und natürliche Begrünung in einer Streifenanlage ohne Wiederholung nach Wintergerste zum Anbau. Durch den Einsatz von organischen Düngern vor der Aussaat der Zwischenfrüchte stand den Pflanzenbeständen hier jeweils ein sehr hohes N-Angebot zur Verfügung. Im August 2000 kamen 300 dt/ha Stallmist (165 kg N_t/ha) bzw. im darauf folgenden Herbst eine Güllegabe von 40 m³/ha (130 kg N_t/ha) zur Anwendung.

Von besonderem Interesse waren die Veränderungen im N_{min} des Bodens, die Substanzbildung und N-Aufnahme der Pflanzenbestände bis zum Ende der Vegetation sowie der Verbleib des konservierten N bis zum Frühjahr.

2.1.4 Untersuchungen zum löslichen Stickstoff in Zwischenfrüchten

Da aus den abgefrorenen Zwischenfrüchten über Winter beachtliche N-Mengen ohne adäquaten Substanzverlust verloren gingen, wurde in Modellversuchen überprüft, wie vollständig lösliche N-Verbindungen nach Frosteinwirkung und anschließender Behandlung mit Wasser in diesem Pflanzenmaterial verbleiben.

Hierzu wurde Gelbsef bei differenziertem N-Angebot - unter Zugabe von 0, 1, 2 und 4 g Ammoniumnitratstickstoff je Gefäß - angezogen. Nach dem Erreichen der Vollblüte, die der Gelbsef häufig beim Anbau als Herbstzwischenfrucht erreicht, wurden die gewachsenen Pflanzen aufgeteilt. Ein Drittel wurde unverzüglich getrocknet und einer N-Bestimmung unterzogen, während ein weiteres Drittel nach der Entnahme für 48 h im Kühlschrank (8°C) aufbewahrt wurde, kamen die restlichen Pflanzen samt Gefäß für die gleiche Zeit in einer Gefriertruhe bei - 18°C. Anschließend wurden die frisch gehaltenen Pflanzen aus dem Kühlschrank sowie abgefrorenen Senfpflanzen aus der Gefriertruhe für 30 Minuten in einen halben Liter Wasser gelegt und mehrmals leicht geschüttelt. Sowohl im Wasserextrakt als auch im verbliebenen Pflanzenmaterial wurde der N_t sowie der Nitrat-N ermittelt.

In einem weiteren Modellversuch wurde Pflanzenmaterial (Ölrettich, Phacelia und Sommerroggen) nach den ersten Nachtfrosten im November 2001 vom Feld geholt und in den Boden eingebracht bzw. auf dem Boden belassen. Entsprechend der auf dem Feld herangewachsenen TM je ha wurde die Pflanzensubstanz bezogen auf die Oberfläche der verwendeten Versuchsgefäße bemessen. Die Untersuchungen erfolgten in Mitscherlichgefäßen. Als Substrat diente ein Lößboden (6 kg trockener Boden je Gefäß), der auf eine Feuchte von 15 Masse-% eingestellt wurde. Nach dem An-

setzen am 22.11.01 wurden die Gefäße auf der Mikroparzellenanlage in Leipzig in den Boden eingegraben und bis zum 16.04.02 den natürlichen Witterungsverhältnissen ausgesetzt.

Das Pflanzenmaterial wurde in perforierte Beutel eingebracht. Das oberflächlich ausgebrachte Material war so vor Verlust geschützt und die eingearbeiteten Pflanzen konnten einfacher bei der Probenahme vom umgebenen Boden getrennt werden. Bei einer Lochgröße von 2 mm hatten selbst Regenwürmer Zutritt.

2.2 Untersuchungen zur differenzierten Aussaatzeit von Winterweizen

Die Untersuchungen erfolgten 2000/2001 auf vier und im folgenden Versuchsjahr 2001/2002 auf zwei verschiedenen Standorten (Tabelle 2).

Tabelle 2: Angaben zu den Versuchsstandorten

Versuchsjahr 2000/2001										
Standort	Köllitsch			Brinnis			Hirschfeld		Plaußig	
NStE	Al 3			D 2			Lö 4		Lö 4	
Bodenart	sandiger Lehm			anlehmiger Sand			Lehm		sandiger Lehm	
Sorte	Cardos			Kontrast			Charger		Tarso	
Aussaat am	25.08.	15.09.	11.10.	11.09.	28.09.	16.10.	01.09.	25.09.	11.09.	17.10.
Saatstärke (Körner/m ²)	250	300	350	250	300	350	220	270	300	350
Versuchsjahr 2001/2002										
Standort	Köllitsch			Brinnis						
NStE	Al 3			D 3						
Bodenart	sandiger Lehm			lehmiger Sand						
Sorte	Cardos			Kontrast						
Aussaat am	28.08.	18.09.	10.10.	17.09.	15.10.	05.11.				
Saatstärke (Körner/m ²)	250	300	350	250	300	350				

Dazu wurde auf dem sandigen Lehm in Köllitsch sowie auf dem anlehmigen Sand in Brinnis jeweils an drei Terminen ausgesät. Die Aussaat erfolgte Ende August/Anfang September (extrem zeitig, mit 250 Körner je m²), Mitte September (zeitig, mit 300 Körnern je m²) und Anfang Oktober (normal mit 350 Körnern je m²). Vorfrucht war einheitlich jeweils Winterrraps.

Bei den zum Anbau gekommenen Sorten handelte es sich bis auf Charger um Ährentypen. Zwar lassen sich aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen in Sachsen noch keine Sortenempfehlungen für zeitige Aussaaten ableiten (BEESE und BÖHME, 2002), allerdings gehört die Sorte Cardos zu denn wenigen, die beispielweise für das Anbaugebiet in Sachsen-Anhalt dafür empfohlen wird (HARTMANN, 2002). Auf den Teilflächen im LVG Köllitsch wurden in beiden Versuchsjahren zusätzlich Kleinparzellen mit unterschiedlicher N-Düngung angelegt sowie - in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Integrierter Pflanzenschutz - Untersuchungen zum Einfluss des Aussaattermins auf das Krankheitsgeschehen im Winterweizen durchgeführt. Erste Ergebnisse dazu wurden bereits von WEISKE (2002) vorgestellt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Der Anbau von Zwischenfrüchten

3.1.1 Kastenanlage in Leipzig

Neben der Bindungsleistung in Abhängigkeit vom N-Angebot interessierten bei diesen Untersuchungen besonders der Verlauf und der Umfang der anschließenden Remineralisation des konservierten Stickstoffs. Mit Gelbsenf kam eine in Sachsen häufig für diese Zwecke eingesetzte Pflanzenart zum Anbau. Nach zügiger Jugendentwicklung ist er in der Lage bei abnehmender Tageslänge noch beachtliche Substanzbildung zu vollziehen und stirbt nach den ersten stärkeren Nachfrösten regelmäßig ab. Unter den günstigen Wachstumsbedingungen im Spätsommer 2000 wurden außergewöhnlich hohe Sprossstrockenmassen gebildet. Mit steigendem N-Angebot ergab sich nochmals ein deutlicher Zuwachs (Tabelle 3). Auf dem Lehmboden sind es mit > 150 kg/ha N-Mengen, die von Winterungen kaum gebunden werden. Gelegentlich finden sich derartige Beträge in überwachsenen Winterrapsbeständen, die dann allerdings verstärkt von Auswinterung und Krankheitsbefall betroffen sind. Es zeigte sich, dass die N-Aufnahmen bis zum Ende der Vegetation deutlich die im August vorhandenen N_{min} -Beträge übertrafen. Auf dem Lehm betrug sie sogar etwa das Dreifache. Sichtbar wird hier der enge Zusammenhang, der im Herbst bei ausreichender Bodenfeuchte und günstigen Temperaturen zwischen gutem Wachstum der Pflanzen und dem Nachlieferungsvermögen des Bodens besteht. Das betrifft regelmäßig die besseren Böden und findet sich natürlich insgesamt nach der Ernte von Vorfrüchten mit stickstoffreichen Ernte- und Wurzelresten (Raps, Kartoffeln, Leguminosen, Gemüse) und bei vorausgegangener organischer Düngung.

Tabelle 3: Gebildete Spross-TM und N-Entzüge bis zum Ende der Vegetation in Abhängigkeit vom N_{min} zur Aussaat des Gelbsenfs

N_{min} zur Aussaat kg/ha in 0-90 cm	anlehmiger Sand		Lehm	
	Spross-TM (dt/ha)	N-Entzug (kg/ha)	Spross-TM (dt/ha)	N-Entzug (kg/ha)
50	39	84	63	149
100	60	128	78	184

Tabelle 4: N_{min} in Abhängigkeit von der Bodenart und seiner Nutzung in der Zeit vom Spätsommer 2000 bis zum Winter

Bodenart	Zwischenfruchtanbau	N_{min} (kg/ha in 0 - 90 cm)		Differenz	N-Entzug kg/ha	Netto-N-Freisetzung
		15.8.2000	6.12.2000			
Anlehmiger Sand	mit	50	18	-32	85	53
	mit	100	21	-79	128	49
	ohne	100	129	29	0	29
Lehm	mit	50	37	-13	149	136
	mit	100	24	-76	184	108
	ohne	100	220	120	0	120

Für die Vermeidung von Verlusten ist letztendlich entscheidend, wie vollständig der N_{\min} bis zum Winter aufgenommen wird. Mit N_{\min} -Mengen in der Tiefe von 0 bis 90 cm von 20 kg/ha auf dem Sand bzw. 30 kg/ha auf dem Lehm gelang dies in wünschenswerter Weise (Tabelle 4 und Abbildung 3). Die Werte der zusätzlich angelegten Bracheparzellen veranschaulichen auffallend die Bedeutung von entsprechendem Pflanzenbewuchs. Während sich der Ausgangswert im N_{\min} auf dem anlehmigen Sand um 29 kg/ha erhöhte, hatte er sich auf dem Lehm sogar verdoppelt.

Um die Gefährdungspotentiale bei Schwarzbrache anschaulich darzustellen, wurden in Tabelle 5 die in etwa in der Bodenlösung vorhandenen Nitratkonzentrationen im Vergleich zum Zwischenfruchtanbau berechnet. Unter dem schwarzbrach gehaltenen Boden ergaben sich beachtliche Nitratkonzentrationen, die weit über den Grenzwert für Trinkwasser liegen.

Bei der Beurteilung der errechneten Nitratkonzentrationen muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass es sich nur um eine grobe Überschlagsrechnung handelt. Einerseits war die Anfangskonzentration in den einzelnen Bodentiefen unterschiedlich und andererseits erfolgt die Abwärtsbewegung des Bodenwassers zur Einstellung der Feldkapazität (FK) nicht gleichmäßig. Insbesondere bei größeren Niederschlagsereignissen versickert das Wasser bevorzugt in den Makroporen, so dass es nur sehr unvollständig zum Konzentrationsausgleich innerhalb der Bodenlösung kommt und in dem abfließenden Wasser geringere Nitratmengen enthalten sind.

Tabelle 5: Überschlagsrechnung zur Nitratkonzentration im Bodenwasser zum Ende der Vegetation im Dezember 2000 mit und ohne Zwischenfruchtanbau beim Erreichen der Feldkapazität in 0 bis 90 cm Bodentiefe

Merkmal	anlehmiger Sand		Lehm	
	Feldkapazität (Masse %)	14		21
Liter H ₂ O in 0 bis 90 cm bei Feldkapazität des Bodens	1.890.000		2.646.000	
Zwischenfruchtanbau	mit	ohne	mit	ohne
Nitrat-N (kg/ha in 0 bis 90 cm)	9	112	12	199
Nitrat (kg/ha in 0 bis 90 cm)	40	496	53	881
Nitratkonzentration in der Bodenlösung bei Feldkapazität (mg NO ₃ /l H ₂ O)	21	262	20	333

Im Hinblick auf mögliche N-Verluste kommt der herbstlichen N-Freisetzung besondere Beachtung zu. Für ihre Beurteilung müssen die Beträge unter Bewuchs herangezogen werden (Tabelle 4, letzte Spalte). Mit mehr als 50 bzw. 120 kg N/ha, die im Wesentlichen aus der Mineralisation stammen, handelt es sich hier um außergewöhnlich hohe Werte. Während sich diese N-Menge auf der Brache des Lehmbodens wieder findet, war auf dem Sand bereits ein Teil des Nitrat-N bis Anfang Dezember aus der untersuchten Bodentiefe verlagert. Dies deckt sich mit den Erfahrungen auf den leichteren Böden insgesamt, wo schnell die Wassersättigung erreicht wird, so dass relativ häufig schon in der Vegetationsperiode Stickstoff ausgewaschen wird. Bei derartig hoher Netto-N-

Freisetzung ist die Frage nach der Deckung des herbstlichen N-Bedarfs durch zusätzliche N-Düngung noch kritischer zu sehen. Das betrifft natürlich besonders Flächen mit regelmäßiger organischer Düngung. Durch die Anreicherung von leicht zersetzbaren organischen N-Verbindungen erreicht hier die herbstliche Mineralisation oft ein besonders hohes Ausmaß.

Zwischenfruchtanbau führt unter günstigen Wachstumsbedingungen nicht nur zu hoher N-Konserverung, auch bei den übrigen Nährstoffen erfolgten beachtliche Entzüge (Tabelle 6). Davon profitiert - beim Verbleib der Pflanzen auf dem Feld - auch die Folgekultur. Bei deutlich rückläufigem Einsatz der Grundnährstoffe in den letzten Jahren und negativen Bilanzsalden in Sachsen (ALBERT, 2002) schaffen die Zwischenfrüchte zwar keinen Ersatz. Da jedoch bei Verarmung der Ackerkrume der Beitrag des Unterbodens deutlich ansteigt (RENGER u. a., 1993), erhöht sich nach der Wiederfreisetzung aus diesem Pflanzenmaterial kurzfristig die Verfügbarkeit dieser Nährstoffe in der Ackerkrume. Besondere Bedeutung hat das auf den leichten Böden.

Tabelle 6: Trockenmassebildung und Nährstoffentzug von Gelbsenf in Abhängigkeit von Bodenart und N_{min} im Herbst 2000

Bodenart	N_{min} zur Aussaat	TM-Ertrag	Nährstoffentzug (kg/ha)			
	kg/ha in 0 - 90 cm		Dt/ha	N	P	K
anlehmiger Sand	50	39	84	10	75	8
	100	64	135	16	164	14
Lehm	50	63	149	24	223	16
	100	84	198	38	354	24

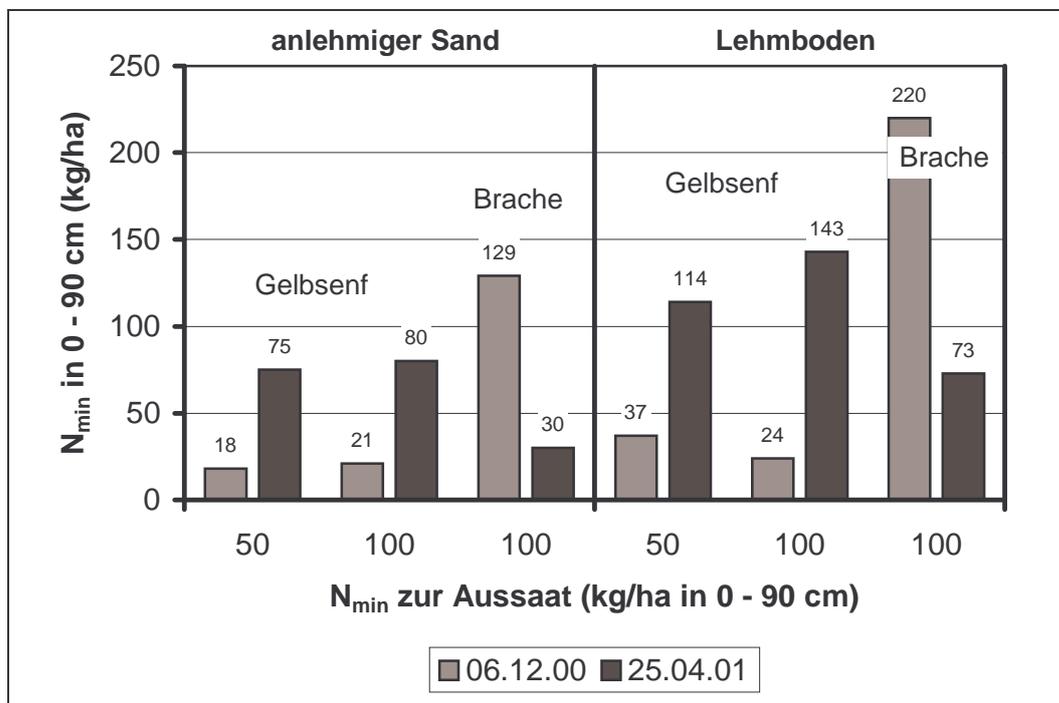


Abbildung 3: N_{min} des Bodens mit und ohne Zwischenfruchtanbau vor und nach dem Winter

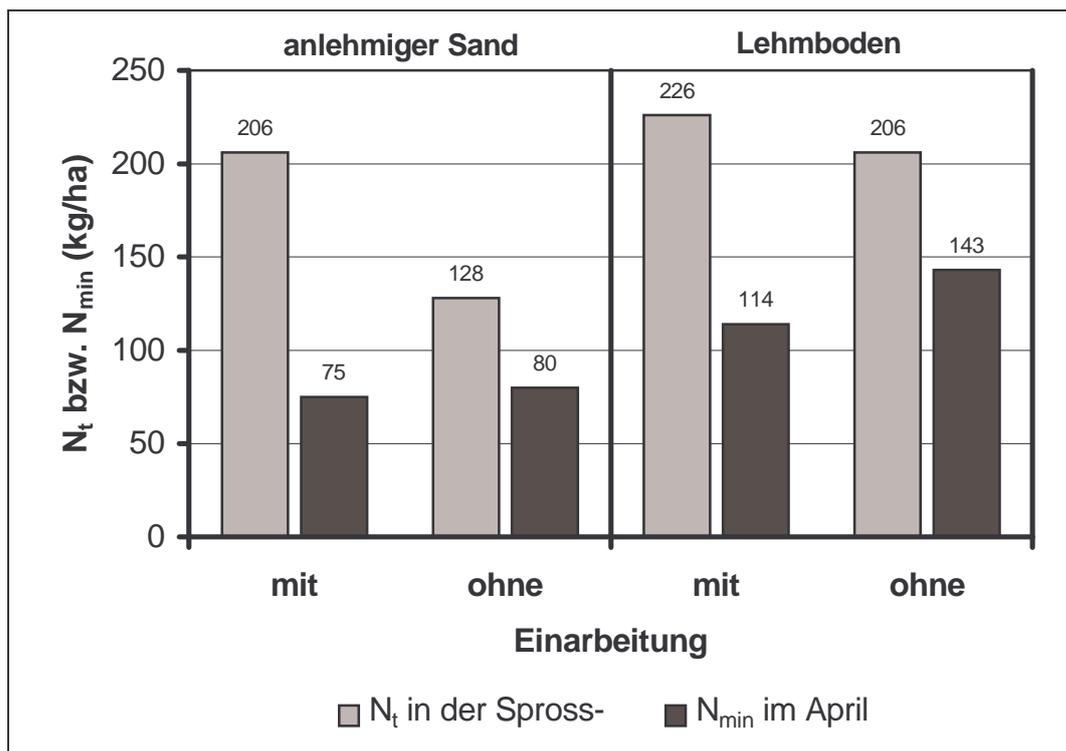


Abbildung 4: N_t in der Spross-TM vor dem Winter und der N_{min} im Frühjahr mit und ohne Einarbeitung

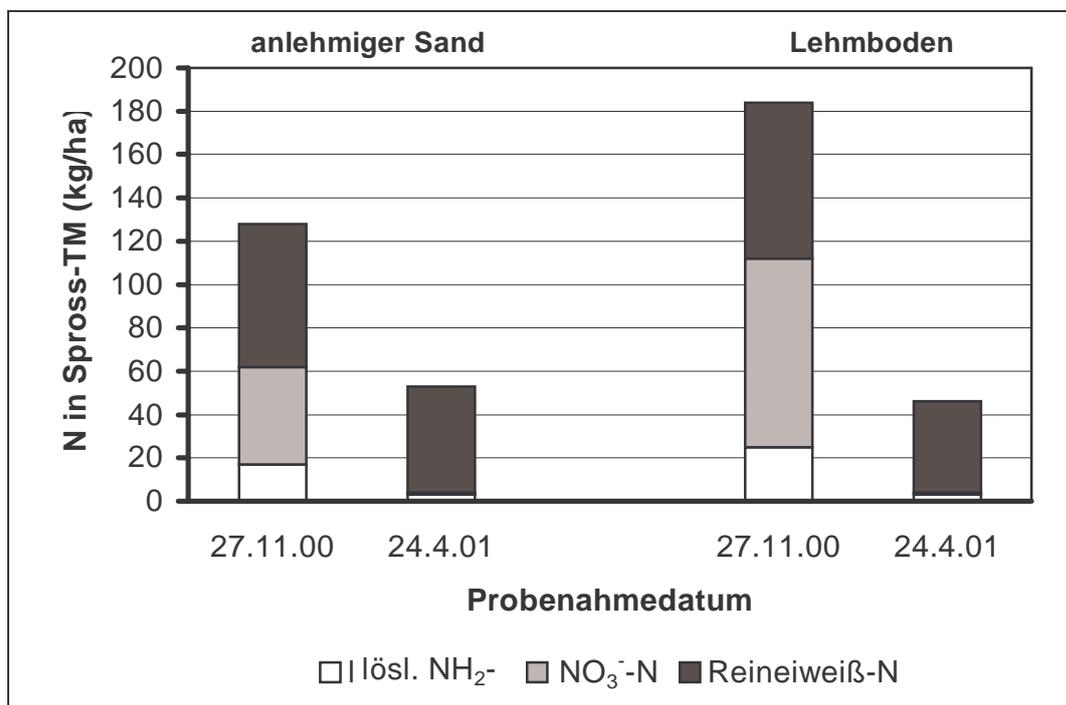


Abbildung 5: N-Fractionen in der Spross-TM zum Ende der Vegetation und nach dem Winter

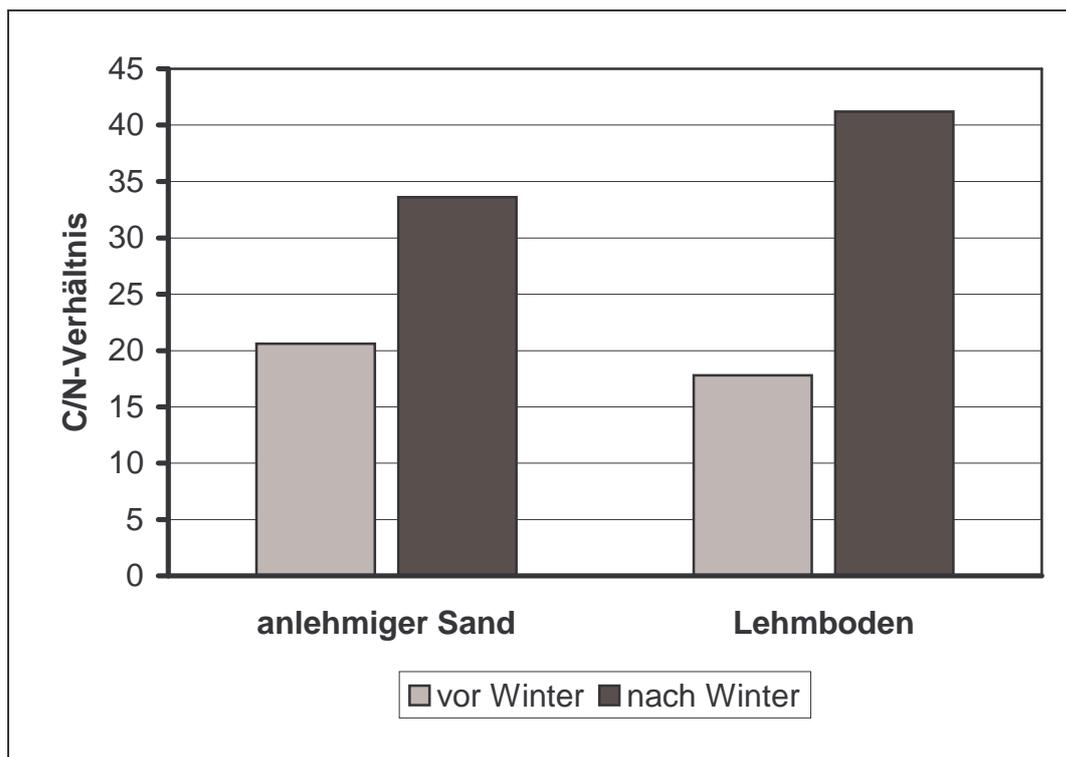


Abbildung 6: C/N-Verhältnisse der Spross-TM des Gelbsenf vor und nach dem Winter

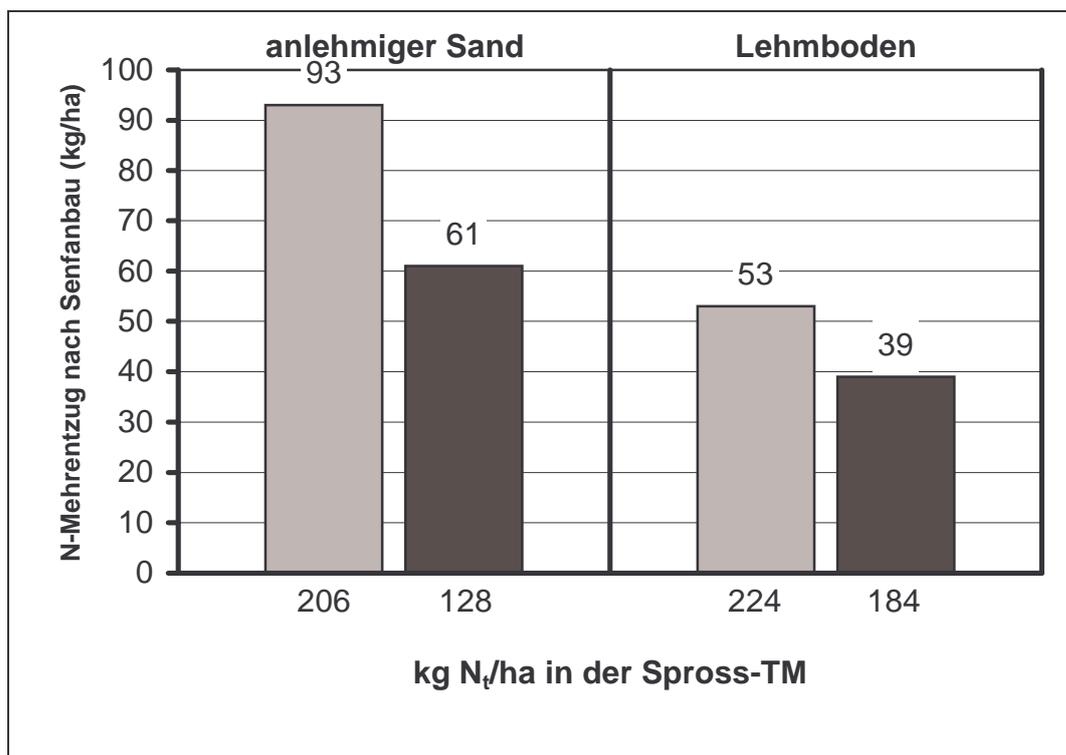


Abbildung 7: N-Mehrentzug nach Zwischenfruchtanbau im Vergleich zur herbstlichen Brache

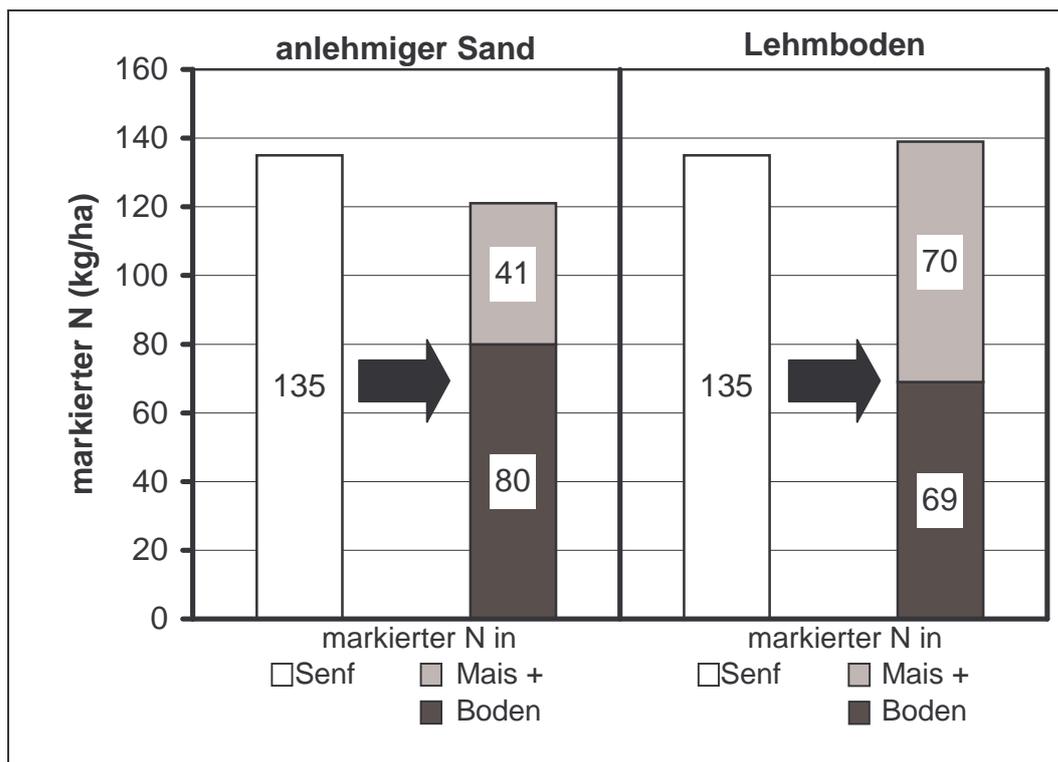


Abbildung 8: Verbleib des vor dem Winter eingearbeiteten markierten Zwischenfrucht-N bis zur Maisernte

Während vor dem Winter die N_{\min} -Werte unter der Zwischenfrucht sehr niedrig und unter der Brache deutlich erhöht waren, kehren sich die Verhältnisse bis zum Frühjahr um (Abbildung 3). Die unter der Brache aus 0 bis 90 cm Tiefe ermittelten N-Austräge sind mit 99 kg/ha auf dem Sand und sogar mit 147 kg/ha auf dem Lehm beachtlich. Zur gleichen Zeit steigt der N_{\min} unter den Zwischenfrüchten bereits wieder an.

Tabelle 7: Veränderungen über Winter in der N-Menge der nicht eingearbeiteten Senftrockenmasse sowie im N_{\min} des Bodens

Boden	N_t im Spross		Abnahme des Stickstoffs in der Sprosstrockenmasse		Zunahme im N_{\min} in 0 bis 90 cm kg/ha
	Vorwinter	Frühjahr	N_t	lösliche N-Verbindungen	
	kg/ha		kg/ha		
Sand	128	53	75	58	59
Lehm	184	45	139	108	119

Die unterschiedliche Einarbeitung der Pflanzen vor dem Winter hatte keinen Einfluss auf die N-Freisetzung. Das Belassen der abgefrorenen Pflanzenbestände auf dem Boden und ihre Einarbeitung erst kurz vor der Aussaat der Folgefrucht hatte bei deutlich niedrigeren N-Mengen in den Sprossen den Effekt, dass im April auf dem Sandboden gleiche und auf dem Lehm sogar signifikant höhere N_{\min} -Mengen vorlagen (Abbildung 4). Diese Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass unter dem Gesichtspunkt der Verlustminderung eine Einarbeitung unmittelbar vor dem

Winter bei nicht winterharten Pflanzen mit hohem Anteil löslicher N-Verbindungen empfehlenswert ist. In welchem Umfang das noch ohne negative Folge für den Boden möglich ist, hängt vom Standort und vor allem von der Wassersättigung des Bodens ab. Auf den von Auswaschungsgefahr besonders betroffenen leichten Böden sollte es zumeist jedoch möglich sein.

Bemerkenswert ist, dass bei Verbleib der Pflanzen über Winter auf dem Boden die Zunahme an N_{\min} im Wesentlichen dem Rückgang an löslichen N-Verbindungen aus der Sprosstrockenmasse entspricht (Tabelle 7). Die Veränderungen in den einzelnen Stickstofffraktionen betreffen vor allem den Nitrat-N, der nach dem Abfrieren vollständig aus dem Pflanzenmaterial verschwindet (Abbildung 5) und ohne mikrobielle Aktivität den N_{\min} des Bodens direkt erhöht. Neben dem Stickstoff sind davon natürlich auch andere in löslicher Form vorliegende Nährstoffe betroffen (MILLER u. a., 1994).

Zwar konnte bis zum Frühjahr auch ein Rückgang in der Sprosstrockenmasse verzeichnet werden. Vermutlich handelt es sich dabei vor allem um Bröckelverluste durch Einwirkung der Winterwitterung. Anteilmäßig waren allerdings die N-Verluste wesentlich größer. Damit erweiterte sich das C/N-Verhältnis des verbliebenen Pflanzenmaterials erheblich (Abbildung 6). Lag es zum Ende der Vegetation um 20, so erweiterte es sich bis zum April bei dem vormals stickstoffreichen Senfpflanzen auf dem Lehm auf über 40. Damit kommt das verbliebene Pflanzenmaterial in dieser Beziehung Stroh sehr nahe (vgl. unter 3.4). Bei Einarbeitung in den Boden und der im Frühjahr einsetzenden Mineralisation lässt das keine Nettofreisetzung von pflanzenverfügbarem Stickstoff erwarten.

Insbesondere wenn Pflanzenbestände ausschließlich auf Stickstoff aus der Mineralisation angewiesen sind, führt das schnell einmal zu Mangel. Das erklärt verschiedentlich gemachte Beobachtungen im Ökologischen Landbau, wo insbesondere auf den guten tiefgründigen Böden nach Zwischenfrüchten (Nichtleguminosen) die Erträge niedriger ausfallen als nach herbsterlicher Brache. Ursache dafür ist, dass hier relativ oft der pflanzenverfügbare N über Winter weniger vollständig verlagert wird und in der effektiven Durchwurzelungstiefe der nachfolgenden Frucht verbleibt, während nach Zwischenfrüchten das weite C/N-Verhältnis in den verbliebenen Pflanzenresten bei einsetzender Remineralisierung für eine zumindest zeitweilige Stickstoffimmobilisation sorgt. Auf tiefgründigen Böden ist es unter diesen Bedingungen erfolversprechender als Zwischenfrucht Leguminosen anzubauen bzw. Nichtleguminosen durch entsprechende organische Dünger angemessen mit Stickstoff zu versorgen. Dort wo pflanzenverfügbarer N regelmäßig aus dem Wurzelraum der Pflanzen ausgetragen wird, ist es dann jedoch angezeigt die organischen Dünger in jedem Fall erst im Frühjahr anzuwenden.

Die unterschiedliche Einarbeitung des Gelbsenf - sowohl im Vorwinter als auch im Frühjahr - hatte keinen Einfluss auf die Trockenmassebildung und N-Aufnahme des nachgebauten Silomais. In Abbildung 7 und Tabelle 8 sind deshalb die jeweiligen Stufen als Mittelwert zusammengefasst.

Tabelle 8: Trockenmasseertrag und N-Entzug von Silomais in Abhängigkeit von der durch die Zwischenfrucht konservierten Stickstoffmenge

N-Zufuhr (kg/ha)		anlehmiger Sand		N-Zufuhr (kg/ha)		Lehm	
Zwischenfrucht (N _i)	Mineraldünger	TM-Ertrag dt/ha	N-Entzug kg/ha	Zwischenfrucht (N _i)	Mineraldünger	TM-Ertrag dt/ha	N-Entzug kg/ha
0	70	165	206	0	50	190	264
128	70	197	259	184	50	225	303
206	70	226	299	224	50	244	325
GD 5%		16	61			32	42

Auf dem anlehmigen Sand ergaben sich zwischen den Prüfgliedern signifikante Unterschiede im Trockenmasseertrag. Ein Mehrentzug von 53 bzw. 93 kg N/ha im Vergleich zur Brache entspricht etwa 40 bis 45 % des bis zum Winter in der Sprossrockenmasse der Senfzwischenfrucht eingelagerten Stickstoffs.

Das Ertragsniveau auf dem Lehmboden war insgesamt etwas höher und ein signifikanter Unterschied ergab sich nur zur Brache. Der Termin der Einarbeitung hatte keinen Einfluss. Die ermittelten Mehrentzüge betragen 39 bzw. 61 kg N/ha. Das entspricht etwa 25 % des vor dem Winter in den Senfsprossen vorliegenden Stickstoffs. Erst einmal hat es den Anschein, dass der Beitrag des im Gelbsenf konservierten Stickstoffs hier deutlich geringer als auf dem Sand ausfiel. Wie später noch gezeigt wird, war das allerdings nicht der Fall. Vielmehr profitierte der Mais auf den Parzellen mit der herbstlichen Brache von dem über Winter in tiefere Schichten verlagerten Stickstoff.

Auf tiefgründigen Böden in trockenen Lagen finden sich auch beim Mais Wurzeltiefen unterhalb von 150 cm Tief (SAUER u. a., 2002). Ob das auch in der Kastenanlage der Fall war, ist aufgrund des Unterbodens eher unwahrscheinlich. Der dort einheitlich ab etwa einem Meter anstehende Auenlehm hat jedoch die Nitratverluste deutlich eingeschränkt und dürfte eine noch stärkere Differenzierung zwischen dem Sand- und dem Lehmboden verhindert haben.

Dass der in Zwischenfrüchten konservierte Stickstoff nicht nur eine kurzfristige N-Quelle darstellt, zeigte sich im zweiten Nachbaujahr. Auf beiden Böden reagierte der angebaute Winterweizen - bei sonst gleicher Behandlung - mit Mehrerträgen beim Korn, die auf dem Sandboden sogar signifikant waren (Tabelle 9).

Tabelle 9: Wirkung des Zwischenfruchtanbaus im zweiten Nachbaujahr auf Ertrag und N-Entzug von Winterweizen bei einheitlicher Düngung (160 kg N/ha) in Abhängigkeit von der Bodenart

Boden	Zwischenfrucht	Trockenmasseertrag (dt/ha)		N-Entzug kg/ha
		Korn	Stroh	
anlehmiger Sand	Mit	59,7	64,2	187
	Ohne	56,7	60,4	178
GD 5%		2,3	n.s.	n.s.
Lehm	Mit	67,4	76,8	208
	Ohne	66,2	79,8	202
GD 5%		n.s.	n.s.	n.s.

Um den Verbleib des Stickstoffs eingehender zu verfolgen, sollen im Folgenden die Ergebnisse der ^{15}N -Untersuchungen vorgestellt werden. Von dem im August 2000 in Form einer Impulsmarkierung ausgebrachten Stickstoff - als Teil des bereits vor der Aussaat vorhandenen N_{min} - konnten bis zum Ende der Vegetation auf dem Sand etwa 80 und auf dem Lehm sogar knapp 90 % nachgewiesen werden (Tabelle 10). Davon befanden sich zwei Drittel in der Spross-TM und ein Drittel als organisch gebundener N im Boden. Da unter der Brache der ^{15}N ausschließlich in mineralischer Form vorlag, muss der Einbau in die organische Fraktion über den Senf erfolgt sein.

Das Vordringen in die tieferen Bodenschichten war dann das Ergebnis von Wurzelwachstum und den dabei abgegebenen Exsudaten. Diese wurden vermutlich zügig von den in der Rhizosphäre lebenden Mikroorganismen in zum Teil sehr stabile N-Verbindungen umgesetzt.

Ohne Bewuchs fanden sich im Dezember auf dem Sand nur noch 46 % dieses Stickstoffs wieder. Das ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass auf dem leichten Boden bereits vor dem Winter Nitrat-N aus der untersuchten Bodenschicht von 0 bis 90 cm ausgetragen wurde. Folglich muss die herbstliche N-Freisetzung hier sogar deutlich über den in Tabelle 4 errechneten 50 kg/ha gelegen haben. Hinsichtlich des markierten Stickstoffs gab es auf dem Lehmboden dagegen keine Differenzierung zwischen den Parzellen mit und ohne Zwischenfrüchte. Wie bereits erwähnt, bestand der Unterschied lediglich in der vorherrschenden Bindungsform des Stickstoffs.

Die Abnahme an markierten N in der Gelbsenf trockenmasse im Verlauf des Winters stimmt gut mit dem Rückgang an Gesamtstickstoff im Pflanzenmaterial überein. Dieser Betrag findet sich dann im Gesamtstickstoff des Bodens wieder. Der freigesetzte N war selbst auf dem Sand bei 179 mm Niederschlag von Dezember bis April nicht von Verlusten betroffen. Ganz anders unter der Brache, wo lediglich auf dem Lehm noch die Hälfte des im August in die Ackerkrume eingebrachten markierten N wiedergefunden wurde. Ein starkes Pik fand sich zu diesem Zeitpunkt in 60 bis 90 cm Tiefe. Über Winter hatte er also eine deutliche Verlagerung erfahren. Für den nachgebauten Silomais war dieser Anteil gut verfügbar und erscheint im erzielten Ertrag wieder.

Von dem im August 2000 im Boden vorhandenen N_{min} konnten nach einem Jahr bei Zwischenfruchtanbau immer noch 80 bis 90 % nachgewiesen werden. Im Mais selbst fanden sich davon 21 % (Sand) bzw. 41 % (Lehm). In welchem Umfang daran der ^{15}N aus der Zwischenfrucht oder aus der organischen Bodensubstanz beteiligt waren, lässt sich hier nicht abschätzen. Anders dort, wo separat mit markiertem Stickstoff angezogene Senfpflanzen vor dem Winter ausgebracht wurden. Der Silomais entzog von der zugeführten N-Menge auf dem Sand 41 und auf dem Lehm 70 kg/ha, das entspricht 30 bzw. 52 % des mit den Senfpflanzen zugeführten Stickstoffs (Abbildung 8). Das stimmt gut mit den zuvor errechneten Beträgen überein. Vom Mais wurde also vor allem markierter Stickstoff aus der Zwischenfrucht aufgenommen. Der bereits vor dem Winter in die organische Fraktion des Bodens eingebundene N war dagegen kaum verfügbar.

Tabelle 10: Verbleib des im August 2000 ausgebrachten ¹⁵N bis zur Ernte des Silomais im September 2001 (kg/ha)

Termin	Maßnahme/ Merkmal	anlehmiger Sand Zwischenfrucht		Lehm Zwischenfrucht	
		mit	ohne	mit	ohne
August 2000	verabfolgter ¹⁵ N	5,00	5,00	5,00	5,00
Dezember 2000	¹⁵ N im Spross (Senf)	2,59	-	3,04	-
	¹⁵ N im Boden	1,53	2,26	1,28	4,28
	Wiederfindung (%)	82,00	46,00	86,00	86,00
April 2001	¹⁵ N im Spross (Senf)	0,83	-	0,55	-
	¹⁵ N im Boden	3,88	0,10	3,89	2,84
	Wiederfindung (%)	94,00	2,00	89,00	57,00
September 2001	¹⁵ N im Spross (Mais)	0,83	0,51	1,77	1,83
	¹⁵ N im Boden	3,62	0,70	2,11	0,79
	Wiederfindung (%)	89,00	24,00	78,00	52,00
August 2002	¹⁵ N Abfuhr (mit Mais und Weizen)	1,14	0,81	1,98	2,45
	¹⁵ N im Boden	2,61	0,03	3,22	1,42
	Wiederfindung (%)	84,00	16,00	104,00	77,00

Unter der Brache profitierte der Mais sowohl auf dem Sand als auch auf dem Lehm von dem unterhalb von 90 cm Bodentiefe ausgetragenen Stickstoff. Insbesondere bei anderem Unterboden und auf flachgründigeren Standorten ist das häufig nicht der Fall.

Der im zweiten Jahr nachgebaute Winterweizen entzieht weniger als 10 % des verbliebenen markierten N. Zwei Jahre nach dem Zwischenfruchtanbau sind insgesamt erst 30 bis 40 % des zu Beginn der Untersuchungen vorhandenen Stickstoffs entzogen. Der überwiegende Teil liegt als organischer Bodenstickstoff vor. Die besonders auf dem Lehm aufgetretene Streuung zwischen den Jahren muss vor allem Unzulänglichkeiten bei der Probenahme und der Laboranalyse angelastet werden.

Fazit:

Der Anbau von Senf als Zwischenfrucht hat den N_{min}-Gehalt des Bodens bis zum einsetzenden Winter auf ein sehr niedriges Niveau abgesenkt. Das verhinderte Stickstoffverluste auch auf dem leichten Boden. Nach dem Abfrieren und Verbleib des Gelbsenf auf dem Boden erhöhte sich der N_{min} bis zum Frühjahr stärker als nach Einarbeitung zum Ende der Vegetation. Dieser Stickstoff wurde allerdings selbst auf dem leichten Boden nicht mehr aus dem Wurzelraum ausgetragen.

Der im Herbst durch den Senf inkorporierte Stickstoff findet sich im folgenden Mais zu einem Drittel (Sand) bzw. zu etwa der Hälfte (Lehm) wieder. Der restliche Teil befindet sich in der organischen Substanz des Bodens. Nach herbsthlicher Brache fanden sich von dem im Spätsommer vorhandenen pflanzeverfügbaren Stickstoff in der Maistrockmasse auf dem leichten Boden etwa 10 % und auf dem Lehm etwa 40 % wieder.

Zwei Jahre nach dem Anbau der Zwischenfrucht liegen immer noch rund 50 % des durch den Senf eingebundenen Stickstoffs im Boden in organischer Bindung vor. Die vollständige Wiederfreisetzung erfolgt demnach über einen längeren Zeitraum. Nach Zwischenfruchtanbau blieb der zu Versuchsbeginn vorhandene N_{\min} weitgehend erhalten, der sonst zu etwa 80 % (Sand) bzw. einem Drittel (Lehm) verloren ging.

3.1.2 Die N-Bindungsleistung verschiedener Zwischenfruchtarten

Neben dem Vergleich der Arten hinsichtlich Wachstum und N-Bindungsleistung war die anschließende Wiederfreisetzung sowie die Ertragsleistung dieses Stickstoffs von Interesse. Ziel war es, aus dem vorhandenen Artenspektrum für die verschiedenen Standortbedingungen in Sachsen die günstigsten Zwischenfrüchte auszuwählen.

3.1.2.1 Versuchsjahr 2000/2001

Die Untersuchungen erfolgten in Spröda und in Pommritz. Die im Herbst erzielten Trockenmassen und N-Entzüge spiegeln nicht die in diesem Versuchsjahr mögliche N-Konservierungsleistung wieder, da die Beprobung weit vor dem Abschluss der Vegetation erfolgte, die auf beiden Standorten bis in den Dezember andauerte.

Besonders interessant sind die in Spröda erzielten Ergebnisse (Tabelle 11). Nach der Vorfrucht Wintergerste waren zur Zeit der Aussaat nur 8 kg N_{\min} /ha in 0 bis 90 cm Bodentiefe vorhanden. Das Getreide hatte den pflanzenverfügbaren Stickstoff vollständig aufgenommen. Die während der Kornausbildung und Reife einsetzende Trockenheit unterband die mikrobielle Aktivität im Boden und damit die bereits häufig zu diesem Zeitpunkt beobachtete N-Freisetzung. Deshalb kam zur Förderung des Wachstums der Zwischenfrüchte eine N-Gabe von 30 kg/ha zur Anwendung und führte zu guten Pflanzenbeständen (Abbildung 9).

In der Substanzbildung bis Ende Oktober war ein leichter Vorteil bei Ölrettich und Winterfutterraps vorhanden. Die Trockenmasserträge von Phacelia fielen am niedrigsten aus. Die N-Entzüge wurden davon aber nicht beeinflusst. In der kurzen Anbauzeit konnten, abgesehen von den Winterrüben, die Zwischenfrüchte mehr als 100 kg N/ha allein im Spross binden.

Eine überschlägige Bilanz ergibt, dass mehr als 60 kg N/ha aus der Mineralisation stammen. Nach der Vorfrucht Getreide und für diesen Standort eine bemerkenswert hohe Freisetzung. Verursacht vor allem durch die intensive Saatbeetbereitung mit Pflug und Grubber sowie den besonders günstigen Witterungsverhältnissen (Temperatur und Niederschläge bis Oktober).

siert.



Abbildung 9: Blick auf die verschiedenen Zwischenfrüchte in Spröda kurz vor der Probenahme im Oktober 2000

Tabelle 11: Trockenmasserträge und N-Entzüge von verschiedenen Zwischenfrüchten auf anlehmigem Sand in Spröda im Herbst 2000 und die bis Frühjahr auf dem Boden verbliebenen Trockenmassen einschließlich des darin gebundenen Stickstoffs

Zwischenfrucht	TM	N	N-Entzug
	dt/ha	%	kg/ha
Probenahme am 25.10.2000			
Winter-Futtermispel	39	2,58	101
Winter-Rübsen	33	2,55	84
Ölrettich	44	2,50	110
Gelbsenf	33	3,25	107
Phacelia	28	3,78	106
Probenahme am 3.4.2001			
Winter-Futtermispel	43	3,22	138
Winter-Rübsen	23	3,77	87
Ölrettich	41	1,70	70
Gelbsenf	47	1,03	48
Phacelia	21	2,37	50

Die verschiedenen Zwischenfruchtarten waren in der Lage, den N_{\min} auf einem niedrigen Niveau zu halten (Abbildung 10). Mit 15 bis 30 kg N_{\min} /ha waren keine Veränderungen bis zum Frühjahr feststellbar und entsprechen etwa dem, was häufig nach normalen Wintern auf diesem Standort angetroffen wird. Ohne Zwischenfrucht betrug der N_{\min} im November 55 kg/ha. Die N-Aufnahmen unter den Zwischenfrüchten und die Verteilung im Profil deuten darauf hin, dass mit dem Auffüllen des Bodenwasservorrates bereits Nitrat tiefer als 90 cm transportiert wurde. Bis zum Frühjahr setzen sich diese Verluste fort.

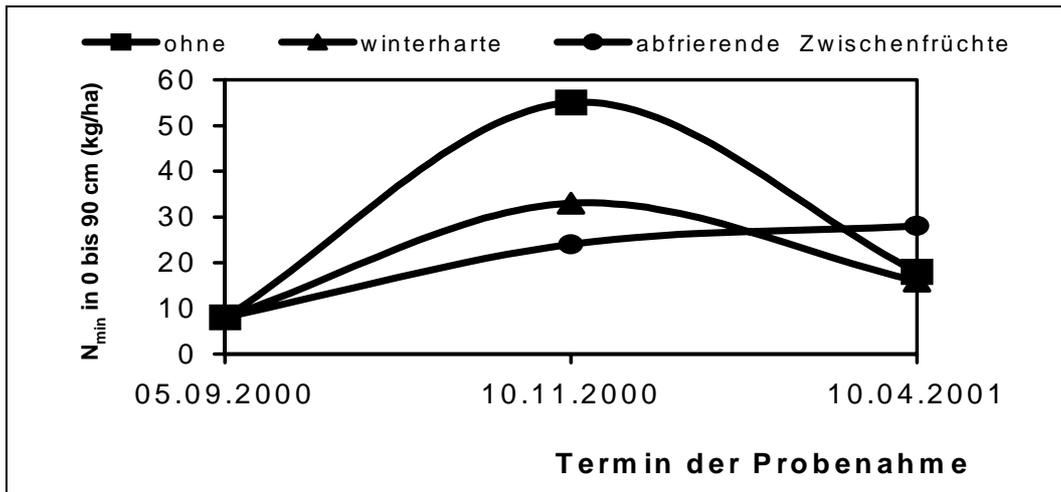


Abbildung 10: Verlauf des N_{\min} auf anlehmigem Sand in Spröda in Abhängigkeit vom Zwischenfruchtanbau

Der Verbleib des konservierten N konnte durch erneute Probenahme auf den noch nicht beernteten Wiederholungen im Frühjahr verfolgt werden. Dabei wurde deutlich (Tabelle 11, untere Hälfte), dass die Sprosstrockenmassen teilweise höher waren als im Oktober, was durch die weit über dem Probenahmetermin hinausreichende Vegetationsperiode verursacht wurde.

Sichtbar wird auch, dass die winterharten Zwischenfrüchte bis in das Frühjahr hinein den Stickstoff in den Sprossen bewahrten bzw. sogar in frostfreien Abschnitten weiter aufnahmen. Im Gegensatz dazu fand sich im verbliebenen Pflanzenmaterial der abgefrorenen Arten lediglich die Hälfte des im Herbst ermittelten N wieder. Da dieser Rückgang nicht mit einem entsprechenden Anstieg im N_{\min} des Bodens einherging, muss dies erst einmal als Verlust verbucht werden. Im Mittel der drei nicht winterharten Arten war im Frühjahr der N_{\min} in 0 bis 90 cm Tiefe lediglich um 10 kg/ha höher als bei den übrigen Prüfgliedern. Durch die im Frühjahr höhere N-Menge im Pflanzenmaterial erwiesen sich in diesem Versuchsjahr die winterharten Zwischenfrüchte auf dem leichten diluvialen Standort als wesentlich vorteilhafter.

In Pommritz erfolgte die Herbstprobenahme bereits Ende September (Tabelle 12). Dabei zeigte sich, dass bei den relativ wenigen Vegetationstagen der schnellwüchsige Gelbsenf sowohl bei der gebildeten Trockenmasse als auch bei der N-Aufnahme am günstigsten abschnitt. Die durch eine langsamere Jugendentwicklung gekennzeichnete Phacelia fiel im Vergleich dazu deutlich ab.

Die Frühjahrsbeprobung verdeutlicht zum einen das die Substanzbildung im September des Vorjahres noch nicht abgeschlossen war und zum anderen wird auch hier der Unterschied zwischen den Arten sichtbar. Während bei dem winterharten Futterraps und -rübsen die N-Gehalte und auch die in den Sprossen gebundene Stickstoffmenge weitgehend gleich blieben, nahmen sie bei den abgefrorenen Pflanzen bis zum Frühjahr deutlich ab.

Die durchgeführten Bodenuntersuchungen belegen, dass die Zwischenfrüchte den N_{\min} vollständiger erniedrigten als die natürliche Begrünung (Abbildung 11). Im Frühjahr sind diese Unterschiede nicht mehr vorhanden. Anders als auf dem Sandboden hielten sich in Pommritz die Nitratverluste auf den Parzellen mit natürlicher Begrünung in Grenzen. Unter den Zwischenfrüchten war der N_{\min} bereits bis zum April erneuter angestiegen.

Tabelle 11: Trockenmasseerträge und N-Entzüge verschiedener Zwischenfrüchte auf einem sandigen Lehm in Pommritz sowie die bis zum Frühjahr auf dem Boden verbliebene Pflanzensubstanz und der darin enthaltenen Stickstoff

Zwischenfrucht	Trockenmasse dt/ha	N %	N-Entzug kg/ha
Probenahme am 26.09.00			
Selbstbegrünung	2	5,2	10,4
Winter-Futtermispel	27	3,2	86,4
Winter-Rübsen	21	2,6	54,6
Ölrettich	24	2,9	69,6
Gelbsenf	36	3,0	108,0
Phacelia	19	3,6	68,4
Probenahme am 02.04.01			
Winter-Futtermispel	16	3,1	49,6
Winter-Rübsen	16	3,3	52,8
Ölrettich	52	1,1	57,2
Gelbsenf	39	0,9	35,1
Phacelia	15	1,1	16,5

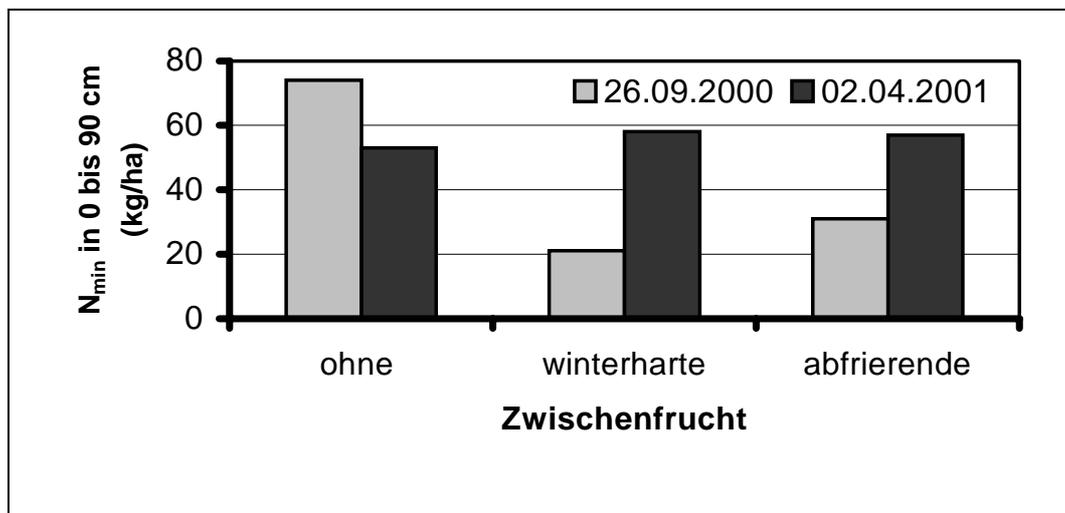


Abbildung 11: N_{\min} zur Pflanzenprobenahme Ende September 2000 und zum Beginn der Vegetation im April in Pommritz

Ein Vergleich der beiden Standorte (Tabelle 13) macht deutlich, dass trotz der kürzeren Vegetationszeit in Pommritz sowohl die Trockenmassebildung als auch die N-Aufnahme nur unwesentlich niedriger waren. In erster Linie dürfte dafür das höhere N-Angebot verantwortlich sein.

Bemerkenswert ist auch, dass nach der Vorfrucht Wintergerste in Spröda eine beachtlichen Netto-N-Freisetzung erfolgte, während auf dem Lehm in Pommritz sich ein hohes negatives N-Saldo bei der natürlichen Begrünung ergibt (Tabelle 14). Zwar kam es von August bis Ende September zu Veränderungen in der Verteilung des Nitrat-N in den verschiedenen Bodenschichten, die Niederschlagsverhältnisse dürften aber nicht zu Auswaschungsverlusten geführt haben. Ein Teil dieses Fehlbetrags kam vermutlich durch N-Immobilisation zustande. Während der Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte den Abbau der Getreidestoppel- und Wurzelreste einschränkte, war dies unter natürlicher Begrünung mit der geringen Substanzbildung nicht im gleichen Maße der Fall.

Tabelle 13: TM-Bildung und N-Entzug durch verschiedene Zwischenfrüchte auf anlehmigem Sand (Spröda) und sandigem Lehm (Pommritz) im Herbst 2000

Zwischenfrucht	Spröda (nach 72 Vegetationstagen)		Pommritz (nach 42 Vegetationstagen)	
	TM (dt/ha)	N-Entzug (kg/ha)	TM (dt/ha)	N-Entzug (kg/ha)
Winterfutterraps	39	101	30	96
Winterfutterrübe	33	84	30	77
Ölrettich	44	110	29	83
Gelbsenf	33	107	40	118
Phacelia	28	106	21	75
\bar{x}	35	102	30	90

Tabelle 14: N-Saldo mit und ohne Zwischenfruchtanbau auf sandigem Lehm in Pommritz

Zwischenfrucht	Ausgangswert N _{min} +Dünger-N	Ende September N _{min}	N-Aufnahme	N-Saldo
	kg/ha			
ohne	138	74	-	-64
mit	138	33	90	-15

Die Nachwirkungen des Zwischenfruchtanbaus wurden ohne zusätzliche N-Düngung geprüft (Tabelle 15). Die Erträge spiegeln erst einmal die unterschiedliche Fruchtbarkeit der Standorte wider. Ohne gezielten Zwischenfruchtanbau fielen auf beiden Standorten die Erträge des nachgebaute Sommergetreides deutlich ab. Auf dem leichten Boden in Spröda, wo die größte Auswaschungsgefahr besteht, konnten letztlich auch die größten Effekte mit etwa 10 dt/ha Korntrockenmasse erzielt werden. Der Unterschied zwischen den Arten war unbedeutend. Die im Frühjahr höheren N-Mengen im Pflanzenmaterial des winterharten Futterraps und -rüben brachten keinen Vorteil. Obwohl nicht signifikant, deutet sich für den Standort Pommritz jedoch an, dass sich die höhere Bindungsleistung der abfrierenden Arten im Herbst günstiger auf den nachgebaute Hafer auswirkte.

Der Anbau von Zwischenfrüchten erbrachte in diesem Versuchsjahr für das nachfolgende Sommergetreide einen Stickstoffgewinn von im Mittel 25 kg/ha auf dem Sand und 15 kg/ha auf dem Lehm. Das sind < 25 % des im Herbst gebundenen Stickstoffs. Das liegt deutlich unter dem, was beispielsweise in der Kastenanlage erzielt wurde. Es überrascht insofern aber nicht, da im Gegensatz zum Mais die Vegetationszeit des Sommergetreides wesentlich kürzer ist und so der sommerliche Mineralisationsschub - hohe Bodentemperaturen und durchgreifende Durchfeuchtung nach Gewittern - nicht genutzt werden kann. Belegt wird dies auch durch die N_{\min} -Werte nach der Ernte des Hafers in Pommritz. Während in der Bodenschicht von 30 bis 90 cm im Mittel aller Prüfglieder gerade einmal 12 kg N_{\min} /ha verblieben, waren es in der Ackerkrume auf den Parzellen mit natürlicher Begrünung 31 und nach den verschiedenen Zwischenfrüchten im Mittel sogar 40 kg/ha.

Tabelle 15: Kornertrag (dt TM/ha) des nachgebauten Sommergetreides im Versuchsjahr 2001 auf sandigem Lehm (Pommritz, Hafer) und anlehmigem Sand (Spröda, Sommergerste)

Zwischenfrucht	sandiger Lehm	anlehmiger Sand
ohne	48,3	10,1
Winter-Futerraps	50,6	18,8
Winter-Rübsen	50,1	20,7
Ölrettich	56,5	20,2
Gelbsenf	52,2	19,5
Phacelia	52,6	19,8
GD 5%	4,8	3,9

3.1.2.2 Versuchsjahr 2001/2002

Die Untersuchungen wurden im folgenden Jahr auf fünf Standorten fortgesetzt. Für die Beurteilung der erzielten Ergebnisse ist anzumerken, dass es nicht auf allen Standorten gelang die Zwischenfrüchte bis zur dritten Augustdekade auszusäen. Die abnehmende Tageslänge und niedrigere Temperaturen wirkten sich insbesondere für die Bestandesetablierung ungünstig aus und ließen im Verlauf des Herbstes nur noch eine verminderte Trockenmassebildung und N-Aufnahme erwarten. Dazu kam, dass der September kühl und feucht war, was auf den leichten und flachgründigen Standorten bereits zu Nitratverlusten aus dem Wurzelraum der Pflanzen führte.

Unter diesen Bedingungen erbrachten insbesondere Gelbsenf, Ölrettich und Phacelia die größten Trockenmassen mit 20 bis 60 dt/ha und N-Aufnahmen von etwa 70 bis 130 kg/ha (Tabelle 16, oben). Der Sommerroggen bestockte nur unzureichend, so dass zumeist keine ausreichenden Bestandesdichten erzielt wurden. Wo allerdings eine ausreichende Pflanzenzahl vorhanden war, konnte er überzeugen und konservierte 80 bis 110 kg N/ha in der oberirdischen Sprosstrockenmasse.

Als nicht geeignet für den Anbau als Herbstzwischenfrucht erwies sich auf allen Standorten der Buchweizen. Bei abnehmender Tageslänge war die vegetative Entwicklung deutlich verkürzt, und die Bestände gingen zügig in die generative Phase über. Die Folge war eine unzureichende Trockenmassebildung sowie niedrige N-Entzüge. Durch die geringe Bodenbedeckung entwickelte sich teilweise ein üppiger Unkrautbestand. Die beispielsweise in Pommritz ermittelten Trockenmasseerträge von 22 dt/ha entsprachen folglich weitgehend denen der natürlichen Begrünung.

Nach dem Winter waren sowohl die verbliebenen Trockenmassen als auch der darin eingebundene Stickstoff deutlich vermindert. Die größten N-Mengen fanden sich in der Regel zum Beginn der neuen Vegetation im Pflanzenmaterial der winterharten Arten, die auf einzelnen Standorten sogar über Winter noch einen Zuwachs erfuhren. Allerdings waren unter den schneereicheren und kälteren Bedingungen von Forchheim sowie den sehr üppigen Beständen in Pommritz starke Substanzverluste aufgetreten.

Die zum Ende der Vegetation ermittelten N_{\min} -Werte (Tabelle 17) sind insgesamt sehr niedrig und ließen über Winter kaum Verluste erwarten. Eine Überschlagsrechnung (Tabelle 19) verrät, dass insbesondere in Forchheim, wo allein im September 159 mm Niederschlag fielen, bereits während der Vegetation ein Teil des vor der Aussaat der Zwischenfrüchte vorhandenen Nitrats verloren ging. Aber auch dort, wo die Salden nahezu ausgeglichen sind, traten vermutlich Verluste in der Größenordnung der herbstlichen N-Mineralisation auf.

Die Veränderungen im N_{\min} bis zum Frühjahr sind zumeist gering und im Bereich der üblichen Streuung. Zu einem leichten Anstieg kommt es über Winter lediglich auf den Lehmböden. Dabei fällt auf, dass der Anstieg in Roda am stärksten ohne Einarbeitung vor Winter erfolgte. Letztendlich eine Bestätigung der bereits in der Kastenanlage in Leipzig gemachten Beobachtung, dass ein hoher Anteil von löslichen N-Verbindungen im abgefrorenen Pflanzenmaterial zu einer stärkeren Erhöhung des N_{\min} führt.

Tabelle 16: Trockenmasseerträge und N-Entzüge verschiedener Zwischenfrüchte bis zum Ende der Vegetation im Jahr 2001 sowie das bis zum folgenden Frühjahr auf dem Boden verbliebene Pflanzenmaterial

Zwischenfrucht	Christgrün		Forchheim		Roda		Pommritz		Spröda	
	Spross-TM	N-Entzug	Spross-TM	N-Entzug	Spross-TM	N-Entzug	Spross-TM	N-Entzug	Spross-TM	N-Entzug
	dt/ha	kg/ha	dt/ha	kg/ha	dt/ha	kg/ha	dt/ha	kg/ha	dt/ha	kg/ha
Herbst 2001										
natürliche Begrü- nung	1,5	4	0,8	3	-	-	17,6	40	4,2	14
Winterfutterraps	5,4	26	9,5	38	6,1	35	38,6	99	14,6	56
Winterfutterrübsen	5,8	25	15,2	54	6,8	36	30,2	63	13,5	53
Ölrettich	10,7	39	23,2	92	17,3	86	47,6	113	22,1	107
Gelbsenf	36,3	131	23,3	69	12,2	66	61,1	116	22,5	94
Phacelia	15,2	45	16,6	62	11,9	72	42,2	94	17,7	91
Buchweizen	11,7	42	9,0	27	2,1	8	22,0	40	12,2	46
Sommerroggen	11,2	36	15,8	51	20,1	84	51,2	92	22,8	137
Frühjahr 2002										
natürliche Begrü- nung	-*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Winterfutterraps	2,9	11	0,4	2	17,4	54	13,7	41	13,7	38
Winterfutterrübsen	7,5	31	3,4	12	26,1	80	9,7	26	13,6	46
Ölrettich	9,2	35	4,5	8	-	-	19,3	25	16,1	56
Gelbsenf	10,5	12	9,9	13	5,3	9	26,2	18	18,7	43
Phacelia	4,0	9	2,6	6	-	-	9,1	15	10,6	19
Buchweizen	3,1	9	2,3	5	-	-	8,6	11	9,6	10
Sommerroggen	28,2	65	4,3	8	25,3	68	25,1	29	17,2	47

* minimale Trockenmassen verblieben, Parzellen wurden nicht beprobt;

Tabelle 17: N_{min} des Bodens in Abhängigkeit von den angebauten Zwischenfrüchten im Versuchsjahr 2001/2002 (kg/ha in 0 bis 90 cm)

Zwischenfrucht	Christgrün*		Forchheim*		Roda		Pommritz		Spröda	
	vor der Aussaat der Zwischenfrüchte									
	58		106		68		80		54	
vor der Einarbeitung des Pflanzmaterials im Herbst und die Veränderung über Winter										
	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
natürliche Begrünung	32	20	30	22	75	58	37	58	29	32
Winterfutterraps	26	16	28	28	44	66	26	64	62	25
Winterfutterrüben	18	16	30	20	32	53	31	91	40	93
Örztlich	15	23	33	37	31	67	31	97	35	41
Gelbsenf	15	31	29	22	58	65	30	65	42	28
Phacelia	14	23	46	22	36	65	39	55	49	42
Buchweizen	21	24	39	17	52	69	46	44	182**	25
Sommerroggen	19	25	32	32	33	62	36	53	86	21
Mittelwert	20	22	33	25	45	63	34	66	49	38
N_{min} im Frühjahr in Abhängigkeit von der Einarbeitung der Zwischenfrucht (vor Winter bzw. im Frühjahr)										
	vor Winter	Frühjahr	vor Winter	Frühjahr	vor Winter	Frühjahr	vor Winter	Frühjahr	vor Winter	Frühjahr
natürliche Begrünung	20	26	22	28	58	119	58	39		
Winterfutterraps	16	89	28	33	66	46	64	25		
Winterfutterrüben	16	22	20	26	53	34	91	33		
Örztlich	23	38	37	30	67	65	97	66		
Gelbsenf	31	24	22	29	65	61	65	47		
Phacelia	23	41	22	36	65	94	55	46		
Buchweizen	24	23	17	24	69	57	44	27		
Sommerroggen	25	73	32	31	62	110	53	43		
Mittelwert	22	42	25	30	63	73	66	41		

* auf den Verwitterungsböden erfolgte die Bodenprobenahme in 0 bis 60 cm
 ** nicht in die Berechnung des Mittelwertes einfließen

Tabelle 18: Kornertrag (dt/ha TM) in Abhängigkeit vom Zwischenfruchtanbau und der Einarbeitung des Pflanzenmaterials (vor bzw. nach dem Winter)

Zwischenfrucht	Christgrün			Forchheim			Roda			Pommritz			Spröda		
	Umbruch im		GD 5 %												
	Herbst	Frühjahr		Herbst	Frühjahr		Herbst	Frühjahr		Herbst	Frühjahr		Herbst	Frühjahr	
natürliche Begrünung	32,9	37,6		42,7	43,0		43,2	42,4		52,1	47,8		41,5	40,9	
Winterfutterraps	34,8	39,2		42,6	44,2		48,4	48,7		58,6	51,3		43,3	41,3	
Winterfutterrüben	34,3	36,0		41,6	45,1		47,1	49,8		54,0	52,5		50,1	41,7	
Ölrettich	30,9	36,5	2,4	40,8	45,1	1,8	44,1	51,4	n.s.	54,7	54,3	3,2	47,9	42,7	n.s.
Gelbsenf	35,9	37,4		43,6	44,4		47,6	47,8		54,2	53,0		45,1	45,1	
Phacelia	33,2	36,7		42,6	45,5		43,4	46,6		56,7	52,3		46,3	45,0	
Buchweizen	32,3	34,7		42,4	43,4		44,1	46,2		52,7	48,5		39,7	46,5	
Sommerroggen	31,0	38,7		41,7	44,1		40,2	46,0		53,8	48,9		43,9	43,7	
Mittel	33,2	37,1		42,2	44,4		44,8	47,4		54,6	51,1		44,7	43,4	
GD 5 %	n.s.														

Tabelle 19: Verbleib des nach der Ernte der Vorfrucht ermittelten N_{\min} (kg/ha)

Merkmal	Christgrün	Forchheim	Roda	Pommritz	Spröda
N_{\min} vor der Aussaat der Zwischenfrüchte	58	106	68	80	84*
\bar{x} N-Entzug durch die Zwischenfrüchte	49	56	55	88	83
\bar{x} N_{\min} vor dem Winter	20	33	45	34	49
Σ N-Entzug, N_{\min} vor dem Winter	69	89	99	122	87
Saldo	- 11	17	- 31	- 42	- 3

$N_{\min} + 30$ kg/ha Dünger-N

Der nachgebaute Hafer reagierte mit ansprechenden Kornerträgen (Tabelle 18). Zwischen den verschiedenen Arten von Zwischenfrüchten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Geschuldet war dies in erster Linie der Tatsache, dass durch die getrennte Beprobung im Herbst und im Frühjahr nur jeweils zwei Wiederholungen verblieben. Die Einarbeitung der gewachsenen Pflanzensubstanz bereits im Herbst brachte signifikant niedrigere Kornerträge. Lediglich auf dem tiefgründigen Standort in Pommritz, wo die Zwischenfrüchte im Herbst die größten N-Mengen konservierten, war es umgekehrt. Offensichtlich folgten die Erträge bei niedrigem Düngereinsatz sehr stark den N_{\min} -Werte des Frühjahrs, die bei Einarbeitung vor dem Winter in Pommritz im Mittel um 25 kg/ha höher lagen.

Fazit:

Die Ergebnisse lassen erkennen, dass bei ausreichender Feuchtigkeit und günstigen Temperaturverlauf die N-Freisetzung auf Böden mit gutem Kulturzustand beachtlich ist und ansehnliche Zwischenfruchtbestände bereits ohne zusätzliche Düngung heranwachsen können. So war beispielsweise das Ergebnis aus Pommritz bemerkenswert, wo im Herbst 2001 nach Strohdüngung ohne N-Ausgleich einzelne Zwischenfrüchte bis zu 120 kg N/ha entzogen.

Die größte N-Aufnahme bis zum Vorwinter erbrachten die Sommerzwischenfrüchte. Nicht überzeugen konnte allerdings der Buchweizen. Der Vorteil der winterharten Pflanzen lag darin, dass der N über Winter in der Biomasse weitgehend erhalten blieb. Aus den abgefrorenen Pflanzen setzte die N-Freisetzung zügig ein.

Im Kornertrag des nachgebauten Hafers sind die Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtarten nicht signifikant. In der Rangfolge nahmen der Buchweizen und die natürliche Begrünung hintere Plätze ein. Einarbeitung des gewachsenen Pflanzenmaterials bereits im Vorwinter erbrachte auf den Verwitterungsstandorten signifikante Mindererträge, auf dem tiefgründigen Boden in Pommritz war es umgekehrt.

3.1.3 Zwischenfruchtbau in Köllitsch

3.1.3.1 Versuchsjahr 2000/2001

Die in Köllitsch erzielten Trockenmasseerträge waren beachtlich (Tabelle 20). Bis zur Vegetationsruhe wurden im Mittel 150 kg N/ha aufgenommen. Bei den verschiedenen Arten zeigte sich, dass die größte Trockenmasseproduktion nicht automatisch mit der stärksten N-Aufnahme verbunden ist. Die wesentlich höheren N-Gehalte bei Phacelia und Ölrettich erbrachten letztendlich die höheren N-Entzüge.

Im Frühjahr kehren sich die Verhältnisse jedoch um. Die beiden Arten mit der höchsten N-Aufnahme im Herbst waren über Winter von starkem Substanzverlust und noch deutlicher vom Rückgang im N-Gehalt der verbliebenen Trockenmasse betroffen. Weitergehende Untersuchungen des Pflanzenmaterials zeigten, dass bei Phacelia und Ölrettich - den Arten mit dem höchsten N-Gehalt etwa 40 bis 50 % des Stickstoffs vor Winter in Form löslicher N-Verbindungen (Tabelle 21) vorlagen. Aus den abgefrorenen Pflanzen sind diese über Winter fast vollständig verschwunden und vermutlich mit den Niederschlägen in den Boden gelangt. Da ein beachtlicher Teil bereits als Nitrat vorlag, bedurfte es nicht einmal mikrobieller Umsetzung. Diese Beträge erklären den größten Teil der über Winter erfolgten Erhöhung im N_{min} . Aber selbst bei mittleren Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe von 4,3 °C im Dezember und von 1,4 °C im Januar (Tagesmittel waren immer im positiven Bereich) konnten zumindest ein Teil der löslichen NH_2 -N-Verbindungen mineralisiert werden. Somit sind die beachtlichen Zunahmen an Nitrat von Ende November bis Ende Januar unter den Zwischenfrüchten erklärbar (Abbildung 12).

Tabelle 20: Trockenmasseertrag und N-Entzug verschiedener Zwischenfrüchte auf einem Auenlehm im Herbst 2000 und die davon bis zum Frühjahr auf dem Boden verbliebenen Beträge (Probenahmen am 20.11.2000 und am 2.4.2001)

Zwischenfrucht	Herbst			Frühjahr		
	TM	N	im Spross gebundener N	TM	N	im Spross verbliebener N
	dt/ha	%	kg/ha	dt/ha	%	kg/ha
Phacelia	55	3,51	193	27	1,56	42
Sommerroggen	57	1,95	111	43	1,21	52
Gelbsenf	73	2,00	146	54	1,05	57
Ölrettich	42	3,90	164	29	2,23	65

Der Verlauf des N_{min} im Boden spiegelt den Einfluss des Zwischenfruchtanbaus anschaulich wider. Vier Wochen nach der Aussaat zeigte sich bereits eine deutliche Differenzierung zwischen den Teilstücken. Die Arten mit zügiger Jugendentwicklung (Senf und Sommerroggen) konnten zu diesem Termin den N_{min} bereits bemerkenswert vermindern. Zum Ende der Vegetation hatte sich das jedoch ausgeglichen. Der Boden war hier bis in 90 cm Tiefe weitgehend von pflanzenverfügbarem Stickstoff entleert. Auf dem Teilstück ohne Zwischenfrucht verblieben dagegen etwa 170 kg N/ha.

Tabelle 21: Gesamtstickstoff und der darin enthaltene lösliche Stickstoff (NO₃⁻-N und löslicher NH₂-N) verschiedener Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2000/2001 vor dem Abfräen und nach dem Winter

Zwischenfrucht	Vorwinter			Vegetationsbeginn			Verlust	
	N _t	NO ₃ ⁻ -N	lösl. NH ₂ -N	N _t	NO ₃ ⁻ -N	lösl. NH ₂ -N	N _t	lösl. N
	kg/ha			kg/ha			kg/ha	
Phacelia	193	54	35	42	0,9	2,9	151	85
Sommerroggen	111	7	24	52	0,5	3,4	59	27
Gelbsenf	146	19	24	57	0,6	5,3	89	37
Ölrettich	164	17	55	65	1,2	5,4	99	65

Die starken Zunahmen im N_{min} über Winter wurden auch bei anderen Untersuchungen regelmäßig beobachtet (ILGEN, 1990). In ihrem Ausmaß sind sie jedoch ein Resultat der überreichlichen N-Ernährung im Herbst. Das unter diesen Bedingungen keine Auswaschungsverluste auftraten, ist in erster Linie den geringen Niederschlägen (80 mm) von November bis März zu verdanken. Zwischen den Teilstücken mit und ohne Zwischenfrüchte ergab sich jedoch ein Unterschied. Das zeitigere Auffüllen der Feldkapazität unter der Brache führte dazu, dass bis zum Mai etwa 75 % des Nitrats aus der Ackerkrume tiefer als 60 cm verlagert wurden.

Da es allerdings auch zu keinem nennenswerten Nitrataustrag aus der insgesamt untersuchten Bodenschicht gekommen war, lässt sich die N-Freisetzung aus den Zwischenfrüchten über Winter aus den Veränderungen im N_{min} im Zeitraum November bis März grob bestimmen. Die Änderungen auf dem Brachestreifen resultieren im Wesentlichen aus der im August verabreichten Stallmistgabe. Diese Freisetzung erfolgte vermutlich auf allen Teilstücken mehr oder weniger gleichmäßig, so dass sie in der letzten Spalte der Tabelle 22 Berücksichtigung fand.

Tabelle 22: Wiederfreisetzung des in den Zwischenfrüchten inkorporierten Stickstoffs bis zum Frühjahr - Berechnet aus den Veränderungen im N_{min} unter Berücksichtigung der Mineralisation auf der Brache (kg/ha)

Angebaute Zwischenfrucht	N _{min} in 0 bis 90 cm Probenahme am		Differenz	N aus der Zwischenfrucht
	20.11.00	02.03.01		
Brache	174	203	29	-
Phacelia	15	146	131	102
Sommerroggen	28	87	59	30
Gelbsenf	24	127	103	74
Ölrettich	17	106	89	60

Deutlich wird, dass bereits Anfang März ein beachtlicher Teil des N_{min} im Boden aus den Zwischenfrüchten stammt. Der stärkste Anstieg erfolgte dort, wo große Teile des Stickstoffs im Pflanzenmaterial in löslicher Form vorlagen. Nach Sommerroggen hielt sich die N-Freisetzung dagegen in Grenzen.

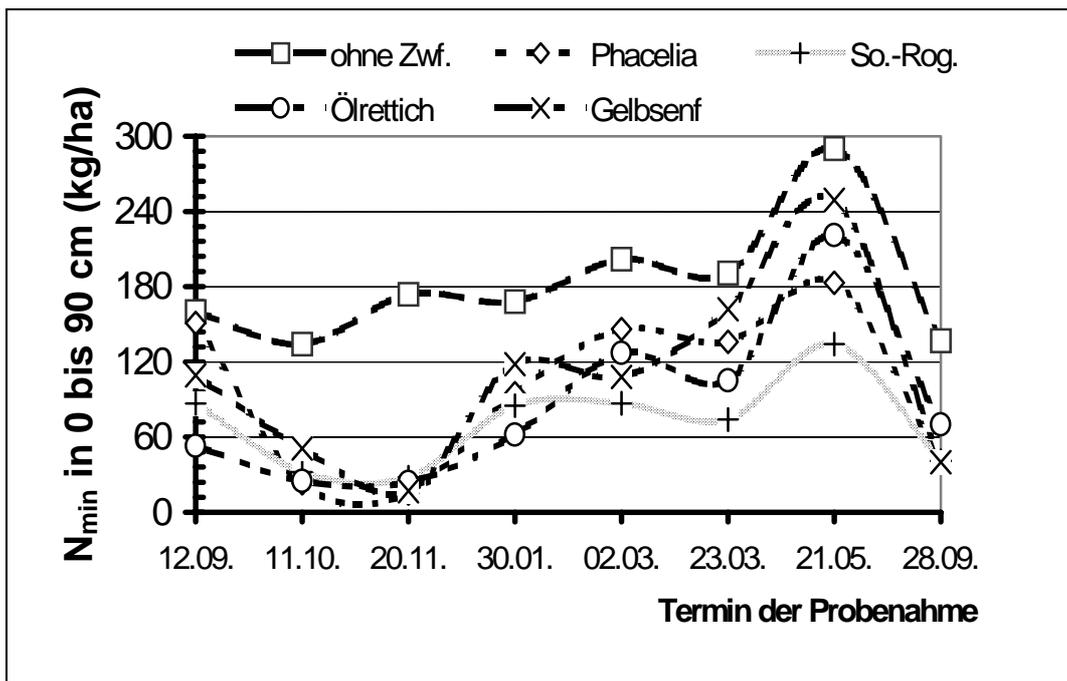


Abbildung 12: N_{\min} im Boden unter verschiedenen Zwischenfrüchten von September 2000 bis September 2001 und die Nutzung des daraus freigesetzten Stickstoffs durch Silomais auf sandigem Lehm

Durch die Verluste an löslichen N-Verbindungen erweiterten sich die C/N-Verhältnisse des verbliebenen Pflanzenmaterials (Abbildung 13). Insbesondere der Gelbsenf kam in dieser Beziehung Getreidestroh sehr nahe und übertraf dabei sogar den Sommerroggen, der allerdings vor dem Abfrieren gerade das Blütenstadium erreicht hatte.

Der nachfolgende Silomais benötigte aufgrund der hohen N_{\min} -Werte im Frühjahr keine N-Düngung und erbrachte gute Trockenmasserträge und N-Entzüge (Abbildung 14). Obwohl unter dem Teilstück ohne Zwischenfrucht die höchsten Gehalte an pflanzenverfügbarem N vorhanden waren, führte das nicht zu höherer Trockenmassebildung und N-Aufnahme. Der Mais verwertete zwar über 260 kg N/ha. Er hinterließ jedoch einen Rest- N_{\min} von 110 kg/ha, der zu großen Teilen in der Schicht 60 bis 90 cm vorlag (Abbildung 12, letzte Probenahmetermin). Der verbliebene N_{\min} ist ein Beleg dafür, dass bei insgesamt hohem Angebot die Ausnutzung des in tieferen Bodeschichten befindlichen Stickstoffs häufig sehr unvollständig bleibt (RENELT, 1990).

Dass die hohen N_{\min} -Werte im Winter 2000/2001 zu keinen nennenswerten N-Verlusten geführt haben, war den ungewöhnlich guten Wachstumsbedingungen für die Zwischenfrüchte und den geringen Winterniederschläge zu verdanken. Erfahrungsgemäß treten derartig günstige Konstellationen nur selten auf. Insbesondere auf weniger tiefgründigen und mit geringerem Wasserhaltevermögen versehenen Böden sind im August ausgebrachte Stallmistgaben auch bei Anbau von Zwischenfrüchten eine beachtliche N-Verlustquelle.

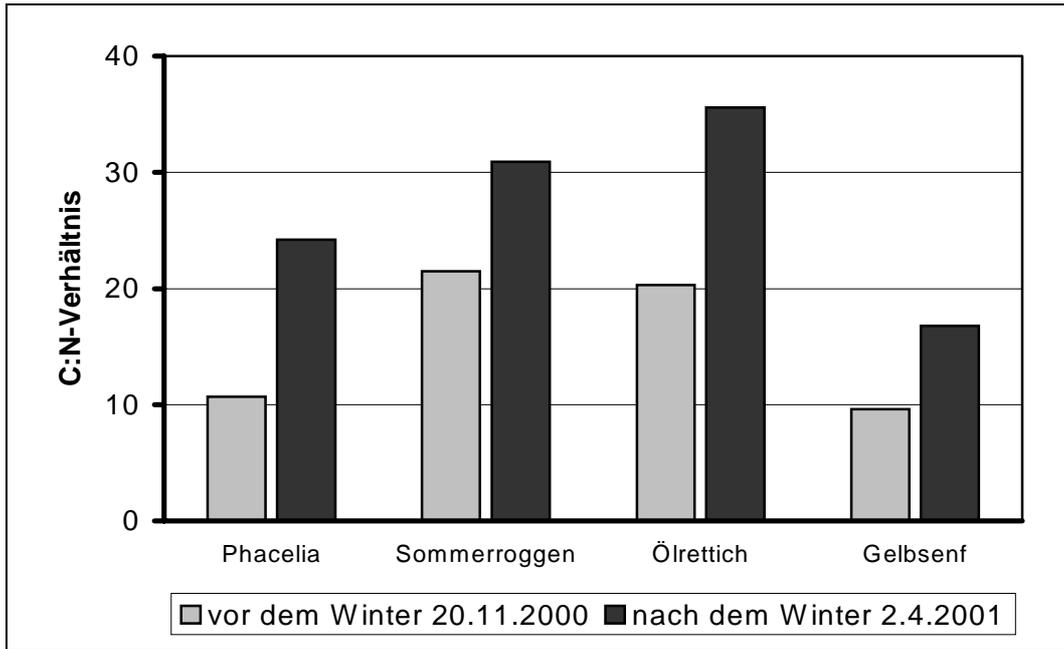


Abbildung 13: C/N-Verhältnis im Pflanzenmaterial der in Köllitsch angebauten Zwischenfrüchte vor und nach dem Winter, Probenahme am 20.11.2000 und am 02.04.2001

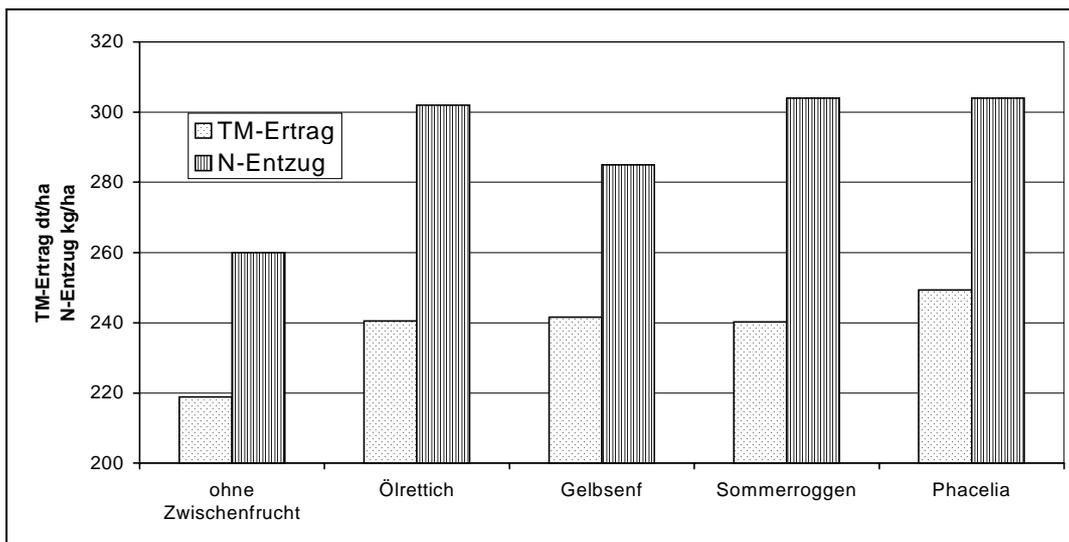


Abbildung 14: TM-Erträge und N-Entzüge von Silomais nach Zwischenfruchtanbau auf sandigem Lehm in Köllitsch

Ein Vergleich zwischen der Brache und dem Zwischenfruchtanbau lässt erkennen, dass etwa 80 % des vor dem Winter in der Pflanzensubstanz konservierten Stickstoffs durch den nachfolgenden Mais genutzt wurde, was sicher durch den hohen Anteil an löslichen N-Verbindungen begünstigt wurde. Zieht man allerdings die über Winter in den abgefrorenen Sprossen verbliebene N-Menge in betracht, so wurde davon weniger als die Hälfte in der folgenden Vegetationsperiode remineralisiert.

3.1.3.2 Versuchsjahr 2001/2002

Im darauf folgenden Versuchsjahr finden die bereits vorgestellten Ergebnisse ihre Bestätigung (Tabelle 23). Der N_{\min} des Bodens im Dezember (Abbildung 15) spiegelt die unterschiedliche Substanzbildung und N-Aufnahme der angebauten Pflanzen wider. Der nach der Ernte der Wintergerste ausgebrachte Güllestickstoff blieb auf dem Steifen mit natürlicher Begrünung bis zum Winter zu großen Teilen im Boden erhalten, während er bei den Zwischenfrüchten - vor allem durch Gelbsenf und durch Ölrettich - vollständig aufgenommen wurde.

Bis zum Frühjahr erfolgte unter den Zwischenfrüchten wiederum ein Anstieg im N_{\min} . Die Selbstbegrünung war allerdings mit Verlust verbunden. Die Zunahme im N_{\min} entspricht wiederum in etwa der Abnahme an löslichen Stickstoffverbindungen aus dem auf dem Feld verbliebenen Pflanzenmaterial (Tabelle 24). Das C/N-Verhältnis des organischen Materials erweiterte sich entsprechend (Abbildung 16). Der nach der Mineralisation zu erwartende Beitrag für die weitere N-Ernährung dürfte insbesondere beim Senf gering bleiben.

Beim nachfolgenden Silomais wurde auf eine Ertragsfeststellung verzichtet, da die einzelnen Teilflächen im Frühjahr unterschiedlich bearbeitet und gedüngt wurden.

Tabelle 21: Trockenmasseertrag und der im Spross eingebundene N verschiedener Zwischenfrüchte auf sandigem Lehm im Herbst 2001 und die davon bis zum Frühjahr auf dem Boden verbliebenen Beträge (Probenahmen erfolgten am 20.11.2001 und am 25.03.2002)

Zwischenfrucht	Herbst			Frühjahr		
	TM dt/ha	N %	N im Spross kg/ha	TM dt/ha	N %	N im Spross kg/ha
Selbstbegrünung	18	2,98	54	17	2,12	36
Phacelia	45	2,86	129	30	1,55	46
Sommerroggen	42	2,29	96	32	1,40	45
Gelbsenf	62	2,80	174	33	1,56	51
Ölrettich	56	2,90	162	32	0,93	30

Tabelle 22: N-Fractionen im Spross verschiedener Zwischenfrüchte vor dem Winter und sein Verbleib im Pflanzenmaterial bis Vegetationsbeginn (20.11.2001 und 25.03.2002)

Zwischenfrucht	Herbst				Frühjahr			
	N_t	lösl. NO_3^-N	lösl. NH_2^-N	lösl. N insge.	N_t	lösl. NO_3^-N	lösl. NH_2^-N	lösl. N insge.
	kg/ha			%	kg/ha			%
Selbstbegrünung	54	5	7	22	36	4	8	21
Phacelia	129	32	13	35	46	0	2	5
Sommerroggen	96	6	11	18	45	0	3	7
Gelbsenf	174	16	30	27	51	0	3	7
Ölrettich	162	13	34	28	30	0	2	6

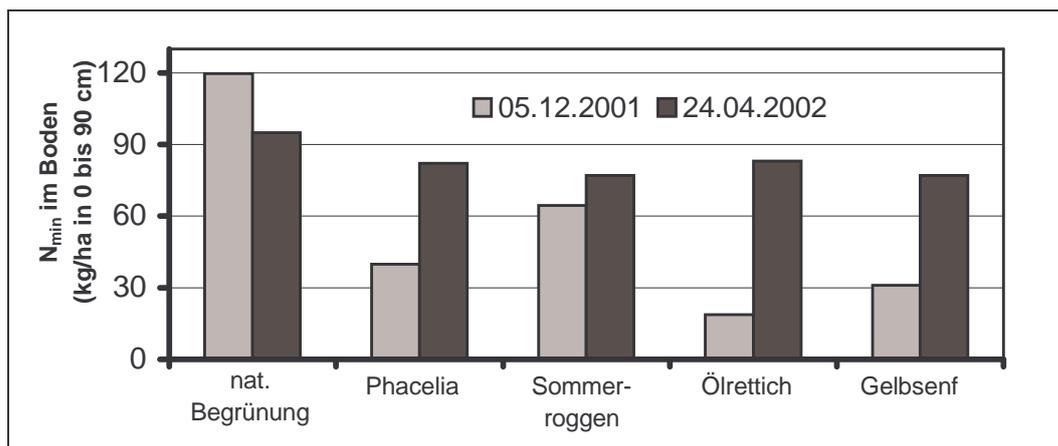


Abbildung 15: N_{\min} in Abhängigkeit von der angebaute Zwischenfrucht vor und nach dem Winter auf einem sandigen Lehm in Köllitsch

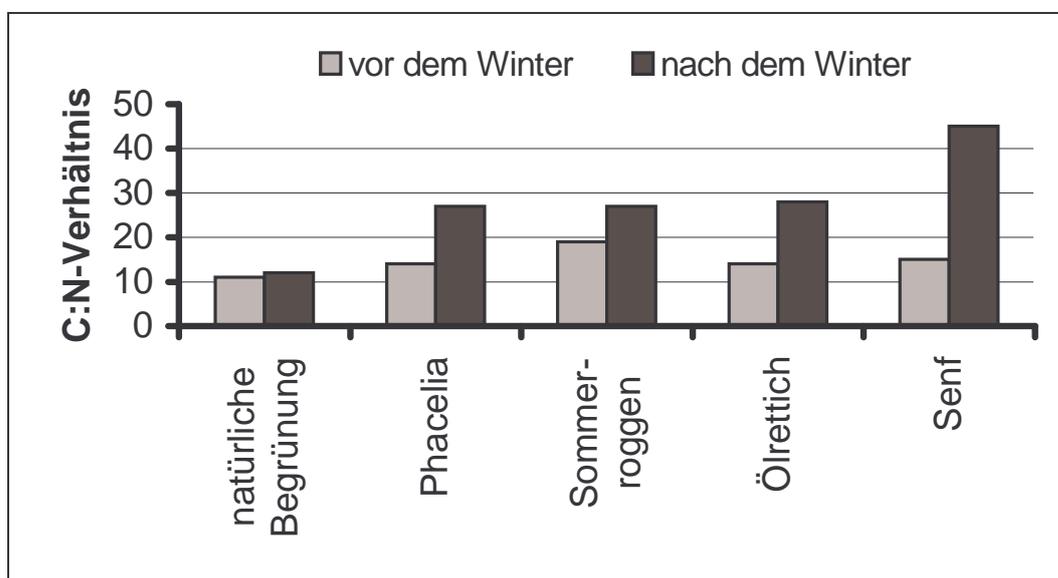


Abbildung 16: C/N-Verhältnis im Pflanzenmaterial der in Köllitsch angebaute Zwischenfrüchte vor und nach dem Winter, Probenahme am 20.11.01 und am 23.03.2002

Fazit:

Auch im LVG Köllitsch standen die Zwischenfrüchte nach Wintergerste, die zumeist zurückhaltend mit Stickstoff bedacht wird und wo sich der Reststickstoff nach der Ernte zumeist in Grenzen hält. Das erlaubt dann den Einsatz von Stallmist oder Gülle im Spätsommer zu den angebaute Zwischenfrüchten. Diese waren in beiden Jahren in der Lage den N_{\min} in 0 bis 90 cm Tiefe bis zum Winter auf einem niedrigen Niveau zu halten. Die hohe N-Bereitstellung aus den eingesetzten organischen Düngern förderte das Wachstum aber auch die Anreicherung von löslichen N-Verbindungen. Deren Anteil in der Sprosstrockenmasse betrug zum Ende der Vegetation 20 bis 50 % vom Gesamtstickstoff. Nach dem abfrieren der nicht winterharten Arten wurde er durch die folgen-

den Niederschläge vollständig aus dem Pflanzenmaterial ausgewaschen. Da es sich zu großen Teilen um Nitrat handelte, erhöhte sich der N_{\min} unverzüglich.

Auf diesem Standort verhinderten die unter dem langjährigen Mittel liegenden Winterniederschläge mögliche Verluste aus dem Wurzelbereich. Anders wäre das allerdings auf leichten und flachgründigen Standorten. Das unterstreicht, dass selbst beim Anbau von auf dem Feld verbleibenden Zwischenfrüchten eine begrenzte N-Bereitstellung im Herbst angezeigt ist.

3.1.4 Untersuchungen zum löslichen Stickstoff in Zwischenfrüchten

Ziel war es, den Zusammenhang zwischen N-Ernährung und der sich daraus ergebenden Anreicherung mit löslichen N-Verbindungen zu demonstrieren. Dazu wurde Gelbsenf in Mitscherlichgefäßen bei differenziertem Stickstoffangebot angezogen. Die Beprobung erfolgte zur Vollblüte, einem Entwicklungsstadium das der Senf beim Anbau als Zwischenfrucht regelmäßig im Herbst erreicht. Das gewachsene Pflanzenmaterial wurde gedrittelt und vor der Laboruntersuchung unterschiedlich behandelt. Der erste Teil wurde unmittelbar nach der Probenahme schonend getrocknet und für die vorgesehenen Untersuchungen aufbereitet. Von dem verbliebenen Pflanzen kam die eine Hälfte für zwei Tage in Foliesäcken bei etwa 8 °C in einen Kühlschrank und der restliche Teil entsprechend bei - 18 °C in eine Gefriertruhe. Anschließend wurde das so vorbehandelte Pflanzenmaterial für 30 Minuten vollständig in Wasser gelegt. Die danach in der Sprosstrockenmasse verbliebenen Stickstoffgehalte sind in Tabelle 25 zusammengestellt.

Tabelle 23: N_t und Nitrat-N in der Sprosstrockenmasse von Gelbsenf nach unterschiedlicher Vorbehandlung der Pflanzen

N-Stufe	ohne Wasserextraktion		nach Wasserextraktion				GD 5 %	
	frische Sprosse		frische Sprosse		abgefrorene Sprosse			
	% N_t	% NO_3-N	% N_t	% NO_3-N	% N_t	% NO_3-N	N_t	NO_3-N
0 N	1,74	0,03	1,74	0,01	1,79	0,02	0,25	0,18
1 N	2,48	0,09	2,26	0,06	2,14	0,07		
2 N	4,23	0,92	4,15	0,78	3,93	0,67		
4 N	5,93	1,95	5,64	1,87	5,34	1,33		
GD 5 %			0,32	0,22				

Bei den mäßig mit Stickstoff ernährten Pflanzen hatte die unterschiedliche Behandlung keinen Einfluss auf den Gesamtstickstoffgehalt, da der Anteil löslicher N-Verbindungen gering war und sich das Reineiweiß nicht mittels Wasser extrahieren ließ. Ein höheres N-Angebot war erst einmal mit einer üppigeren Entwicklung verbunden und führte zu höheren N-Gehalten. Der Nitratanteil nimmt bis zur höchsten N-Stufe zu und beträgt etwa ein Drittel der im Senf enthaltenen N-Verbindungen (Tabelle 25).

Wie diese einfachen Modelluntersuchungen zeigen, verlieren die durch den Frost zerstörten Zellen bereits bei einfachem Kontakt mit Wasser einen Teil dieses Stickstoffs. Erfolgt dies über einen längeren Zeitraum, wie es auf dem Feld durch die sich wiederholenden Winterniederschläge geschieht, so wird diese N-Fraktion vollständig ausgewaschen. Dies lässt nur den Schluss zu, dass beim Anbau von Zwischenfrüchten im Herbst nur ein begrenztes N-Angebot gut konserviert werden kann.

Parallel zur Bestimmung des im Pflanzenmaterial verbliebenen Stickstoffs wurden die Nitrat- und $\text{NH}_2\text{-N}$ -Konzentrationen im Wasserextrakt gemessen (Tabelle 26). Zwar war auch bei frischen Sprossen ein leichter Anstieg vorhanden, er blieb aber im Vergleich zu den abgefrorenen Pflanzen unbedeutend.

Tabelle 24: Nach 30 Minuten im Wasserextrakt vorliegende lösliche N-Verbindungen aus frischen und abgefrorenen Senfpflanzen (bei 18°C, ohne Schütteln)

N-Stufe	frische Sprossmasse			abgefrorenen Sprossmasse		
	mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$	mg/l $\text{NH}_2\text{-N}$	Σ	mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$	mg/l $\text{NH}_2\text{-N}$	Σ
0 N	1	0	1	1	0	1
1 N	1	0	1	6	3	9
2 N	5	0	5	73	4	77
4 N	6	0	6	94	4	98

In welchem Umfang sich das Auswaschen der löslichen N-Verbindungen aus den abgefrorenen Pflanzen durch entsprechende Einarbeitung eingeschränkt lässt, sollte in einem weiteren Gefäßversuch überprüft werden, nachdem die Ergebnisse auf der Kastenanlage (vgl. 3.1) eine durchaus günstige Wirkung andeuteten.

Für diese Untersuchungen wurden mit Ölrettich sowie Phacelia zwei Arten ausgewählt, die bei reichlichem Stickstoffangebot regelmäßig hohe Anteile löslicher Verbindungen aufweisen und wo zumeist das Nitrat überwiegt. Als Vergleich dazu kam Sommerroggen zum Einsatz, der vor Winter in den verschiedenen Untersuchungsreihen jeweils die niedrigsten N-Gehalte und das weiteste C/N-Verhältnis im Herbst aufwies.

Es zeigte sich, dass ein natürliches Belassen der Pflanzen auf dem Feld bis zum Frühjahr zu den niedrigsten N-Gehalten führte (Tabelle 27).

Während sich beim Sommerroggen die Veränderungen insgesamt in Grenzen hielten, erbrachten beim Ölrettich und bei der Phacelia die Ablage auf bzw. in den Boden jeweils höhere N-Gehalte. War das Pflanzenmaterial über Winter von Boden bedeckt, fanden sich Mitte April sogar noch deutliche Nitratanteile. Die größten Sprosstrockenmassen fanden sich nach dem Winter, wenn die Pflanzen auf dem Feld ohne Eingriff belassen wurden (Tabelle 28). Dabei erweiterte sich allerdings das C/N-Verhältnis auf etwa das Doppelte des vor dem Ende der Vegetation ermittelten Wertes. Bei Einbringung in den Boden verengte es sich sogar geringfügig.

Tabelle 25: Veränderungen im Gehalt an Gesamt- und Nitrat-N in der Spross-TM verschiedener Zwischenfrüchte über Winter unter Freilandbedingungen bei unterschiedlichem Verbleib der Pflanzen in der Zeit vom 20.11.01 bis 16.04.02

Zwischenfrucht	Ausgangsgehalt	natürlicher Verbleib auf dem Feld	Ablage auf dem Boden	Ablage in den Boden
N_t in %				
Ölrettich	2,90	1,55	1,64	2,41
Sommerroggen	2,26	1,39	1,51	1,65
Phacelia	2,86	1,56	2,07	2,58
Nitrat-N in %				
Ölrettich	0,29	0,0	0,0	0,18
Sommerroggen	0,14	0,0	0,0	0,17
Phacelia	0,72	0,0	0,0	0,38

Diese Ergebnisse stützen die bereits gemachte Feststellung, dass bei Einarbeitung erst nach Eintritt der Vegetationsruhe - also in weiten Teilen Sachsens zumeist nicht vor Dezember - die Wiederfreisetzung des in den Zwischenfrüchten inkorporierten Stickstoffs ein geringeres Ausmaß annimmt, als es bei natürlichem Verbleib auf dem Feld. Von Bedeutung ist das allerdings nur dann, wenn in der verbliebenen Pflanzensubstanz beachtliche Mengen löslicher N-Verbindungen vorhanden sind und es ist unwichtig bei mäßiger N-Ernährung.

Tabelle 26: Verbliebene Trockenmasse und die darin ermittelten C/N-Verhältnisse in Abhängigkeit von der Überwinterung

Zwischenfrucht	natürlicher Verbleib auf dem Feld		Ablage auf dem Boden		Einbringung in den Boden	
	TM in %	C/N-Verhältnis	TM in %	C/N-Verhältnis	TM in %	C/N-Verhältnis
Ölrettich	66	27	61	24	56	16
Sommerroggen	45	29	38	26	37	24
Phacelia	57	27	45	19	39	15

Zu rechnen ist damit, wenn die Vorfrüchte hohe Mengen an Rest-N_{min} hinterlassen, die Bedingungen für die herbstliche Mineralisation sehr günstig sind bzw. eine N-Düngung verabfolgt wurde. Das trifft natürlich besonders für den Einsatz organischer Dünger zu. Kommen diese zudem regelmäßig zum Einsatz, kann die N-Nachlieferung im Herbst ständig ein überdurchschnittliches Ausmaß erreichen.

3.1.5 Zusammenfassung

Nach der Ernte im Sommer bis zum Beginn des Winters erfährt der N_{min} im Boden bei ausreichender Durchfeuchtung oft eine beachtliche Erhöhung. Winterraps und im September auflaufendes Wintergetreide können diesen Stickstoff zu großen Teilen für ihre Herbstentwicklung nutzen. Bleibt der Boden allerdings bis zum Frühjahr brach, sind N-Verluste vorhersehbar. Der Anbau von Zwischenfrüchten wirkt dem entgegen.

In den durchgeführten Untersuchungen lag die N-Bindungsleistung der angebauten Zwischenfrüchte bei 50 bis 200 kg/ha. Entscheidenden Einfluss auf die N-Aufnahme hatten:

- die verfügbaren Vegetationstage, besonders günstig wirkte sich eine zeitige Aussaat bzw. spätes Einsetzen der Vegetationsruhe aus;
- die während des Wachstums vorherrschenden Witterungsbedingungen, wobei ausreichende Bodenfeuchte für eine schnelle Keimung notwendig waren und günstige Temperaturverhältnisse in der Jugendentwicklung deutliche Vorteile brachten;
- die Höhe des Nährstoffangebotes, da der Anbau jedoch nicht den maximalen Ertrag als Zielstellung hat, sondern den vorhandenen Stickstoff konservieren und den Boden durch Bedeckung vor Erosion schützen soll, ist zumeist keine zusätzlichen N-Düngung notwendig.

Auf diese Weise kann vorhandener Reststickstoff und die herbstliche N-Freisetzung in jedem Fall gut verwertet werden. In Jahren in denen die Zwischenfrüchte sich besonders gut entwickeln, finden sich auch immer günstige Bedingungen für die Mineralisation. Problematischer kann die Minderung großer Beträge verbliebenen Reststickstoffs bzw. zusätzlich ausgebrachten mineralischen oder organischen Stickstoffs werden, denn unter schlechteren Wachstumsbedingungen bleibt die Trockenmassebildung niedrig und die N-Aufnahme kann dann durchaus < 50 kg/ha sein.

Ein Düngebedarf ergibt sich erst, wenn zur Zeit der Aussaat die N_{\min} -Werte in 0 bis 60 cm Tiefe deutlich unter 50 kg/ha liegen. Eine Entscheidung über den Düngereinsatz sollte aber immer erst erfolgen, wenn sich ein guter Pflanzenbestand etabliert hat und ausreichend Zeit für das Wachstum verbleibt. In dem Fall bietet sich der Einsatz von Gülle an. Neben der sinnvollen Nutzung der Nährstoffe bringt das insbesondere auf den Standorten Vorteile, auf denen die Gülleausbringung im zeitigen Frühjahr regelmäßig zu starken Bodenverdichtungen führt. Da ohne Einarbeitung die gasförmigen Ammoniakverluste ein beachtliches Maß erreichen können, ist die Ausbringung bei kühlem und ruhigem Wetter vorzunehmen. Günstiger ist es, wenn die Gülle direkt in den Boden injiziert wird.

Dort allerdings, wo regelmäßig organischen Dünger zur Anwendung kommen, findet sich auch ein wesentlich höheres Mineralisationspotential im Boden, so dass eine effektive Verwertung der Nährstoffe häufig sehr ungewiss bleibt.

Bewährt hat sich auf den trockeneren und tiefgründigen Standorten der Anbau von Gelbsenf und Ölrettich. Nach dem Abfrieren setzt die Freisetzung von Stickstoff bereits wieder ein. Der Vorrat an Bodenwasser wird dann auf den meisten sächsischen Standorten in jedem Fall wieder aufgefüllt und die N-Verluste halten sich selbst auf Sandböden bei mäßiger N-Ernährung zumeist in Grenzen. Bei den hohen N_{\min} -Werten in Köllitsch konnte aber auch der Sommerroggen sowohl durch die langsamere Freisetzung des gebundenen N als auch durch die treffliche Mulchwirkung überzeugen. Buchweizen war als Herbstzwischenfrucht nicht geeignet, da er nur unzureichende Bestandesdichten bildete und sehr zügig in die generative Entwicklungsphase überging und zeitig abstarb.

Auf den niederschlagsreicheren Standorten erwiesen sich sowohl der Winterfuttersaps als auch die Winterrüben als Alternative. Ein wesentlicher Vorteil der nichtabfrierenden Zwischenfrüchte besteht darin, dass sie bei günstigen Temperaturen bis zu ihrem Umbruch im Frühjahr weiter wachsen und die Freisetzung von Nährstoffen entsprechend später anfängt. Zieht sich die Mineralisation bis zum Ende der Vegetation hin, ist es insofern unbedenklich, da in der Regel eine Winterung folgt.

Im Ertrag der nachgebauten Kulturen fanden sich etwa 30 bis 50 % des zuvor in der Zwischenfrucht eingebundenen N wieder. Verluste sind lediglich beizeitigem Umbruch im Herbst und hohem Anteil löslicher N-Fractionen auf den leichten und flachgründigen Böden zu erwarten. Da ein großer Teil des durch die Zwischenfrüchte aufgenommenen Stickstoffs im Pool der organischen N-Verbindungen erscheint, kann davon ausgegangen werden, dass dieser Stickstoff langfristig im Boden gebunden bleibt.

3.2 Differenzierte Aussaatzeit von Winterweizen zur Minderung von N-Verlusten

Auf den meisten Standorten erweist sich aus ökonomischer Sicht neben dem Körnersaps der Anbau von Winterweizen als vorteilhaft. Nahmen noch vor über einem Jahrzehnt Hackfrüchte einen größeren Anbauumfang ein und deren Ernte kollidierte häufig mit der optimalen Aussaat des Wintergetreides, so hat sich das in vielen landwirtschaftlichen Unternehmen wesentlich geändert. Einerseits werden gerade in der Zeit nach der Rapsaussaat Arbeitskräfte und Technik nicht ausreichend ausgelastet, andererseits kann die Aussaat unter den günstigsten äußeren Bedingungen ohne Druck stattfinden. Da der Weizen hinsichtlich der Saatezeitspanne die größte Toleranz aufweist, findet auch in einer Vielzahl von Landwirtschaftsbetrieben in Sachsen immer häufiger eine zeitlich vor dem optimalen Termin liegende Aussaat statt.

Als Beleg dafür sollen die Erhebungen aus den Referenzbetrieben des Programms „Umweltgerechte Landwirtschaft“ dienen (Tabelle 29). Dabei wird sichtbar, dass zwar nach wie vor nur ein geringer Teil des Winterweizens vor dem 15. September in den Boden kommt, einzelne Flächen aber bereits in der letzten Augustdekade bestellt werden.

Stetig zugenommen hat der Flächenanteil in der zweiten Septemberhälfte. In Jahren mit günstiger Septemberwitterung, wie beispielsweise 2000, wurden über 40 % des Winterweizens bereits vor dem Oktober ausgesät. Die Saaten nach dem 15. Oktober und insbesondere die Spätsaaten ab November nehmen stark ab.

Auffällig bei den aus diesem Zahlenmaterial errechneten Trends (Abbildung 17) ist, dass sich insgesamt eine Vorverlegung der Weizenaussaat abzeichnet. Besonders stark gewinnt der Zeitraum in der zweiten Septemberhälfte zu, während der Flächenanteil mit so genannten „Spätsaaten“ deutlich abnimmt. Vor- und Nachteile einer zeitigen Weizenaussaat sind dabei gründlich abzuwägen (Tabelle 30).

Tabelle 29: Aussaat des Winterweizens in den Referenzbetrieben des Programms „Umweltgerechte Landwirtschaft“ in den Jahren 1995 bis 2001 (% der Anbaufläche)

Jahr	vor dem 16. September	16. - 30. September	1. -15. Oktober	16. -31. Oktober	ab 1. November
1995	1	2	48	42	7
1996	0	1	40	33	26
1997	2	13	39	40	6
1998	2	15	29	41	13
1999	1	22	56	18	3
2000	3	40	30	21	6
2001	1	7	52	34	4
\bar{x}	2	14	42	33	9

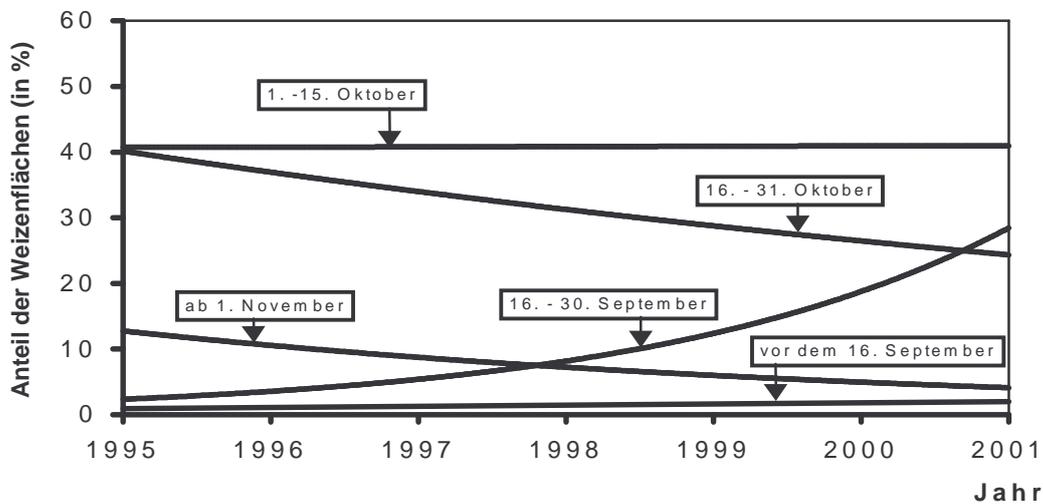


Abbildung 17: Entwicklungstrends im Hinblick auf die für die Winterweizenaussaat wichtigen Zeitspannen in Sachsen am Beispiel der UL-Referenzbetriebe

Tabelle 30: Vor- und Nachteile zeitiger Winterweizenaussaat

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - arbeitswirtschaftliche Vorzüge durch bessere Auslastung von Arbeitskräften und Technik - im September finden sich in der Regel günstigere Temperatur- und Bodenverhältnisse - schneller und gleichmäßiger Pflanzenaufgang - langes Wachstum unter Kurztagsbedingungen - geringer Saatgutbedarf - bessere Nutzung des vorhandenen N-Angebotes - Entwicklungsvorsprung im Frühjahr - Spreizung des optimalen Erntetermins 	<ul style="list-style-type: none"> - höheres Schädlings- und Krankheitsrisiko - dichte, weitentwickelte Bestände sind stärker Auswinterungsgefährdet - stärkere Verunkrautung im Herbst - rechtzeitige Bereitstellung von anerkanntem Saatgut schwierig

Aussaaten vor dem für den Standort optimalen Termin sind vor allem mit einer höheren Biomassebildung verbunden. Damit einher geht eine entsprechend höhere Nährstoffaufnahme. Beides erweist sich im Hinblick auf die Vermeidung von N-Verlusten als vorteilhaft, zumal der Weizen in der Fruchtfolge in der Regel eine bevorzugte Stellung einnimmt.

Eine Sekundärauswertung der Datenerfassungsbelege zum Beratungsprogramm BEFU der letzten Jahre macht dann auch deutlich (Tabelle 31), dass etwa 80 % der Fruchtarten nach denen der Weizen im Herbst angebaut wird, regelmäßig höhere Reststickstoffmengen hinterlassen bzw. aus ihren Ernte- und Wurzelrückständen häufig bereits vor dem Winter beachtliche N-Freisetzungen erfolgen. Darüber hinaus räumen über 60 % der Vorfrüchte des Weizens bereits im Verlauf des August die entsprechenden Flächen. Bei Aussaat im Oktober ergeben sich bis zu zwei Monate Zwischenbrache. Bei ausreichender Durchfeuchtung begünstigen die in dieser Zeit vorherrschenden Temperaturen eine hohe mikrobielle Aktivität. Als Folge ergeben sich erhöhte Nitratgehalte im Boden.

Tabelle 31: Vorfrüchte im Winterweizenanbau in Sachsen (Sekundärauswertung BEFU der Jahre 1997 bis 2001)

Vorfruchtgruppe	Fläche in %
Ölfrüchte	37,4
davon Winterraps	(35,6)
Hackfrüchte	17,0
davon Zuckerrüben	(11,2)
Getreide (insgesamt)	13,2
davon Winterweizen	(4,0)
Mais (Silo- und Körnermais)	19,3
Körnerleguminosen	9,2
Futterpflanzen (ohne Silomais) und sonstiges	3,9
Summe	100,0

Unter diesem Gesichtspunkt bedeutet bereits die Aussaat in der ersten Oktoberhälfte, das beachtliche Verlustpotentiale im Boden verbleiben, da zu diesem Zeitpunkt ausgesäte Bestände kaum mehr als 15 bis 30 kg N/ha bis zur Vegetationsruhe aufnehmen. Anders sind beispielsweise die Verhältnisse beim Winterraps. Nach Aussaat im August ist er durch seine lange Jugendentwicklung in der Lage bis zum Ende der Vegetation den Stickstoff aus 80 bis 100 cm Bodentiefe aufzunehmen und in Abhängigkeit vom N-Angebot über 100 kg/ha in seine Biomasse einzubinden. Damit finden sich in der Regel unter jungen Rapsbeständen kaum Stickstoffverluste.

In welchem Umfang dies auch durch eine zeitigere Weizenaussaat gelingt und welche Auswirkungen dies auf die Bestände im Frühjahr sowie den Ertrag hat, sollen vor allem an Hand von zweijährigen Ergebnissen auf sandigem Lehm im LVG Köllitsch und auf anlehmigem Sand in einem Landwirtschaftsbetrieb in der Nähe von Delitzsch demonstriert werden.

3.2.1 Vorwinterentwicklung

Im LVG Köllitsch konnten sowohl im Spätsommer 2000 als auch 2001 drei Aussaattermine realisiert werden. Ausgesät wurde jeweils in der letzten Augustwoche und dann im etwa dreiwöchigen Abstand (Tabelle 32).

Bis zum Eintritt des Winters war bei den im August ausgesäten Pflanzenbeständen die Bestockung abgeschlossen und insbesondere im milden und langen Herbst 2000 setzten hier bereits Ende Oktober erste Triebreduktionen ein. Die Weizenpflanzen wiesen bereits zu diesem Zeitpunkt mit 2,6 % N in der Spross-TM einen für dieses Entwicklungsstadium zu niedrigen Stickstoffgehalt auf. Auch der Mitte September gesäte Weizen ging sehr stark bestockt in den Winter. Hinsichtlich der Triebzahlen je Pflanze waren kaum Unterschiede festzustellen. Allerdings waren eine Vielzahl dieser Trieben gerade erst angelegt und noch nicht voll entwickelt. Damit verbunden war eine verminderte TM-Bildung und geringere N-Aufnahmen bis zum einsetzenden Winter.

Die standortübliche Aussaat in der ersten Oktoberhälfte war in beiden Versuchsjahren mit einer normalen Vorwinterentwicklung verbunden. Kürzere Tageslängen und abnehmende Temperaturen ließen nur noch eine geringe Substanzbildung und niedrige N-Entzüge zu. Unter diesen Bedingungen finden sich vor dem Winter immer die höchsten Mengen an N_{\min} im Boden. Die Verluste bis zum Frühjahr waren hier nur deshalb unbedeutend, weil die Winterniederschläge gerade ausreichten die Feldkapazität des Bodens aufzufüllen.

Tabelle 32: Einfluss der Aussaatzeit auf die Entwicklung und N-Aufnahme von Winterweizen bis zur Vegetationsruhe in den Jahren 2000 und 2001 auf einem sandigen Lehm im LVG Köllitsch

Untersuchungskriterium	Aussaat					
	25.08.00	26.08.01	15.09.00	19.09.01	11.10.00	10.10.01
Entwicklungsstadium BBCH	29/30	29	29	27	23	22
Pflanzenzahl (m ²)	210	234	210	270	270	354
Triebe (m ²)	1.921	2.039	2.480	2.048	757	841
Spross-TM (dt/ha)	42	35	18	18	3	4
N-Gehalt der Spross-TM (%)	2,62	3,78	4,95	4,29	5,20	4,78
N-Entzug Spross (kg/ha)	109	134	90	78	15	20
N-Entzug Spross + Wurzeln* (kg/ha)	151	160	104	90	20	25
N_{\min} (kg/ha in 0 - 90 cm)						
Vorwinter	28	68	83	81	120	112
Frühjahr	14	62	40	67	97	104

* N-Gehalt und N-Entzug durch die Wurzeln wurde im Jahr 2000 ermittelt, im folgenden Jahr an Hand dieser Werte berechnet.

Dazu beigetragen hat allerdings auch, dass sich unmittelbar nach der Ernte der Vorfrucht in beiden Jahren ein dichter Ausfallrapsbestand entwickeln konnte, der bis zwei Wochen vor der Weizenbestellung im Oktober für seine Trockenmassebildung (vgl. Tabelle 35) etwa 80 bis 100 mm Niederschlag zusätzlich verbrauchte.

Festzustellen ist jedoch, dass hinsichtlich der Vermeidung von Stickstoffverlusten, unabhängig von der Winterwitterung, die Augustaussaat am günstigsten abschnitt. Hier fanden sich jeweils die niedrigsten N_{\min} -Werte vor dem Winter und nur geringfügige Veränderungen bis zum Vegetationsbeginn.

Untersuchungen im Januar 2001 belegen, dass die zeitige Aussaat nicht nur bei der Sprossentwicklung einen deutlichen Vorsprung erbringt, sondern davon profitiert im besonderen Maße auch das Wurzelsystem. Bis zum Eintritt des Winters sind einzelne Wurzeln der Augustaussaat bereits bis in etwa 90 cm, der Septembersaat bis in 60 cm und der Oktobersaat gerade bis in 30 cm Tiefe vorgedrungen. Damit wird sichtbar, dass die Pflanzen für ihre Ernährung sehr unterschiedliche Bodenvolumen nutzen können. Entscheidender für die Aufnahme ist allerdings die Wurzellänge je Pflanze bzw. die Wurzellängendichte im durchwurzelteten Bodenvolumen. Hier sind die Differenzierungen noch deutlicher. Das hat besondere Auswirkungen auf die Verfügbarkeit und Aufnahme des zu Vegetationsbeginn im Boden vorhandenen N_{\min} . So sind Pflanzen mit einem großen und dichten Wurzelsystem bereits beim Einsetzen des Wachstums im Frühjahr in der Lage den vorhandenen Stickstoff vollständiger und aus größeren Tiefen - also auch unterhalb der Bodenschicht von 0 bis 60 cm - aufzunehmen. Das erklärt verschiedentlich erzielte Ergebnisse in den Untersuchungen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft der letzten Jahre, bei denen für den Ertrag die zweite N-Gabe bedeutungsvoller als die erste war (ALBERT, 2003).

Anders als auf dem sandigen Lehm konnten die vorgesehenen Aussaatzeiten in Brinnis nicht immer wie geplant realisiert werden. Bei vergleichbaren Terminen war hier die Vorwinterentwicklung nicht so weit fortgeschritten wie in Köllitsch. Die wesentlich niedrigeren N_{\min} -Mengen im Boden förderten die Bildung von Sprosstrockenmasse nicht so stark.

Während der Winterraps auf dem Lehm in beiden Versuchsjahren etwa 160 kg N_{\min} /ha zurückließ, waren es auf dem Sand lediglich 40 bis 60 kg N_{\min} /ha in 0 bis 90 cm Tiefe. Trotzdem konnte der zeitig ausgesäte Weizen im Herbst 2000 noch eine hohe N-Aufnahme realisieren. Begünstigt wurde dies durch die beachtlichen Stickstofffreisetzung aus den Rapsrückständen bis zum Winter. Auch hier senkte die frühe Weizenaussaat den Gehalte an auswaschungsgefährdeten Nitrat-N bis zum Winter auf ein niedriges Niveau ab. Bei den späteren Saaten hing dies davon ab, ob sich ein guter Ausfallrapsbestand etablieren konnte. Während im ersten Jahr der Boden zwischenzeitlich schwarzbrach gehalten wurde, was die hohe N-Mineralisation erklärt, war im Herbst 2001 der überwiegende Teil des Stickstoff bis in den Winter hinein in Biomasse eingebunden und die Remineralisation erfolgte nur schleppend.

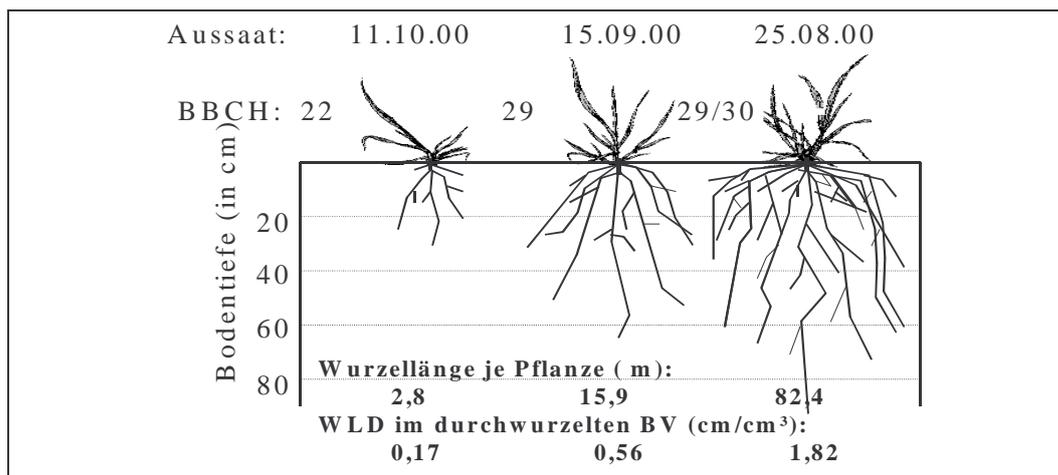


Abbildung 18: Wurzelsystem von Winterweizen in Abhängigkeit von der Herbstentwicklung (Sorte Cardos, sandiger Lehm, Probenahme Januar 2001)

Tabelle 33: Entwicklung von Winterweizen und N-Aufnahme bis zum Vorwinter in Abhängigkeit von der Aussaatzeit auf einem anlehmigen Sand in Brinnis (Sorte Kontrast)

Untersuchungskriterium	Aussaat						
	11.09.00	17.09.01	28.09.00	15.10.01	16.10.00	15.11.01	
Entwicklungsstadium BBCH	27	26	26	21	23	9	
Pflanzen/m ²	260	258	360	290	385	-	
Triebe/m ²	1.750	1.521	2.286	387	1.370	-	
Spross-TM (dt/ha)	29	16	11	2	4	-	
N-Gehalt der Spross-TM (%)	4,1	4,2	5,7	5,4	5,5	-	
N in Spross + Wurzel (kg/ha)	130	74	72	12	23	-	
N _{min} (kg/ha in 0 bis 90 cm)	Dezember	30	20	57	54	113	45
	März	22	14	34	41	57	85

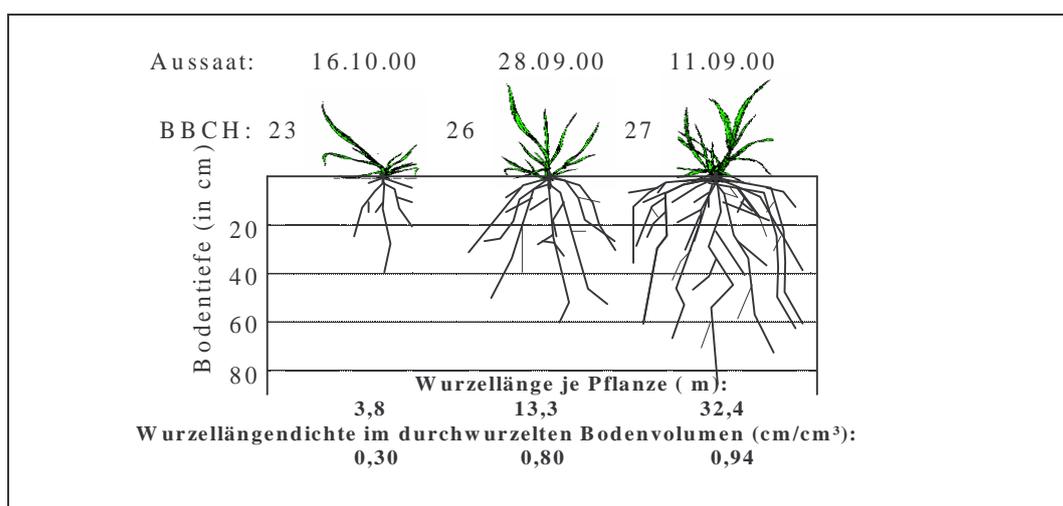


Abbildung 19: Wurzelsystem von Winterweizen in Abhängigkeit von der Herbstentwicklung (Sorte Kontrast, anlehmiger Sand, Probenahme Januar 2001)

Tabelle 34: Entwicklung des Wurzelsystems von Winterweizen, in Abhängigkeit von der Aussaatzeit und vom Standort bis zur Vegetationsruhe im Winter (Probenahme im Januar 2001)

Untersuchungsmerkmal	anlehmiger Sand			sandiger Lehm		
	Aussaattermin			Aussaattermin		
	11.09.00	28.09.00	16.10.00	25.08.00	15.09.00	11.10.00
Wurzeltiefe (cm)	85	60	45	95	60	45
Wurzellänge/m ² (m)	8.429	4.776	1.478	17.308	3.350	765
Wurzellänge/Pflanze (m)	32,40	13,30	3,80	82,40	15,90	2,80
Wurzel-TM (dt/ha)	8,93	5,52	1,78	18,40	6,01	0,91
% N in Wurzel-TM	1,44	1,71	1,73	1,31	1,65	1,87
N in Wurzel-TM (kg/ha)	12,90	9,40	3,10	24,10	9,90	1,70

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Wurzelsystem waren insofern überraschend, weil auf dem anlehmigen Sand die Durchwurzelungstiefen in Abhängigkeit von den Entwicklungsstadien mit denen auf dem Lehm vergleichbar waren. Insbesondere bei fortgeschrittener Bestockung bleibt dann jedoch die Wurzellänge je Pflanze und die Wurzellängendichte hinter der auf dem Lehmboden zurück.

Zur besseren Vergleichbarkeit sind die Ergebnisse der Wurzeluntersuchungen der beiden Standorte in Tabelle 34 zusammengefasst. Die größeren Wurzellängen auf dem Lehm stammen vor allem aus der dichteren Durchwurzelung der Ackerkrume. Ursache dafür dürfte vor allem das höhere N-Angebot sein. Damit wurde die Bestockung stärker gefördert und als Folge bildeten sich vermehrt sprossbürtige Wurzeln aus.

Die bereits kurz nach der Rapsernte vorliegenden hohen N_{\min} -Werte auf dem sandigen Lehm konnten von dem Ende August (sehr zeitig) ausgesäten Weizen bis zum Oktober kontinuierlich auf ein sehr niedriges Niveau abgesenkt werden (Abbildung 20) und blieb so bis zum folgenden Vegetationsbeginn erhalten. Auf den Teilstücken mit der Aussaat im Oktober nahm der N_{\min} bis Ende September wesentlich stärker ab. Ursache war der in beiden Versuchsjahren zügig aufgelaufene und sich dann üppig entwickelnde Ausfallraps. In der gebildeten Sprosstrockenmasse wurden bis zum Abtöten und dem folgenden Umbruch etwa 150 kg N/ha in Biomasse eingebunden (Tabelle 35). Nach der Weizenaussaat setzte allerdings eine kontinuierliche Wiederfreisetzung ein. Auf diesem Standort blieb dieser Stickstoff in beiden Jahren in der Bodentiefe von 0 bis 90 cm erhalten. Gleiches sollte in normal feuchten Wintern auf allen tiefgründigen Weizenstandorten in Sachsen der Fall sein.

Bleibt der Boden zwischen Rapsernte und der Wiederbestellung mit Weizen im Oktober schwarzbrach, wie es beispielsweise auf dem anlehmigen Sand im Herbst 2000 vorkam, so können selbst bei anfänglich niedrigen N_{\min} -Werten bis zum Winter beachtliche N-Mengen freigesetzt werden (Abbildung 21). Nach einer ausreichenden Durchfeuchtung im Spätsommer waren bereits bis zum Oktober 90 kg/ha insbesondere aus den stickstoffreichen Rapsrückständen mineralisiert. Einschließlich der N-Aufnahme waren es bis zum einsetzenden Winter > 100 kg/ha.

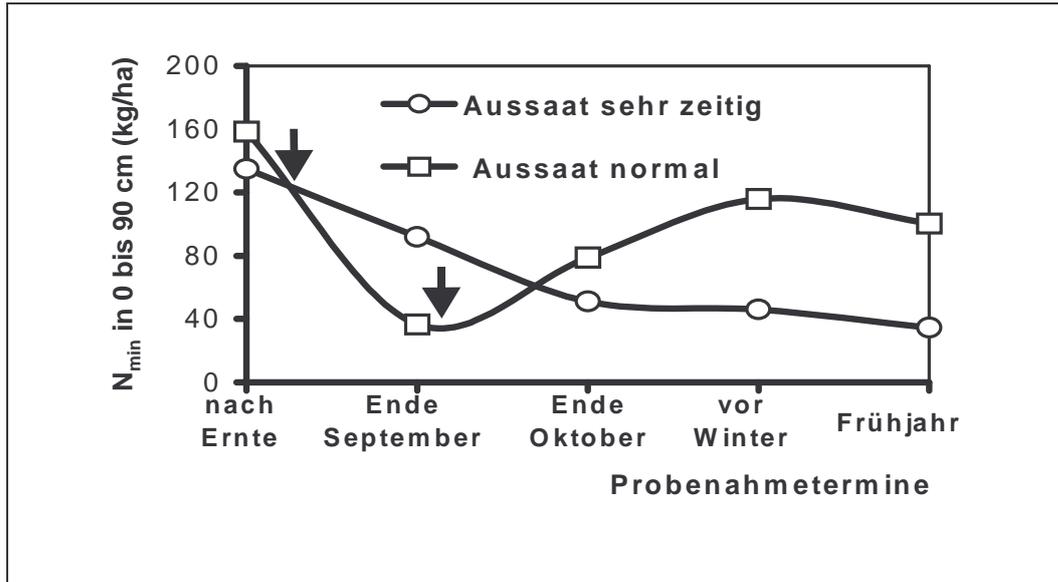


Abbildung 20: Verlauf des N_{\min} unter sehr zeitig und unter normal ausgesätem Winterweizen (sandiger Lehm, im Mittel von zwei Versuchsjahren)

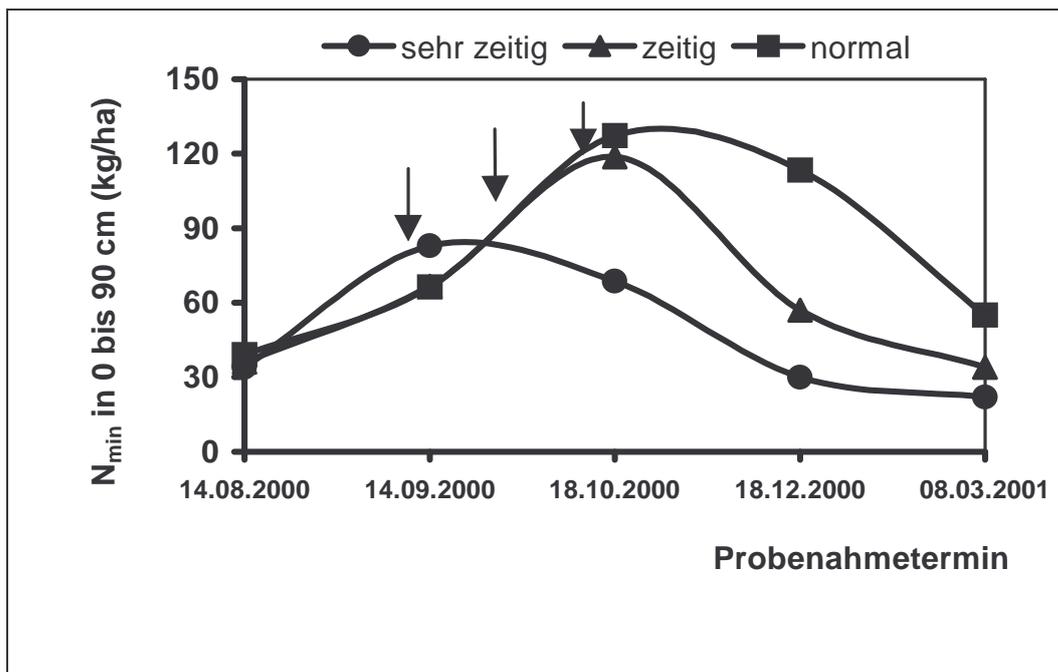


Abbildung 21: Verlauf des N_{\min} nach Winterraps unter differenziert ausgesätem Winterweizen auf einem anlehmigen Sand in Brinnis bei schwarz gehaltener Zwischenbrache

Im Gegensatz zu den tiefgründigen Böden mit hohem Wasserspeichervermögen kommen sowohl auf den leichten als auch auf den flachgründigen Standorten regelmäßig Verluste vor. Das wird zusätzlich verstärkt, wenn der Boden schwarzbrach gehalten wird. Dadurch wird die Mineralisation gefördert und die Feldkapazität des Bodens zeitiger aufgefüllt.

Aufwüchse von Ausfallraps wirken dem in zweierlei Hinsicht entgegen. Neben der Einbindung des Stickstoffs wird für die Biomassebildung Wasser verbraucht. Letzteres trägt dazu bei, dass der Abbau der verbliebenen Ernterückstände verzögert wird. Allein die gemessene N-Bindungsleistung der Sprosse betrug in den untersuchten Fallbeispielen 130 bis 160 kg N/ha (Tabelle 35) und lag damit weit über den von AUFHAMMER u. a. (1994) angegebenen N-Mengen. Der Vorteil gegenüber einem gezielten Zwischenfruchtanbau liegt darin, dass für den Landwirt keine zusätzlichen Kosten entstehen. Bei ausreichender Feuchtigkeit laufen die Pflanzen unmittelbar nach der Raps-ernte auf, was eine wesentliche Voraussetzung für einen hohen Massezuwachs und hohe N-Aufnahmen darstellt. Zwar setzt die N-Mineralisation nach dem Umbruch unverzüglich wieder ein (Abbildung 22), die Verluste über Winter hielten sich jedoch selbst auf dem Sandboden in Grenzen. Möglicherweise verzögert sich die Wiederfreisetzung, wenn das Pflanzenmaterial nicht vollständig durch den Pflug eingearbeitet wird, sondern lediglich gemulcht und der Weizen pfluglos bestellt wird.

Tabelle 35: Sprosstrockenmasse und N-Aufnahme von Ausfallraps bis jeweils kurz vor der Aussaat des nachfolgenden Winterweizens auf sandigem Lehm¹ und lehmigem Sand²

Termin	Jahr					
	2000 ¹		2001 ¹		2002 ²	
	Spross-TM dt/ha	N-Entzug* kg/ha	Spross-TM dt/ha	N-Entzug kg/ha	Spross-TM dt/ha	N-Entzug kg/ha
Weizenaussaat Mitte September	22	80	43	100	32	94
Weizenaussaat Anfang Oktober	34	115	46	135	55	165

* Entsprechend der Entwicklung und dem N-Angebot sind weitere 15 bis 30 kg N/ha im Wurzelsystem der Pflanzen gebunden.

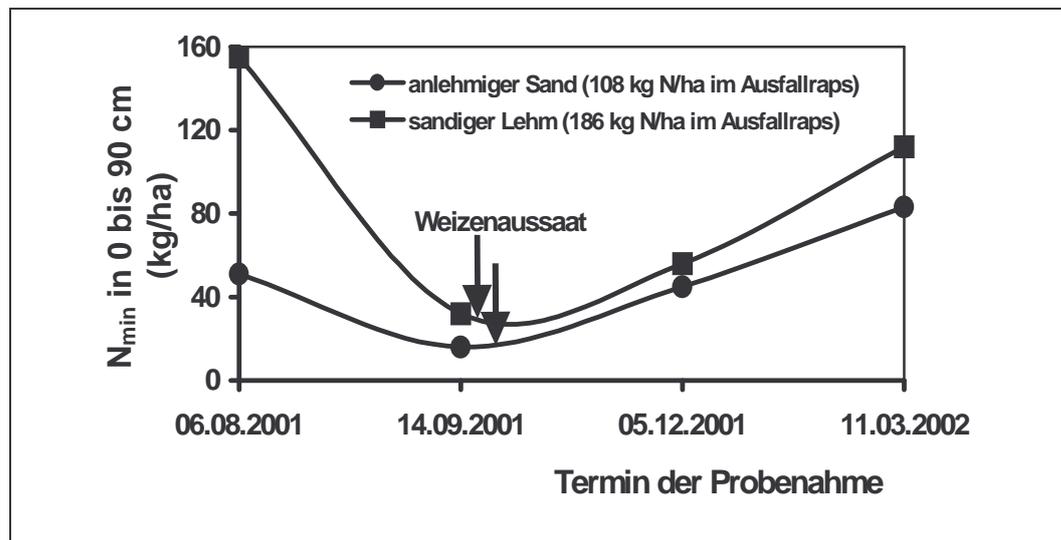


Abbildung 22: Verminderung des N_{min} durch Ausfallraps und die anschließende Wiederfreisetzung nach der Winterweizenaussaat

Der für die Bildung von 10 dt TM/ha notwendige Wasserverbrauch kann auf etwa 30 mm Niederschlag veranschlagt werden. Bei den hier ermittelten Sprosstrockenmassen wurden also 90 bis 120 mm verbraucht. Das Argument, welches häufig auch gegen den Zwischenfruchtanbau vorgetragen wird, nämlich dass dieses Wasser im kommenden Jahr für die Ertragsbildung fehlt, ist auf den meisten sächsischen Standorten nicht gerechtfertigt. Zum einen weil die Trockenmassebildung im August/September bei unzureichender Bodenfeuchte begrenzt bleibt und zum anderen weil die Niederschläge ab Oktober zumeist ausreichend sind, die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum der Böden - auf denen regelmäßig Nitrat ausgewaschen wird - aufzufüllen.

3.2.2 Ertrag in Abhängigkeit von der Aussaatzeit

Für die Beurteilung der Kornerträge erwies es sich als hilfreich, dass im LVG Köllitsch auf den Großteilstücken des jeweiligen Saattermins ein Düngungsversuch mit unterschiedlicher Verteilung der N-Gaben angelegt wurde (Tabelle 36 und 37). Dabei deuten die Varianten ohne Stickstoff bereits auf die Hauptursache für die eingetretenen Differenzierungen zwischen den jeweiligen Aussaatterminen hin.

Tabelle 36: Winterweizenerträge bei differenzierter Aussaatzeit in Abhängigkeit von der N-Düngung im Jahr 2001 (sandiger Lehm, Sorte Cardos)

1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Ähren/m ²	Kornertrag (dt/ha, 86%)	% Rohprotein	TKM (g)	N-Entzug* (kg/ha)
Aussaat am 25.08.2000							
0	0	0	476	55,0	8,8	42,8	119
30	60	60	542	82,0	12,9	45,8	263
50	30	70	570	82,0	13,9	46,8	265
25	50	60	512	88,0	13,0	44,7	264
LSD 5%				7,1	1,3	2,6	
Aussaat am 15.09.2000							
0	0	0	608	83,0	9,8	46,3	178
30	30	60	648	92,0	13,2	48,1	304
60	0	60	678	98,0	13,0	47,4	302
0	45	55	656	92,0	13,0	46,8	268
LSD 5%				6,9	0,5	n.s.	
Aussaat am 10.10.2000							
0	0	0	548	91,0	10,8	48,1	217
0	60	60	616	105,0	13,6	48,9	336
50	0	50	596	106,0	13,0	48,4	324
0	35	45	580	106,0	13,0	47,8	303
LSD 5%				6,9	0,5	n.s.	

* N-Entzug insgesamt (Korn und Stroh)

Der Ende August ausgesäte Weizen hatte sich bereits vor Winter sehr üppig entwickelt. Das führte insbesondere im Herbst 2000 zuzeitigem N-Mangel und unmittelbar zum Beginn der Vegetation zu drastischen Triebreduktionen. Ein Vergleich der drei Aussaattermine macht deutlich, dass der Grundertrag ohne N-Düngung bei dem besonders zeitig gesäten Weizen am niedrigsten ausfällt. Der höhere N_{\min} zu Beginn der Vegetation und die im Verlauf des Frühjahrs stetige Stickstoffnachlieferung aus der Biomasse des Ausfallrapses erwiesen sich für die September- und besonders für die Oktobersaat als vorteilhaft.

Das erklärt den im Sommer 2001 erzielten düngungsbedingten Mehrertrag von rund 27 dt/ha bei der extrem zeitigen Aussaat. Das Ertragsniveau lag allerdings deutlich unter dem der übrigen Saattermine. Die Differenzierung zwischen den Aussaaten war in erster Linie dem unterschiedlichen Krankheitsdruck geschuldet. Über den Einfluss der Blattkrankheiten berichtete bereits WEISKE, 2002. Darüber hinaus wirkte sich bei der Augustaussaat ertragsmindernd aus, dass etwa 20 % der Pflanzen mit Gelbverzweigung befallen waren und bei den früheren Saaten zur Milchreife mittleres bis starkes Lager auftrat.

Ob bei der extrem zeitigen Saat durch eine frühere N-Zufuhr das Ertragsniveau gestiegen wäre, lässt sich schwer abschätzen. Bedenklich war in jedem Fall das Absinken der N-Gehalte in der Sprosstrockenmasse bereits vor dem Winter auf 2,6 % und die sehr niedrigen N_{\min} -Werte (< 30 kg/ha in 0 bis 90 cm) zu Vegetationsbeginn. Dieser Mangel wurde erst Anfang April im Verlauf des Schossens mit dem Wirken der ersten N-Gabe behoben.

Die beobachteten Ertragsunterschiede in Köllitsch fanden auf anderen Standorten nicht immer Bestätigung. So konnten beispielsweise in Plaußig (sandiger Lehm) sowie in Hirschfeld (Lehm) auf nebeneinander liegenden Produktionsschlägen kein Ertragsunterschied zwischen früher (Anfang September) und normaler Aussaatzeit (Ende September/Anfang Oktober) beobachtet werden. Hier lagen allerdings auch die N-Gehalte in den Weizensprossen vor dem Winter um etwa einem Prozent höher als in Köllitsch.

Während die Pflanzenentwicklung im Herbst 2001 kaum Unterschiede zum Vorjahr erkennen ließ, waren die Frühsaaten bald nach Vegetationsbeginn durch starken Befall mit Gelbverzweigung gekennzeichnet. Trotz zweimaliger Blattlausbekämpfung im Herbst (Mitte September und Anfang Oktober) waren bei der Augustaussaat etwa 70 % und bei der Septembersaat nach einmaliger Behandlung Anfang Oktober rund 15 % aller Pflanzen befallen. Vermutlich zahlt sich in solchen Fällen die bereits von SCHÖBERLEIN u. a. 1999 für frühe Saatzeiten empfohlene kombinierte Fungizid-Insektizid-Behandlung des Winterweizensaatgutes aus.

Besondere bei dem hohen Anteil viruskranker Pflanzen waren die Auswirkungen auf den Ertrag gravierend und der Einfluss der Stickstoffdüngung im Frühjahr unbedeutend (Tabelle 37). Bemerkenswert sind wieder die hohen Grunderträge ohne N-Einsatz insbesondere bei der Normalsaat.

Tabelle 37: Winterweizenträge (dt/ha, 86 % TM) bei differenzierter Aussaatzeit im Jahr 2002 (sandiger Lehm, Sorte Cardos)

1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Ähren/m ²	Kornertrag (dt/ha, 86%)	% Rohprotein	TKM (g)	N-Entzug* (kg/ha)
Aussaat am 26.08.2001							
0	0	0	380	41	13,6	35,6	84
60	60	30	452	43	14,6	36,4	95
120	0	30	428	43	14,8	36,1	96
Aussaat am 19.09.2001							
0	0	0	492	61	13,7	44,5	130
60	60	45	607	85	15,7	45,3	202
120	0	45	622	86	15,1	45,5	196
Aussaat am 10.10.2001							
0	0	0	555	73	14,0	45,8	154
60	60	60	612	94	15,2	45,6	215
120	0	60	619	89	15,4	46,3	207

* N-Entzug Korn

Tabelle 38: Einfluss der Aussaatzeit auf den Weizenantrag und die Ertragskomponenten im Jahre 2001 auf anlehmigem Sand (Sorte Kontrast)

Merkmal	Aussaat		
	11.09.00	28.09.00	16.10.00
N-Düngung (kg/ha)	80	95	110
Ertrag (86 % TM; dt/ha)	60	71	73
Rohprotein (%)	12,0	11,9	12,0
Ähren/m ²	492	589	498
TKM (g)	38,7	40,3	40,3
N-Entzug insgesamt (kg/ha)	163	195	181
\bar{X} Halmlänge (cm)	114	109	99
Korn:Stroh*-Verhältnis	1,9	1,8	1,5

* Stroh einschließlich der Stoppel und Spreu

Tabelle 37: Einfluss von Lager zur Kornfüllphase auf Ertrag und Qualitätsmerkmale von Winterweizen (Sorte Kontrast, Aussaat am 11.09.2000)

Merkmal	Ertrag (dt/ha; 86%)	TKM (g)	Rohprotein (%)	Fallzahl	Sedimentationswert
ohne Lager	71,2	41,4	11,5	454	42
mit Lager	57,8	36,9	12,1	402	51

Im Jahr 2001 erbrachte auf dem anlehmigen Sand in Brinnis der Weizen der ersten Aussaat (11.09.) einen Ertrag von 60 dt/ha (Tabelle 38). Das ist eine Ernte, die der sonst hier übliche Roggen nur selten realisiert. Mit Kornerträgen von > 70 dt/ha sind die späteren Saattermine jedoch überlegen. Ursache war die deutlich bessere Standfestigkeit. Der Lageranteil auf der Fläche der ersten Aussaat betrug etwa 60 %. Dafür verantwortlich war sowohl der fehlende Einsatz von

Wachstumsregulatoren (im Mittel 15 cm längere Halme als die Normalsaat) als auch der unterlassene Fungizideinsatz (höherer Anteil Halmbruchkrankheiten).

Um die Auswirkungen von Lager auf den Ertrag genauer erfassen zu können, wurden bei der zeitigen Aussaat Teilflächen mit und ohne Lager getrennt beprobt (Tabelle 39). Die Ergebnisse machen anschaulich sichtbar, dass der Ertrag auf den Flächen ohne Lager dem der übrigen Aussaaten gleich kam. Durch Erhöhung der Standfestigkeit ließen sich der Vorteil einer höheren N-Aufnahme im Herbst sowie eine reduzierte Düngermenge im Frühjahr besser nutzen.

Tabelle 40: Einfluss der Aussaatzeit auf den Weizenertrag und Ertragskomponenten im Jahre 2002 auf anlehmigem Sand (Sorte Kontrast)

Merkmal	Aussaat		
	17.09.01	15.10.01	15.11.01
N-Düngung (kg/ha)	80	105	105
Ertrag (86% TM; dt/ha)	47	54	51
Rohprotein (%)	11,4	12,0	13,4
Ähren/m ²	439	449	391
TKM (g)	29,9	33,5	37,4
N-Entzug insgesamt (kg/ha)	130	142	152
\bar{X} Halmlänge (cm)	106	102	94
Korn : Stroh* - Verhältnis	1,9	1,6	1,5

* Stroh einschließlich der Stoppel und Spreu

Im zweiten Jahr fielen auf dem anlehmigen Sand die Erträge insgesamt niedriger aus. Die Differenzierung zwischen der September- und der Oktobersaat sind wieder dem höheren Lageranteil geschuldet. Obwohl der N-Einsatz geringer war, erbrachte der erste Aussaattermin abermals die längsten Halme sowie ein ungünstiges Korn:Stroh-Verhältnis.

3.2.3 Zusammenfassung

Die Vorverlegung der Aussaatzeit von Winterweizen erweist sich als ein gangbarer Weg zur Vermeidung von N-Verlusten. Das ist insofern bedeutungsvoll, da in Sachsen der Weizen in der Fruchtfolge überwiegend nach Vorfrüchten zum Anbau kommt, die regelmäßig höhere Rest-N_{min}-Mengen zurücklassen (Winterraps, organisch gedüngter Mais) bzw. aus deren Ernte- und Wurzelrückständen (Raps, Körnerleguminosen, Hackfrüchte) beachtliche N-Mengen freigesetzt werden. Mit hoher Nachlieferung ist auch auf Flächen mit regelmäßiger organischen Düngern zu rechnen.

Durch Aussaaten vor Mitte September wurden Spross-TM und N-Aufnahmen realisiert wie sie im Zwischenfruchtanbau oder bei üppig entwickeltem Winterraps vorkommen. Unter Einbeziehung auch anderen Standorte und Untersuchungsergebnisse lassen sich für die N-Entzüge des Weizens bis Vegetationsende die in Tabelle 41 gemachten Verallgemeinerungen treffen. Grundlage sind allerdings immer relativ hohe N_{min}-Gehalte im Boden.

Es liegen zwar keine eigenen Ergebnisse bei niedrigen N_{\min} -Gehalten und verminderter herbstlicher Mineralisation vor, doch besagen Erfahrungen der Praxis, dass unter diesen Bedingungen die Gefahr zu dichter bzw. überwachsener Bestände deutlich vermindert ist. Das zeigt sich auch häufig beim so genannten „Stoppelweizen“, der bei gleichem Aussaattermin häufig in seiner Entwicklung zurück bleibt. Ein wichtiger Grund dabei ist, dass zu dieser Zeit die vorhandenen Stroh- und Wurzelreste von den Mikroorganismen zersetzt werden und so ein beachtlicher Teil des pflanzenverfügbaren Stickstoffs in die mikrobielle Biomasse eingebunden wird und den jungen Weizenpflanzen fehlt.

Tabelle 41: Gebildete Spross-TM und N-Entzüge von Winterweizen bis zum Vegetationsende in Abhängigkeit von der Aussaatzeit sowie die erzielten Kornerträge

	Aussaat von Winterweizen		
	bis Mitte September	Mitte bis Ende September	Anfang Oktober
Spross-TM (dt/ha)	> 25	5 bis 25	< 5
N-Entzug (kg/ha)	100 bis 150	30 bis 100	< 30
Kornertrag (dt/ha)	40 bis 105	50 bis 110	55 bis 110

Bei Aussaat im Oktober hat es sich als günstig erwiesen, wenn beispielsweise der zumeist sehr üppig wachsende Ausfallraps bis kurz vor der normalen Aussaatzeit den verbliebenen Stickstoff in Biomasse einbindet. Zwar setzt die Remineralisierung bereits im Vorwinter wieder ein. Unter den Versuchsbedingungen verblieb er selbst auf anlehmigem Sand in der Bodenschicht von 0 bis 90 cm. Besonders auf tiefgründigen Lehmböden und bei Niederschlägen, wie sie für viele Standorte in Sachsen normale sind, sollte dieser Stickstoff im Wurzelbereich des Weizens verbleiben. Auf leichten und flachgründigen Böden und bei hohen Niederschlägen geht er allerdings häufiger verloren.

Aussaaten vor Mitte September waren besonders durch Gelbverzwergung bzw. durch verstärktes Auftreten von Lager gefährdet. Das führte zu Mindererträgen. Eine Verallgemeinerung der hier vorgestellten Erträge sollte mit größter Zurückhaltung erfolgen. Wenn es beispielsweise gelingt, die Pflanzenbestände virusfrei zu halten (kombinierte Insektizid-/Fungizidbeizung bzw. optimale Vektoren bekämpfung) und durch angemessenen Einsatz von Wachstumsregler die Standfestigkeit zu verbessern, sind zeitige Saaten den Normalsaaten ebenbürtig. Erfahrungen verschiedener Landwirte, die regelmäßig mit frühen Weizenaussaaten arbeiten besagen auch, dass mit deutlich geringeren Saatstärken (< 220 Körnern/m²) die starke Bestockung im Herbst ausgleichen lässt.

Im Hinblick auf die Gesunderhaltung der Bestände werden unter sächsischen Standortbedingungen extrem frühe Saattermine abgelehnt. Insbesondere auf Böden wo die Gefahr von Auswaschung besonders groß ist, sind Aussaaten in der zweiten Septemberhälfte anzustreben. Unter günstigen Bedingungen realisiert der Weizen dann noch N-Aufnahmen bis zu 100 kg/ha.

Hinsichtlich der Düngungsstrategie erwies sich bei den üppig entwickelten Beständen zu Vegetationsbeginn eine verhaltene N-Versorgung als günstig. Ausreichend waren 50 bis 70 kg/ha (N_{\min} und Düngerstickstoff). Radikales „zurückhungern“ ist zu vermeiden, da neben der Bestandesdichte in diesem Entwicklungsabschnitt auch die Ährenanlage negativ beeinflusst wird.

3.3 Ammoniumbetonte N-Ernährung

Obwohl die N-Düngung zu großen Teilen in Form von Ammonium erfolgt, nehmen die Pflanzen diesen Stickstoff zumeist als Nitrat auf. Ursache dafür ist, dass im Normalfall das ausgebrachte Ammonium im Boden zügig durch Mikroorganismen umgewandelt wird. Der Einsatz von Nitrifikationshemmern verzögert diesen Prozess zeitlich. Gleiches soll mit dem CULTAN-Verfahren (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) erreicht werden.

Anwendung finden hier nitratfreie oder -arme Stickstofflösungen, die mit speziellen Geräten direkt in den Boden zwischen die Pflanzenreihen in Wurzelnähe, häufig sogar punktförmig, injiziert werden. Durch diese Ablage werden lokal sehr hohe Ammoniumkonzentrationen erreicht. Sie wirken dann selbst hemmend auf die Nitrifikanten. Die Beweglichkeit des Ammoniums in den Depots ist nur gering. Eine Verdünnung erfolgt erst dadurch, dass die Pflanzenwurzel diesen Bodenbereich nach und nach erschließen muss und den Stickstoff aufnimmt. Auf diese Weise bleibt die Nitrifikation langfristig eingeschränkt. Verluste werden besonders dort unterbunden, wo Nitratauswaschung häufig bereits während der Vegetation vorkommt.

Die Anfangs vor allem für den Gemüsebau empfohlene Methode der Ammonium-Depotdüngung (SOMMER, u. a., 1987) wurde in den letzten Jahren bei verschiedenen Ackerkulturen ausprobiert. Bei korrekter Bemessung des Düngebedarfs sind die Stickstoffdepots zur Ernte vollständig verbraucht. In Gemüsebau ist das insofern kein Problem, da zumeist durch zusätzliche Bewässerung das angestrebte Ertragsniveau erreicht wird und die notwendige Stickstoffmenge durch einfache Bilanzen unter Berücksichtigung des N_{\min} berechnet werden kann. Problematischer ist es allerdings bei landwirtschaftlichen Kulturen, da die Höhe der gesamten Stickstoffdüngung zu einem sehr frühen Zeitpunkt festgelegt werden muss. Insbesondere wenn sich im Verlauf des Frühjahrs ungünstige Ertragsbedingungen einstellen, kann das schneller als bei Teilung der Gaben und deren Anpassung an den aktuellen Bedarf zu höheren Reststickstoffmengen führen.

Für dieses Düngungsverfahren spricht, dass bei dieser langsam fließenden Nährstoffquelle die gesamte Stickstoffdüngung in einer Gabe erfolgen kann. Das reduziert den Arbeitsaufwand, die Bodenbelastung und den Treibstoffeinsatz. Von Vorteil ist in jedem Fall auch, dass durch die gezielte Einbringung in etwa 10 cm Bodentiefe bei geringem Abstand von den Pflanzenreihen die Wurzeln zügig auf den so ausgebrachten Stickstoff zurückgreifen können. Das ist in Jahren mit langanhaltender Frühjahrs- bzw. Sommertrockenheit von Vorteil. Treffen Szenarien hinsichtlich der weltweiten Klimaveränderungen zu, so treten solche Trockenperioden immer öfter in weiten Teilen Sachsens auf. In dem Fall bleibt die Wirksamkeit von festen auf dem Boden applizierten Düngern deutlich eingeschränkt. Da das CULTAN-Verfahren in den letzten Jahren sowohl unter ökologisch als auch ökonomischen Gesichtspunkten verstärkt Beachtung gefunden hat und in Sachsen bisher keine Erfahrungen damit vorliegen, wurde in Modellversuchen auf der Kastenanlage in Leipzig in den Jahren 2001 und 2002 Untersuchungen zur ammoniumbetonten N-Ernährung mit Mais und Winterweizen durchgeführt. An dieser Stelle sollen die Ergebnisse mit Winterweizen beispielhaft vorgestellt werden.

Auf einem Sand- bzw. Lehmboden wurde die platzierte einmalige Ammoniumdüngung mit der herkömmlichen geteilten Düngergabe verglichen. Als Standard diente die Anwendung von Kalkammonsalpeter. In zwei zusätzlichen Prüfgliedern wurde die erste N-Gabe zu Vegetationsbeginn in Form von Güllestickstoff verabreicht. Zur Vermeidung von Ammoniakverlusten erfolgte die Ausbringung in etwa 5 cm Bodentiefe mittels Injektion. Geprüft wurde auch, ob durch den Zusatz des Nitrifikationshemmers DMPP (3,4-Dimethylpyrazol-Phosphat) das Ammonium der Harnstoff-Ammoniumsulfat-Lösung (HAS-Lösung) bzw. in der Gülle vollständiger vor der Umwandlung in Nitrat geschützt werden kann bzw. damit Einfluss auf die Verfügbarkeit des Dünger-N genommen wird.

Tabelle 42: Prüfglieder und die eingesetzten Düngerformen und Stickstoffmengen

Prüfglied	Düngerform	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe
		kg/ha		
Anlehmiger Sand				
KAS	Kalkammonsalpeter	50	60	50
Cultan + DMPP	Harnstoff - Ammoniumsulfat - Lösung + DMPP	160	-	-
Cultan	Harnstoff - Ammoniumsulfat - Lösung	160	-	-
Gülle + DMPP	40 m ³ Gülle/ha mit DMPP + zwei Gaben mit KAS	176*	60	50
Gülle	40 m ³ Gülle/ha + zwei Gaben mit KAS	176*	60	50
Lehm				
KAS	Kalkammonsalpeter	50	60	50
Cultan + DMPP	Harnstoff - Ammoniumsulfat - Lösung + DMPP	170	-	-
Cultan	Harnstoff - Ammoniumsulfat - Lösung	170	-	-
Gülle + DMPP	40 m ³ Gülle/ha mit DMPP + zwei Gaben mit KAS	176*	60	50
Gülle	40 m ³ Gülle/ha + zwei Gaben mit KAS	176*	60	50

* Gesamtstickstoff in der ausgebrachten Gülle

Die einzelnen Düngungsvarianten mit den jeweiligen N-Mengen sind der Tabelle 42 zu entnehmen. Während bei den geteilten Gaben zu Beginn der Vegetation, Anfang des Schossens und des Ährenschiebens der Stickstoff appliziert wurde, erfolgte die Ausbringung der HAS-Lösung, wie in der Literatur empfohlen, bei ersten Anzeichen von N-Mangel zum Ende der Bestockung (vgl. SOMMER und FISCHER, 1993; WEIMAR, 1996). Die N-Düngerlösung wurde in 10 cm Tiefe punktförmig im Abstand von 10 cm zwischen jeder zweiten Pflanzenreihen in den Boden injiziert. Die Gülle wurde reihenförmig in jeder zweiten Zwischenreihe eingebracht.

Auf dem Sandboden, wo bei sehr niedrigen N_{\min} -Werten bereits Mitte März, also vier Wochen früher als auf dem Lehm, die Applikation der HAS-Lösung erfolgte, reagierte der Weizen mit einer stärkeren Bestockung und letztendlich einer höheren Ährenzahl/m². Das wirkte sich zwar nicht auf den Kornertrag aus, führte jedoch zu einem signifikant höheren Strohertrag. Für die Qualität des Korns war das allerdings weniger vorteilhaft. Zwar fällt nur die TKM signifikant im Vergleich zu den anderen Prüfgliedern ab, aber auch bei der Fallzahl und dem Sedimentationswert finden sich die niedrigsten Werte. Positiv fallen in jedem Fall die beiden Prüfglieder auf, bei denen die erste Stickstoffgabe in Form von Gülle-N verabreicht wurde. Sie waren zwar in der anfänglichen vegetativen Entwicklung nicht begünstigt, konnten aber das gleiche Ertragsniveau und die besten Qualitätsparameter beim Korn erzielen. Insbesondere die etwas höheren Rohproteinwerte sind das Resultat des höheren Stickstoffangebots.

Tabelle 43: Wirkung einer ammoniumbetonten N-Versorgung auf den Ertrag und die Qualitätsmerkmale von Winterweizen auf anlehmigem Sand- und auf Lehmboden im Jahr 2002

Prüfglied	Korn dt/ha 86%	Stroh TM dt/ha	Korn/ Stroh - Verhältnis	N-Entzug kg/ha	TKM g	% Roh- protein	Fall- zahl	Sedimen- tations- wert
	anlehmiger Sand							
KAS	69,4	64,2	1,1	195	36,6	14,3	295	45
Cultan + DMPP	67,3	78,8	1,4	202	33,7	14,9	251	44
Cultan	69,0	74,6	1,3	205	34,4	14,4	268	42
Gülle + DMPP	67,1	68,5	1,2	204	36,7	15,6	306	51
Gülle	69,8	71,7	1,2	218	36,7	15,7	260	50
GD 5 %	n.s.	7,4	0,1	n.s.	1,7	n.s.	-	-
Lehm								
KAS	78,4	76,8	1,1	217	38,6	14,1	281	41
Cultan + DMPP	77,6	76,6	1,1	235	33,7	14,9	248	41
Cultan	76,4	83,6	1,3	232	35,9	14,6	247	42
Gülle + DMPP	81,3	71,2	1,0	237	38,5	14,6	264	50
Gülle	83,8	84,2	1,2	246	38,6	14,7	242	48
GD 5 %	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	3,6	n.s.	-	-

Das insgesamt höhere N-Angebot brachte auf dem Lehm in den Prüfgliedern mit Gülle den höchsten Kornertrag. Im Mittel waren es 82,5 dt/ha, das sind 5,5 dt/ha mehr als bei den Prüfgliedern mit einmaliger Ammoniumdüngung. Im Vergleich zur Standarddüngung mit KAS war jedoch kein Unterschied vorhanden.

Bei der Ausnutzung des zugeführten Düngerstickstoffs gab es zwischen der dreigeteilten Gabe mit KAS und der einmaligen Gabe (Cultan) keine Unterschiede. Ein etwas anderes Bild zeigte sich allerdings, wenn die erste Gabe in Form von Gülle ausgebracht wurde (Tabelle 44). Von den

176 kg/ha Gesamt-N lassen sich auf dem Sand lediglich 66 und auf dem Lehm 75 kg/ha im Ertrag des Winterweizens wieder finden. Daraus errechnet sich ein Mineraldüngeräquivalent von 38 bzw. 43. Bedenkt man, dass durch die Injektion der Gülle in den Boden die Verluste an Ammoniak begrenzt blieben, ist die Wirksamkeit erst einmal als unbefriedigend einzuschätzen. Bei der Beurteilung dieses Ergebnisses muss allerdings berücksichtigt werden, dass für die Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs und die Aneignung durch den Weizen nur eine relativ kurze Zeit blieb.

Trotz der 144 mm Niederschlag im zu betrachtenden Zeitraum, war aufgrund des hohen Wasserverbrauchs des Weizens in diesem Entwicklungsabschnitt die oberste Bodenschicht relativ häufig ausgetrocknet, was die Mineralisation stark einschränkte. Demzufolge musste der Weizen im Wesentlichen auf den löslichen Teil des Güllestickstoffs zurückgreifen.

Bezieht man die Aufnahmen allein auf diese N-Fraktion, so fällt die Beurteilung wesentlich günstiger aus. Zu erwarten ist unter solchen Bedingungen jedoch ein Mineralisationsschub nach der Ernte bis zum Winter, wenn nach einer durchgreifenden Wiederbefeuchtung des Bodens die mikrobielle Aktivität deutlich ansteigt.

Tabelle 44: Kalkulation des Mineraldüngeräquivalents für den zur ersten N-Gabe in den Boden injizierten Güllestickstoff

Merkmal	Anlehmiger Sand		Lehm	
	Prüfglied		Prüfglied	
	KAS	Gülle	KAS	Gülle
N-Entzug (kg/ha)	195	211	217	242
Mineraldünger-N (kg/ha)	160	110	160	110
Differenz (kg/ha)	35	101	57	132
N aus dem Boden (kg/ha)	35	35	57	57
Gülle-N im Ertrag (kg/ha)	-	66	-	75
MDÄ des Gülle-N		38		43

3.4 Strohdüngung

Durch den starken Rückgang der Viehbestände im letzten Jahrzehnt und der kontinuierlichen Ausdehnung des Getreideanbaus hat der Umfang der Strohdüngung deutlich zugenommen. Durch ein weites C:N-Verhältnis im Stroh kommt es beim Abbau dazu, dass pflanzenverfügbare Stickstoff in organische Bindung festgelegt wird. Im Hinblick auf die Vermeidung von N-Verlusten ist diese Tatsache positiv zu bewerten. In welchem Maße dies geschieht, hängt von der Menge des dem Boden zugeführten Pflanzenmaterials und dem darin tatsächlich vorhandenen C:N-Verhältnis ab.

Hinsichtlich des Strohanfalls ist festzustellen, dass im Intensivgetreidebau das Verhältnis von Korn zu Stroh etwa ausgeglichen ist. Das belegen auch die Ergebnisse aus den Untersuchungen zur

differenzierten Aussaatzeit bei Weizen (Tabelle 45). Ohne den Einsatz von Halmstabilisatoren erweitert es sich auf rund 1,5. Eine zeitigere Aussaat in Verbindung mit einer üppigen Vorwinerentwicklung dehnt es ebenfalls aus. Ohne Halmeinkürzung betrug die gebildete Strohmenge etwa das Zweifache des Kornertrags. Die hier vorgestellten Relationen fanden im folgenden Versuchsjahr ihre Bestätigung.

Bei der Beurteilung der in der Tabelle ausgewiesenen Stroherträge muss berücksichtigt werden, dass sowohl die Stoppeln als auch die häufig nicht erfasste Spreu einbezogen sind. Unter diesem Gesichtspunkt sind auch unter Praxisbedingungen Trockenmassen von > 100 dt/ha keine Seltenheit mehr.

Tabelle 45: Korn- und Stroherträge im Jahr 2001 bei Winterweizen auf verschiedenen Standorten in Abhängigkeit vom Aussaattermin und das daraus ermittelte Korn:Stroh-Verhältnis

Standort	Weizensorte	Aussaat	Korn-TM dt/ha	Stroh-TM* dt/ha	Korn:Stroh-Verhältnis
anlehmiger Sand**	Kontrast	früh	52	97	1,9
anlehmiger Sand**	Kontrast	normal	62	97	1,6
Sandiger Lehm	Cardos	sehr früh	72	131	1,8
Sandiger Lehm	Cardos	früh	81	135	1,7
Sandiger Lehm**	Cardos	normal	91	132	1,4
Sandiger Lehm	Charger	früh	97	135	1,4
Sandiger Lehm	Charger	normal	101	93	0,9
Lehm	Tarso	früh	79	118	1,5
Lehm	Tarso	normal	80	80	1,0

* Stroh einschließlich Stoppel und Spreu;

** ohne Halmstabilisator

Der Einfluss von N-Angebot und Ertragsbildung auf das C/N-Verhältnis im Stroh wird am Beispiel der im Jahr 2001 in Köllitsch durchgeführten Untersuchungen sichtbar (Tabelle 46). Mit steigendem N-Angebot wurde hier sowohl der Ertrag als auch der Rohproteingehalt erhöht. Im gleichen Maße verengt sich das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im Stroh. Daraus ergeben sich die in Abbildung 23 und 24 dargestellten Beziehungen.

Die engste Beziehung besteht zwischen N-Einsatz (N_{\min} im Frühjahr + Stickstoffdüngung) und dem jeweiligen C:N-Verhältnis. Aber auch der Rohproteingehalt des Getreidekorns gibt eine grobe Orientierung.

Aus verschiedenen Untersuchungsreihen sind in Tabelle 47 C:N-Verhältnisse von Weizenstroh bei unterschiedlicher Anbauintensität zusammengestellt. Es wird sichtbar, welche großen Unterschiede in der Praxis vorkommen können. Insbesondere bei hohem N-Einsatz ergeben sich derart enge Relationen, die nahe dem Bereich von 35 zu 1 liegen, bei dem praktisch kein Stickstoff mehr festgelegt wird, zumal sich der Abbau des stickstoffarmen Ligninanteils über einen längeren Zeitraum hinzieht.

Tabelle 46: C/N-Verhältnis im Getreidestroh in Abhängigkeit vom Ertrag und dem N-Einsatz bei der Sorte „Cardos“ im Versuchsjahr 2000/2001

Varianten*	Verhältnis von C/N im Stroh	% N in Strohtrockenmasse	% Rohprotein im Korn	Kornertrag (dt/ha)
24 + 0	94	0,45	9,7	55,0
40 + 0	74	0,56	9,8	82,7
97 + 0	67	0,61	10,8	91,1
24 + 150	62	0,71	13,9	82,5
24 + 150	61	0,66	14,7	81,6
97 + 100	55	0,71	13,0	106,0
40 + 120	45	0,92	13,0	92,0
97 + 120	44	0,92	13,6	105,0

N_{min} in 0 bis 90 cm zu Vegetationsbeginn + N-Düngung (jeweils kg/ha)

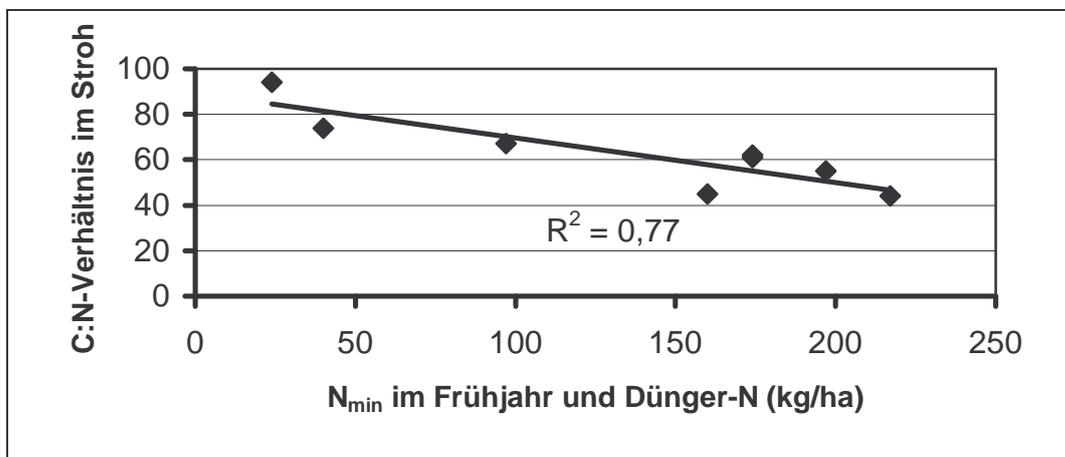


Abbildung 23: Verfügbare Stickstoffmenge und das C:N-Verhältnis in Winterweizenstroh

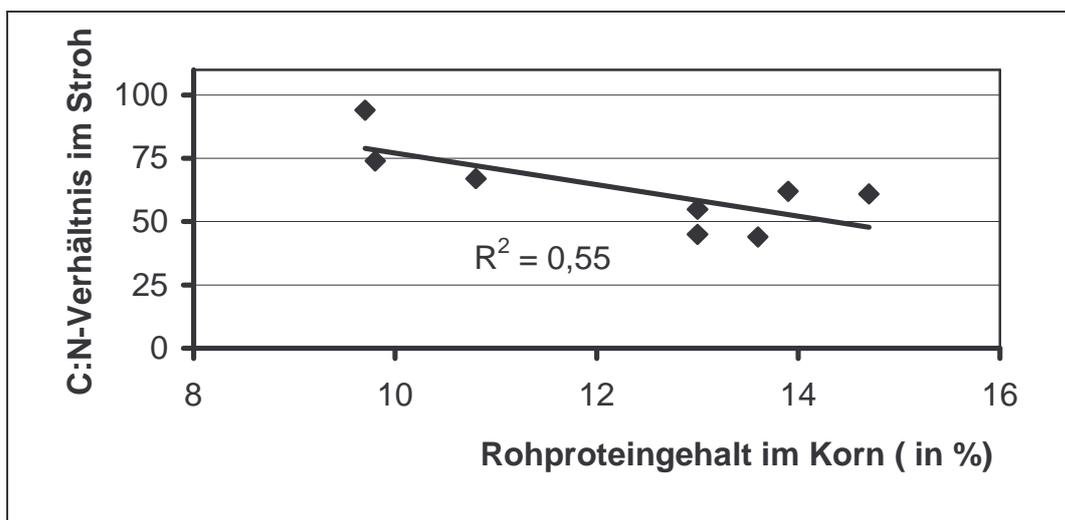


Abbildung 24: Rohproteingehalt im Weizenkorn und das C:N-Verhältnis im Stroh

Tabelle 47: C/N-Verhältnis im Stroh verschiedener Winterweizensorten bei unterschiedlicher Anbauintensität

Sorte	Anbauintensität		
	niedrig	Hoch	sehr hoch
Altos	120	72	-
Cardos	94	61	44
Kontrast	128	75	54
Tarso	115	75	45

Unter diesem Gesichtspunkt muss der häufig empfohlene und teilweise bereits im Herbst durchgeführte N-Ausgleich kritischer als bisher gesehen werden. Selbst im mittleren Bereich (C:N-Verhältnis zwischen 60 und 80) kann auf einen gesonderten N-Ausgleich verzichtet werden, wenn bereits über viele Jahre regelmäßig das Stroh auf dem Feld verbleibt und sich Immobilisation und Freisetzung weitgehend ausgleichen. Das gleiche trifft für den Fall zu, wenn dem Boden periodisch zusätzlich andere organische Dünger zugeführt werden.

Bei weiten C:N-Verhältnissen sichert ein angemessener N-Ausgleich im Frühjahr die Ernährung der Pflanzen. Steht unmittelbar nach der Strohdüngung eine Winterung mit relativ hoher Stickstoffaufnahme im Herbst wie Raps bzw. Wintergerste, zeigt sich nach dem Auflaufen schnell einmal N-Mangel. Unter Umständen findet sich jedoch unterhalb des mit dem Stroh vermischten Bodens ausreichend verfügbarer Stickstoff. So wie bei zeitig gesättem Winterweizen (vgl. Tabelle 34) reichen auch deren Wurzeln im Verlauf der Herbstentwicklung häufig 60 bis 90 cm tief. Den Pflanzen ist deshalb Zeit für die Erschließung tieferer Schichten zu geben. Erst wenn die Entwicklung über längere Zeit hinter den Erwartungen zurückbleibt, lässt sich in der zweiten Septemberhälfte mit einer kleinen N-Gabe (20 bis 30 kg/ha) immer noch Abhilfe schaffen.

Da die Stickstofffestlegung nur die Bodenschicht betrifft, in die das Stroh eingemischt wurde, kann darunter befindlicher Reststickstoff nur in Verbindung mit dem Anbau von Pflanzen konserviert werden. Folgt der Strohdüngung eine Sommerung, so lässt sich dies nur durch Einschaltung einer Zwischenfrucht realisieren. Nach dem Umbruch liefert dieses Pflanzenmaterial (C/N-Verhältnis < 20) durch seine Netto-N-Freisetzung den gewünschten N-Ausgleich. Diese Kombination rechtfertigt in jedem Fall den Einsatz von Gülle im Herbst. Die Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Gülle verringern sich umso nachdrücklicher, je vollständiger das Stroh vorher eingearbeitet wurde und der lösliche Stickstoff schnell Kontakt mit dem Boden bekommt.

Fazit:

Die Strohdüngung kann zur Minderung von N-Verlusten beitragen, wenn beim Abbau im Boden Stickstoff immobilisiert wird. Der Umfang der N-Festlegung hängt vom C/N-Verhältnis ab. Auf dem Feld verbleibt Stroh am häufigsten bei intensiver Getreideproduktion. Dann finden sich jedoch eher enge Relationen, so dass die Festlegung gering bleibt. Ein Ausgleich im Herbst ist selbst bei Anbau einer Winterung zumeist nicht notwendig, da sich unterhalb der Einarbeitungsschicht häufig ausreichend pflanzenverfügbarer Stickstoff befindet. Bei regelmäßiger Strohdüngung heben sich Immobilisation und Freisetzung weitgehend auf.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Nicht verwerteter Düngerstickstoff und oftmals beachtliche Mineralisation verursachen erhöhte N_{\min} -Beträge nach der Ernte im Spätsommer und Herbst. Auf brach gehaltenem Boden bildet dieser Stickstoff ein entsprechendes Verlustpotential. Mit den vorgestellten Untersuchungen sollten Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie sich Stickstoffverluste durch entsprechende Bewirtschaftungsmaßnahmen einschränken lassen.

Ein Schwerpunkt war dabei der Anbau von Zwischenfrüchten. In Feld-, Modell- und Gefäßversuchen wurden die N-Konservierungsleistung und die Anbauwürdigkeit von verschiedenen winterharten und abfrierenden Zwischenfrüchten geprüft. Verfolgt wurde aber auch die anschließende Wiederfreisetzung und Ertragswirksamkeit dieses Stickstoffs. Die Versuche führten zu folgenden wichtigen Ergebnissen:

- Bleibt der Boden nach der Ernte im Spätsommer bis zum Frühjahr brach, sind N-Verluste besonders auf den leichten und flachgründigen Böden vorhersehbar. In Abhängigkeit von den Vegetationsbedingungen trägt der Anbau von Zwischenfrüchten zu einer beachtlichen N-Konservierung bei. Insbesondere die herbstliche Stickstofffreisetzung kann in jedem Fall gut verwertet werden, da günstige Bedingungen für die Mineralisation in enger Verbindung zu gutem Pflanzenwachstum stehen.
- In der Kastenanlage konnte demonstriert werden, dass bereits 50 kg N_{\min} /ha in 0 bis 90 cm Tiefe zur Aussaat von Gelbsenf zur Bildung von > 40 dt/ha Trockenmasse ausreichen können. Die damit einhergehenden N-Entzüge betragen 84 kg/ha auf anlehmigen Sand und 149 kg/ha auf Lehm. Parallel zum guten Pflanzenwachstum erfolgte eine hohe N-Mineralisation auf beiden Böden (etwa 50 bzw. 120 kg N/ha). Höheres Stickstoffangebot und günstige Wachstumsbedingungen führten zu noch größeren N-Bindungsleistungen. Gut entwickelte Phacelia-, Senf- oder Ölrettichbeständen konnten dann 150 bis 200 kg N/ha in die Sprosstrockenmasse einbinden. Problematischer kann die Minderung großer Beträge verbliebenen Reststickstoffs aussehen, wenn das Wachstum durch späte Aussaat bzw. ungünstige Witterung eingeschränkt bleibt. In dem Fall finden sich in diesen Pflanzen lediglich N-Mengen von 40 bis 100 kg/ha.
- Dient der Zwischenfruchtanbau allein der N-Konservierung und der Bodenbedeckung, so ist letztendlich nicht die maximale Trockenmassebildung das Ziel. Vielmehr soll dadurch der pflanzenverfügbare Stickstoff vor Auswaschung und der Boden vor Erosion geschützt werden. Zwar ist für einen zügigen Bestandesaufbau eine ausreichende N-Ernährung notwendig, überhöhte N-Angebote - hoher Rest- N_{\min} bzw. zusätzliche N-Gaben - führen zur Anreicherung löslicher N-Verbindung (vor allem Nitrat). Mehr als die Hälfte des konservierten Stickstoffs kann dieser N-Fraktion angehören. Nach dem Abfrieren nicht winterharter Zwischenfrüchte wird sie sehr schnell aus den Pflanzen ausgewaschen und in den Boden eingetragen.

- Um dies zu vermeiden, ist in den meisten Fällen beim Anbau von Zwischenfrüchten, die nicht als Tierfutter dienen, keine N-Düngung notwendig. Ein Düngebedarf ergibt sich erst dann, wenn zur Zeit der Aussaat die N_{\min} -Werte in 0 - 60 cm Tiefe $< 50 \text{ kg/ha}$ sind. In dem Fall bietet sich der Einsatz von Gülle an. Neben der sinnvollen Nutzung der Nährstoffe bringt das insbesondere auf den Standorten Vorteile, auf denen die Gülleausbringung im zeitigen Frühjahr regelmäßig zu starken Bodenverdichtungen führt. Da ungünstige Witterungsbedingungen möglicherweise das Wachstum und die Substanzbildung stark einschränken, ist der Einsatz erst bei sichtbarem N-Bedarf sinnvoll und sollte nicht in jedem Fall vor der Aussaat ausgebracht werden.
- Die Freisetzung der von den Zwischenfrüchten aufgenommenen Nährstoffe erfolgt mitunter sehr zügig. Beim Stickstoff hat sich aber gezeigt, dass sich nur etwa 30 bis 50 % im Ertrag der Folgekultur wieder finden. Der größere Teil verbleibt in der organischen N-Fraktion des Bodens und wird erst langfristig ertragswirksam.
- Bei schlechter Versorgung mit Grundnährstoffen kann der Anbau von Gründüngungspflanzen das Defizit zwar nicht beheben. Er trägt aber dazu bei, die Verfügbarkeit der verbliebenen Nährstoffe zu erhöhen.
- Bewährt hat sich auf den trockeneren und tiefgründigen Standorten der Anbau von Gelbsenf und Ölrettich. Nach dem Abfrieren wird auf den besseren sächsischen Böden bis zum Frühjahr der Wasservorrat in der Regel vollständig aufgefüllt, so dass die Folgekultur in dieser Hinsicht nicht benachteiligt wird. Zwar setzt die Stickstofffreisetzung bereits im Winter wieder ein, sie führt auf diesen Böden jedoch zu keinen nennenswerten Verlusten.
- Auf den leichten und flachgründigen Standorten ist allerdings der Anbau von nicht abfrierenden Zwischenfrüchten im Hinblick auf die Verlustsenkung vorteilhafter. Ihr Vorzug besteht darin, dass sie bei günstigen Temperaturen bis zu ihrem Umbruch im Frühjahr weiter wachsen und Stickstoff aufnehmen. Die Freisetzung von Nährstoffen fängt entsprechend später an. Dann zieht sich die Mineralisation zwar bis zum Ende der Vegetation hin, was zumeist unbedenklich ist, weil in der Regel eine Winterung folgt.
- Nicht nur wegen seiner N-Konservierung ist der Anbau von Zwischenfrüchten ein fester Bestandteil umweltgerechter Landwirtschaft. Durch Verbleib der Pflanzen auf dem Feld trägt er durch Bedeckung des Bodens zur Minderung der Erosion in der vegetationslosen Zeit bei. Das Bodenleben wird gefördert und damit die natürliche Bodenfruchtbarkeit erhöht. Nicht zuletzt besteht mit dem Anbau geeigneter Zwischenfrüchte die Möglichkeit, die zumeist engen Fruchtfolgen aufzulockern.

Beim Anbau von Winterungen bleibt die Zwischenbrache auf relativ kurze Zeit begrenzt. So kann Ende August ausgesäeter Winterraps bei entsprechendem N-Angebot weit mehr als 100 kg N/ha bis

zur Vegetationsruhe aufnehmen. Anders sieht das bei Weizen aus. Neben der längeren Zwischenbrache finden sich hier zumeist Vorfrüchte (Raps, Kartoffeln, Leguminosen und Gemüse), die relativ viel Stickstoff hinterlassen bzw. aus deren Ernte- und Wurzelrückständen bereits vor Winter hohe N-Freisetzungen erfolgen können. Dem steht bei Aussaat im Oktober nur noch ein geringer Bedarf von 15 bis 30 kg N/ha gegenüber. Geprüft wurde deshalb in einer zweijährigen Versuchsreihe wie sich die N-Bindungsleistung von Weizen in Abhängigkeit von der Saatzeit darstellt und welche Auswirkungen sich auf den N-Düngebedarf im Frühjahr und den Ertrag ergeben. Die Untersuchungen erfolgten vor allem auf einem sandigen Lehm in Köllitsch und einem anlehmigen Sand in Brinnis. Der Weizen wurde hier zu jeweils drei Terminen ausgesät. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen waren:

- Bei Aussaat des Weizens bis Mitte September sowie reichlichem Stickstoffangebot wurden weit mehr als 100 kg N/ha bis zum Winter in die Sprosstrockenmassen eingebunden. Das sind N-Aufnahmen wie sie durch üppige Zwischenfrüchte bzw. überwachsene Winterrapsbestände erreicht werden. Verbunden sind derartig zeitige Aussaaten mit einem erhöhten Krankheitsrisiko (Gelbverzwergung, Halmbruch, zeitigere Infektion mit Blattkrankheiten).
- In dieser Beziehung sind Aussaaten in der zweiten Septemberhälfte günstiger. Die N-Aufnahmen bis zum Ende der Vegetation betragen nur noch etwa 50 bis 100 kg/ha, es werden aber immer noch Beträge erreicht, wie sie von normal entwickeltem Winterraps bekannt sind. Dadurch kann der von den Vorfrüchten hinterlassene Stickstoff bis zum Winter vollständiger genutzt werden. Zwar können auch Gerste und Roggen > 60 kg N/ha bis zum Winter aufnehmen, da sie aber ökonomisch nicht so attraktiv für den Landwirt sind, bieten sie sich zumeist nicht als Alternative an.
- Im Hinblick auf die Vermeidung von N-Verlusten sind Weizenaussaaten in der zweiten Septemberhälfte insbesondere auf den leichten und flachgründigen Standorten von Vorteil, wo regelmäßig Auswaschungsverluste vorkommen. Da hier zumeist auch die N-Bereitstellung im Herbst am niedrigsten ausfällt, ist die Gefahr zu üppiger Vorwinterentwicklung nicht so ausgeprägt.
- Durch eine zeitige Aussaat wird nicht nur die Sprossentwicklung sondern vor allem auch das Wurzelsystem gefördert. Dazu durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass der extrem zeitig ausgesäte Weizen mit seinen Wurzeln in etwa 80 bis 90 cm Tiefe vordringt. Bei Aussaat in der zweiten Septemberhälfte konnten Wurzeltiefen bis 60 cm beobachtet werden. Erfolgt die Weizenaussaat in der ersten Oktoberhälfte so beschränkt sich das Wurzelsystem vor allem auf die Bodenschicht bis 30 cm Tiefe. Hinsichtlich der Durchwurzelungstiefe fanden sich zwischen dem Sand- und dem Lehmboden keine wesentlichen Unterschiede.
- Ein tieferes und dichteres Wurzelsystem ermöglicht den Pflanzen bereits zu Vegetationsbeginn im Frühjahr den N_{\min} des Bodens vollständiger aufzunehmen. Sie sind wesentlich zeitiger in der Lage den Stickstoff und das Wasser des Unterbodens zu erschließen.

- In welchem Umfang die höhere N-Aufnahme im Herbst zu einem verminderten N-Düngebedarf in Frühjahr führt, lässt sich aus den erzielten Ergebnissen nur schwer abschätzen. Ein wesentlicher Grund dafür war, dass auf den Teilflächen der späteren Saattermine der pflanzenverfügbare Stickstoff durch Ausfallraps zwischenzeitlich konserviert wurde. Ohne diese Maßnahme hätten bei den späteren Saatterminen die N-Verluste möglicherweise ein beachtliches Ausmaß erreicht.
- Als Alternative zu einer zeitigen Weizenaussaat erwies sich nach Raps, bei dem regelmäßig höhere N_{\min} -Restmengen bzw. zügig N-Mineralisation aus den Ernterückständen anzutreffen sind, eine Förderung der Ausfallrapsbestände. Bis Ende September hatten diese Bestände bei sehr hohen Reststickstoffmengen bis zu 150 kg N/ha in ihre Sprosstrockenmasse eingebunden. Zwar setzte die Remineralisierung des Stickstoffs nach dem Umbruch bereits vor dem Winter wieder ein, führte aber auf den untersuchten Standorten zu keinen nennenswerten Verlusten und der Stickstoff blieb im Wurzelbereich des Winterweizens. Dies erklärt die in Köllitsch zum Teil ohne zusätzliche Düngung erzielten hohen Kornerträge und den nur geringen Zuwachs durch eine N-Düngung.
- Auf dem Sandboden in Brinnis wurde deutlich, dass frühe Saattermine durchaus das gleiche Ertragsniveau wie die am Standort üblichen Saattermine realisieren können. Nach üppiger Vorwinterentwicklung sind sie jedoch anfälliger gegenüber Krankheiten und neigen zumeist stärker zur Lagerbildung. Soll das angelegte Ertragsniveau genutzt werden, sind ein konsequenter Einsatz von Wachstumsreglern und eine gezielte Anwendung von Fungiziden unverzichtbar.

Eine Teilung der Düngergaben ist zwar mit höheren Verfahrenskosten verbunden, schützt jedoch besonders auf leichten und flachgründigen Böden vor bedeutsamen N-Verlusten im Verlauf der Vegetation. Durch den Einsatz von stabilisierten N-Düngern verzögert sich die Nitrifikation des Ammoniums. Auf diese Weise lässt sich zumindest eine N-Gabe einsparen. In Gebieten mit regelmäßiger Sommertrockenheit ist das häufig die dritte Stickstoffgabe. Das hat den Vorteil, dass dieser Stickstoff rechtzeitig in den Wurzelraum der Pflanzen gelangt und nicht als Reststickstoff nach der Ernte im Boden verbleibt. In den letzten Jahren finden sich immer wieder Hinweise, dass durch eine Ammonium-Depot-Düngung die Nitrifikation besonders eingeschränkt wird und so ganz auf eine Teilung der Gaben verzichtet werden kann. Einjährige Ergebnisse zur ammoniumbetonten N-Düngung bei Winterweizen haben gezeigt:

- Die Ernährung der Pflanzen mit einer einmaligen N-Gabe erbrachte im Vergleich zur standardmäßig geteilten Gabe mit Kalkammonsalpeter keine signifikanten Ertragsunterschiede. Auch bei den verschiedenen Qualitätsmerkmalen war kein Abfall vorhanden. Das kann allerdings bei Spitzenerträgen und hohen Qualitätsanforderungen anders aussehen.
- Vorteilhaft ist, dass die Einbringung in den Boden erst bei sichtbarem N-Bedarf erfolgen kann. Anders als bei der Anwendung breitwürfiger fester N-Dünger ist eine gute Verfügbarkeit selbst

in auftretenden Trockenperioden - wie sie in Sachsen immer wieder vorkommen - gewährleistet. Durch Ausschaltung der sonst zügig ablaufenden Nitrifikation werden in feuchten Jahren Auswaschungsverluste während der Vegetation, die auf den leichten und flachgründigen Böden häufiger vorkommen, unterbunden.

Der immer höhere Anteil der Strohdüngung in Sachsen ist Resultat niedriger Tierbestände, der strohlosen Stallhaltung, des verminderten Einsatzes bei der Fütterung sowie des zunehmenden Getreideanbaus. Im Hinblick auf die Stickstoffverluste ergibt sich:

- Die Effekte bei der N-Verlustminderung durch Stroheinbringung sind eher begrenzt. Nach Einarbeitung wird nur ein kleines Bodenvolumen einbezogen, so dass Rest-N_{min} in tieferen Schichten nicht berührt wird. Die Strohumsetzung schränkt allerdings häufig die weitere Netto-N-Freisetzung ein.
- Die N-Immobilisation bleibt aber auch häufig gering, weil im Intensivgetreidebau die N-Gehalte im Stroh angestiegen sind. C:N-Verhältnisse unter 50 sind keine Seltenheit mehr. Unter diesen Bedingungen ist selbst bei höherem N-Bedarf der Winterungen im Herbst kein N-Ausgleich notwendig. Dort wo regelmäßig das Stroh auf dem Feld verbleibt heben sich zumeist Immobilisation und Freisetzung gegenseitig auf.

Die hier im einzelnen vorgestellten sowie weitere Maßnahmen (z. B. eine standortangepasste Bodenbearbeitung, mengenmäßig und zeitlich optimierte Anwendung organischer Dünger, Gestaltung der Fruchtfolge) tragen durch Senkung des N_{min}-Gehaltes in Zeiten geringen Pflanzenbedarfs deutlich zur Verringerung des Verlustpotentials bei. Sie sind gut geeignet den Stickstoff aus der herbstlichen Mineralisation zu nutzen bzw. diese entsprechend einzuschränken. Kritischer sind in jedem Fall größere Überhänge aus der N-Düngung zu bewerten. Deshalb bleibt eine mengenmäßige sowie zeitlich auf den Bedarf der Pflanzen ausgerichtete N-Düngung im Frühjahr Schwerpunkt bei der Vermeidung von N-Verlusten.

Literatur

- ALBERT, E. 2003: Effiziente und umweltorientierte Stickstoffdüngungsstrategien, Vortrag zum Konsultationstag „Stickstoffdüngungsstrategien“ im LVG Köllitsch
- ALBERT, E., 2002: Entwicklung der Erträge, der Nährstoffbilanzsalden und der Nährstoffversorgung der Böden in Sachsen; VDLUFA - Kongressband, im Druck
- AUFHAMMER, W., KÜBLER, E. und BURY, M., 1994: Stickstoffaufnahme und Stickstoffrückstände von Hauptfrucht- und Ausfallrapsbeständen. *J. Agronomy and Crop Science* 172, S. 225-264.
- BEESE, G. und BÖHME, M., 2002: Sorteninformationen 2002, Ergebnisse der Landessortenversuche 1999 bis 2001, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- FARACK, M., 2002: Wie riskant sind Frühsaaten, *Neue Landwirtschaft*, 8, S. 30-32
- HARTMANN, G., 2002: Hinweise zur Sortenwahl bei Winterweizen 2002. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
- ILGEN, B., 1990: Wachstumsverlauf und N-Aufnahme verschiedener Zwischenfruchtarten in Abhängigkeit vom NO₃-N Angebot im Boden ETH Zürich, Diss.
- KURZER, H.-J., 2002: Nitratbericht 2000 unter Berücksichtigung der Untersuchungen ab 1990, Schriftenreihe der LfL, Heft 1, 7. Jg.
- LICKFETT, T., 2000: Stickstoff-Problematik in Rapsfruchtfolgen. In: Initiativen zum Umweltschutz Bd. 21. Hrsg. von Ch. Möllers. Stickstoffeffizienz von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. E. Schmidt Verlag, S. 9-29
- MERBACH, W.; WURBS, A. und LATUS, C., 1996: Auswirkung der Stickstoffkonservierung durch Winterrüben (*Brassica rapa*, var. *Oleifera*) auf die N-Verwertung von nachfolgend angebaute Mais und die N-Verlagerung in einem leichtem Boden Nordostdeutschlands, *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 79 S. 259-262
- MILLER, M. H.; BEAUCHAMP, E.G. and LAUZON, J.D., 1994: Leaching of Nitrogen and Phosphorus from Biomass of Three Cover Crops Species; *J. Environ. Qual.*, 23, S. 267-272
- SAUER, S.; HAUßMANN, W. und HARRACH, T., 2002: Effektive Durchwurzelungstiefe, Sickerwasserbildung und Nitratverlagerung in tiefgründigen Lößböden eines Trockengebietes, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 165, S. 261-268
- PAMPERIN, L., SCHEFFER, B. und SCHÄFER, W., 2002: Empfehlungen zur grundwasserschonenden Landnutzung in einem Wasserschutzgebiet an Hand von Feldversuchsdaten, *Landnutzung und Landentwicklung* 44, S. 63-69
- RENGER, M., WESSOLER, G. und GÄTH, S., 1993: Nährstoffhaushalt des Unterbodens und seine Bedeutung für die Nährstoffversorgung der Pflanzen, *Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit*. Band 5: Nährstoffhaushalt, *Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft*, S. 121-140,
- SOMMER, K. und von FISCHER, D., 1993: Ergebnisse aus 6jährigen Fruchtfolgeversuchen: Z-Rüben, W-Weizen und W-Gerste bei einer N-Düngung nach dem "CULTAN"-Verfahren VDLUFA - Kongressband, 37, S. 75-78,
- WEIMAR, S., 1996: Untersuchungen zur Stickstoffdüngung nach dem CULTAN-Verfahren bei verschiedenen Getreidearten in Rheinland-Pfalz, VDLUFA - Kongressband, 42, S. 741-744

WEISKE, E., 2002: Einfluss des Aussattermins auf das Krankheitsgeschehen im Winterweizen sowie die Wirtschaftlichkeit des Fungizideinsatzes 2001; Infodienst 6, S. 55-59

TENNANT, D., 1975: A test of modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol. 63, S. 995-1001

Tabellen	Seite
Tabelle 1: Angaben zu den Standorten und der Versuchsdurchführung	5
Tabelle 2: Angaben zu den Versuchsstandorten	7
Tabelle 3: Gebildete Spross-TM und N-Entzüge bis zum Ende der Vegetation in Abhängigkeit vom N_{\min} zur Aussaat des Gelbsenfs	8
Tabelle 4: N_{\min} in Abhängigkeit von der Bodenart und seiner Nutzung in der Zeit vom Spätsommer 2000 bis zum Winter	8
Tabelle 5: Überschlagsrechnung zur Nitratkonzentration im Bodenwasser zum Ende der Vegetation im Dezember 2000 mit und ohne Zwischenfruchtanbau beim Erreichen der Feldkapazität in 0 bis 90 cm Bodentiefe	9
Tabelle 6: Trockenmassebildung und Nährstoffentzug von Gelbsenf in Abhängigkeit von Bodenart und N_{\min} im Herbst 2000	10
Tabelle 7: Veränderungen über Winter in der N-Menge der nicht eingearbeiteten Senftrockenmasse sowie im N_{\min} des Bodens	13
Tabelle 8: Trockenmasseertrag und N-Entzug von Silomais in Abhängigkeit von der durch die Zwischenfrucht konservierten Stickstoffmenge	15
Tabelle 9: Wirkung des Zwischenfruchtanbaus im zweiten Nachbaujahr auf Ertrag und N-Entzug von Winterweizen bei einheitlicher Düngung (160 kg N/ha) in Abhängigkeit von der Bodenart	15
Tabelle 10: Verbleib des im August 2000 ausgebrachten ^{15}N bis zur Ernte des Silomais im September 2001 (kg/ha)	17
Tabelle 11: Trockenmasseerträge und N-Entzüge von verschiedenen Zwischenfrüchten auf anlehmigem Sand in Spröda im Herbst 2000 und die bis Frühjahr auf dem Boden verbliebenen Trockenmassen einschließlich des darin gebundenen Stickstoffs	19
Tabelle 12: Trockenmasseerträge und N-Entzüge verschiedener Zwischenfrüchte auf einem sandigen Lehm in Pommritz sowie die bis zum Frühjahr auf dem Boden verbliebene Pflanzensubstanz und der darin enthaltenen Stickstoff	21
Tabelle 13: TM-Bildung und N-Entzug durch verschiedene Zwischenfrüchte auf anlehmigem Sand (Spröda) und sandigem Lehm (Pommritz) im Herbst 2000	22
Tabelle 14: N-Saldo mit und ohne Zwischenfruchtbau auf sandigem Lehm in Pommritz	22
Tabelle 15: Kornertrag (dt TM/ha) des nachgebauten Sommergetreides im Versuchsjahr 2001 auf sandigem Lehm (Pommritz, Hafer) und anlehmigem Sand (Spröda, Sommergerste)	23
Tabelle 16: Trockenmasseerträge und N-Entzüge verschiedener Zwischenfrüchte bis zum Ende der Vegetation im Jahr 2001 sowie das bis zum folgenden Frühjahr auf dem Boden verbliebene Pflanzenmaterial	25
Tabelle 17: N_{\min} des Bodens in Abhängigkeit von den angebauten Zwischenfrüchten im Versuchsjahr 2001/2002 (kg/ha in 0 bis 90 cm)	26
Tabelle 18: Kornertrag (dt/ha TM) in Abhängigkeit vom Zwischenfruchtanbau und der Einarbeitung des Pflanzenmaterials (vor bzw. nach dem Winter)	27
Tabelle 19: Verbleib des nach der Ernte der Vorfrucht ermittelten N_{\min} (kg/ha)	28
Tabelle 20: Trockenmasseertrag und N-Entzug verschiedener Zwischenfrüchte auf einem Auenlehm im Herbst 2000 und die davon bis zum Frühjahr auf dem Boden verbliebenen Beträge (Probenahmen am 20.11.2000 und am 2.4.2001)	29

Tabelle 21:	Gesamtstickstoff und der darin enthaltene lösliche Stickstoff (NO_3^- -N und löslicher NH_2 -N) verschiedener Zwischenfrüchte im Versuchsjahr 2000/2001 vor dem Abfrieren und nach dem Winter	30
Tabelle 22:	Wiederfreisetzung des in den Zwischenfrüchten inkorporierten Stickstoffs bis zum Frühjahr – Berechnet aus den Veränderungen im N_{min} unter Berücksichtigung der Mineralisation auf der Brache (kg/ha)	30
Tabelle 23:	Trockenmasseertrag und der im Spross eingebundene N verschiedener Zwischenfrüchte auf sandigem Lehm im Herbst 2001 und die davon bis zum Frühjahr auf dem Boden verbliebenen Beträge (Probenahmen erfolgten am 20.11.2001 und am 25.03.2002)	33
Tabelle 24:	N-Fractionen im Spross verschiedener Zwischenfrüchte vor dem Winter und sein Verbleib im Pflanzenmaterial bis Vegetationsbeginn (20.11.2001 und 25.03.2002)	33
Tabelle 25:	N_i und Nitrat-N in der Sprosstrockenmasse von Gelbsenf nach unterschiedlicher Vorbehandlung der Pflanzen	35
Tabelle 26:	Nach 30 Minuten im Wasserextrakt vorliegende lösliche N-Verbindungen aus frischen und abgefrorenen Senfpflanzen (bei 18°C , ohne Schütteln)	36
Tabelle 27:	Veränderungen im Gehalt an Gesamt- und Nitrat-N in der Spross-TM verschiedener Zwischenfrüchte über Winter unter Freilandbedingungen bei unterschiedlichem Verbleib der Pflanzen in der Zeit vom 20.11.01 bis 16.04.02	37
Tabelle 28:	Verbliebene Trockenmasse und die darin ermittelten C/N-Verhältnisse in Abhängigkeit von der Überwinterung	37
Tabelle 29:	Aussaat des Winterweizens in den Referenzbetrieben des Programms „Umweltgerechte Landwirtschaft“ in den Jahren 1995 bis 2001 (% der Anbaufläche)	40
Tabelle 30:	Vor- und Nachteile zeitiger Winterweizenaussaat	40
Tabelle 31:	Vorfrüchte im Winterweizenanbau in Sachsen (Sekundärauswertung BEFU der Jahre 1997 bis 2001)	41
Tabelle 32:	Einfluss der Aussaatzeit auf die Entwicklung und N-Aufnahme von Winterweizen bis zur Vegetationsruhe in den Jahren 2000 und 2001 auf einem sandigen Lehm im LVG Köllitsch	42
Tabelle 33:	Entwicklung von Winterweizen und N-Aufnahme bis zum Vorwinter in Abhängigkeit von der Aussaatzeit auf einem anlehmigen Sand in Brinnis (Sorte Kontrast)	44
Tabelle 34:	Entwicklung des Wurzelsystems von Winterweizen, in Abhängigkeit von der Aussaatzeit und vom Standort bis zur Vegetationsruhe im Winter (Probenahme im Januar 2001)	45
Tabelle 35:	Sprosstrockenmasse und N-Aufnahme von Ausfallraps bis jeweils kurz vor der Aussaat des nachfolgenden Winterweizens auf sandigem Lehm und lehmigem Sand	47
Tabelle 36:	Winterweizenerträge bei differenzierter Aussaatzeit in Abhängigkeit von der N-Düngung im Jahr 2001 (sandiger Lehm, Sorte Cardos)	48
Tabelle 37:	Winterweizenerträge (dt/ha, 86 % TM) bei differenzierter Aussaatzeit im Jahr 2002 (sandige Lehm im LVG Köllitsch, Sorte Cardos)	50
Tabelle 38:	Einfluss der Aussaatzeit auf den Weizenertrag und Ertragskomponenten im Jahre 2001 auf anlehmigen Sand in Brinnis (Sorte Kontrast)	50
Tabelle 39:	Einfluss von Lager zur Kornfüllphase auf Ertrag und Qualitätsmerkmale von Winterweizen (Sorte Kontrast, Aussaat am 11.09.2000)	50

Tabelle 40:	Einfluss der Aussaatzeit auf den Weizenertrag und Ertragskomponenten im Jahre 2002 auf anlehmigem Sand (Sorte Kontrast)	51
Tabelle 41:	Gebildete Spross-TM und N-Entzüge von Winterweizen bis zum Vegetationsende in Abhängigkeit von der Aussaatzeit sowie die erzielten Kornträge	52
Tabelle 42:	Prüfglieder und die eingesetzten Düngerformen und Stickstoffmengen	54
Tabelle 43:	Wirkung einer ammoniumbetonten N-Versorgung auf den Ertrag und die Qualitätsmerkmale von Winterweizen auf anlehmigem Sand- und auf Lehmboden im Jahr 2002	55
Tabelle 44:	Kalkulation des Mineraldüngeräquivalents für den zur ersten N-Gabe in den Boden injizierten Güllestickstoff	56
Tabelle 45:	Korn- und Stroherträge im Jahr 2001 bei Winterweizen auf verschiedenen Standorten in Abhängigkeit vom Aussaattermin und das daraus ermittelte Korn : Strohverhältnis	57
Tabelle 46:	C/N-Verhältnis im Getreidestroh in Abhängigkeit vom Ertrag und dem N-Einsatz bei der Sorte „Cardos“ im Versuchsjahr 2000/2001	58
Tabelle 47:	C/N-Verhältnis im Stroh verschiedener Winterweizensorten bei unterschiedlicher Anbauintensität	59

Abbildungen	Seite
Abbildung 1: N-Salden für das Gebiet von Sachsen in den Jahren 1960 bis 2001 (ALBERT, 2002)	2
Abbildung 2: N_{\min} im Herbst auf den Dauertestflächen in Sachsen und der daraus ermittelte Trend (nach Ergebnissen von KURZER, 2002)	3
Abbildung 3: N_{\min} des Bodens mit und ohne Zwischenfruchtanbau vor und nach dem Winter	10
Abbildung 4: N_t in der Spross-TM vor dem Winter und der N_{\min} im Frühjahr mit und ohne Einarbeitung	11
Abbildung 5: N-Fractionen in der Spross-TM zum Ende der Vegetation und nach dem Winter	11
Abbildung 6: C/N-Verhältnisse der Spross-TM des Gelbsenf vor und nach dem Winter	12
Abbildung 7: N-Mehrentzug nach Zwischenfruchtanbau im Vergleich zur herbstlichen Brache	12
Abbildung 8: Verbleib des vor dem Winter eingearbeiteten markierten Zwischenfrucht-N bis zur Maisernte	13
Abbildung 9: Blick auf die verschiedenen Zwischenfrüchte in Spröda kurz vor der Probenahme im Oktober 2000	19
Abbildung 10: Verlauf des N_{\min} auf anlehmigem Sand in Spröda in Abhängigkeit vom Zwischenfruchtanbau	20
Abbildung 11: N_{\min} zur Pflanzenprobenahme Ende September 2000 und zum Beginn der Vegetation im April in Pommritz	21
Abbildung 12: N_{\min} im Boden unter verschiedenen Zwischenfrüchten von September 2000 bis September 2001 und die Nutzung des daraus freigesetzten Stickstoffs durch Silomais auf sandigem Lehm	31
Abbildung 13: C/N-Verhältnis im Pflanzenmaterial der in Köllitsch angebauten Zwischenfrüchte vor und nach dem Winter, Probenahme am 20.11.2000 und am 02.04.2001	32
Abbildung 14: TM-Erträge und N-Entzüge von Silomais nach Zwischenfruchtanbau auf sandigem Lehm in Köllitsch	32
Abbildung 15: N_{\min} in Abhängigkeit von der angebauten Zwischenfrucht vor und nach dem Winter auf einem sandigen Lehm in Köllitsch	34
Abbildung 16: C/N-Verhältnis im Pflanzenmaterial der in Köllitsch angebauten Zwischenfrüchte vor und nach dem Winter, Probenahme am 20.11.01 und am 23.03.2002	34
Abbildung 17: Entwicklungstrends im Hinblick auf die für die Winterweizenaussaat wichtigen Zeitspannen in Sachsen am Beispiel der UL-Referenzbetriebe	40
Abbildung 18: Wurzelsystem von Winterweizen in Abhängigkeit von der Herbstentwicklung (Sorte Cardos, sandiger Lehm, Probenahme Januar 2001)	44
Abbildung 19: Wurzelsystem von Winterweizen in Abhängigkeit von der Herbstentwicklung (Sorte Kontrast, anlehmiger Sand, Probenahme Januar 2001)	44
Abbildung 20: Verlauf des N_{\min} unter sehr zeitig und unter normal ausgesättem Winterweizen (sandiger Lehm, im Mittel von zwei Versuchsjahren)	46

Abbildung 21:	Verlauf des N_{\min} nach Winterraps unter differenziert ausgesätem Winterweizen auf einem anlehmigen Sand in Brinnis bei schwarz gehaltener Zwischenbrache	46
Abbildung 22:	Verminderung des N_{\min} durch Ausfallraps und die anschließende Wiederfreisetzung nach der Winterweizenaussaat	47
Abbildung 23:	Verfügbare Stickstoffmenge und das C:N-Verhältnis in Weizenstroh	58
Abbildung 24:	Rohproteingehalt im Weizenkorn und das C:N-Verhältnis im Stroh	58

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
- Internet:** www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl
- Redaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau
Dr. Wilfried Schliephake
Telefon: 0341 / 91 74 - 187
Telefax: 0341 / 91 74 - 111
e-mail: wilfried.schliephake@leipzig.lfl.smul.sachsen.de
Dr. habil. Erhard Albert
Telefon: 0341 / 91 74 - 182
Telefax: 0341 / 91 74 - 111
e-mail: erhard.albert@leipzig.lfl.smul.sachsen.de
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Öffentlichkeitsarbeit
Thomas Freitag
- Redaktionsschluss:** Juli 2003
- Satz:** Christlich-Soziales Bildungswerk Sachsen e. V. Miltitz
- Druck:** Sächsisches Digitaldruck Zentrum GmbH Dresden
- Auflage:** 1. Auflage, 140 Stück
- Bezug:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Öffentlichkeitsarbeit
August-Böckstiegel-Str. 1, 01326 Dresden-Pillnitz
Telefon: 0351/2612-138
Telefax: 0351/2612-151
E-Mail: poststelle@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- Schutzgebühr:** 12,78 EUR

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 Unterstützung ihrer Mitglieder zu verwenden.