

Versuche und Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft

„Auswirkung verschiedener Stickstoffdüngungs-Systeme und Fruchtfolgen auf Ertrag und Qualität von Pflanzen“

Versuche in Wasserschutzgebieten der Landwirtschaftskammer Hannover



Aufgabe als landwirtschaftliche Fachbehörde,
finanziert im Rahmen von § 47 h NWG, Abs. 3

Stand September 2005

Inhaltsverzeichnis

1.	Anlass und Ziel der Versuche	1
2.	Versuchsfragestellungen.....	2
3.	Auswahl der Standorte	3
4.	Versuchsfaktoren	5
4.1.	Fruchtfolge	5
4.2	Stickstoffdüngung.....	10
4.2.1	Stickstoffdüngermenge.....	10
4.2.2	Stickstoffdüngungssysteme	10
5	Ergebnisse	12
5.1	Einfluss der Stickstoffdüngermenge	12
5.1.1.	Erträge.....	12
5.1.2	Stickstoffsalden.....	17
5.1.3	Nmin-Werte im Herbst	19
5.2.	Einfluss verschiedener Stickstoffdüngesysteme.....	21
5.2.1	Stickstoffdüngung mit anteiligem Einsatz von Gülle.....	21
5.2.2	Stickstoffdüngung mit anteiligem Einsatz von Gülle mit Didin-Zusatz.....	24
5.2.3	Erste Stickstoffgabe nach Ende der Auswaschungsgefahr (AWG).....	24
5.2.4	Stickstoffdüngung mit stabilisiertem Dünger	27
5.2.5	Stickstoffdüngung nach der Bilanzmethode.....	28
5.3	Einfluss verschiedener Fruchtfolgen	34
5.3.1	Nmin-Werte im Frühjahr	34
5.3.2	N-Düngeraufwand.....	35
5.3.3	Erträge.....	37
5.3.4	N-Salden	38
5.3.5	Nmin-Werte im Herbst	39
6.	Fazit.....	42

1. Anlass und Ziel der Versuche

Die Landwirtschaftskammer Hannover führt seit 1995 Feldversuche durch, die im Rahmen der fachbehördlichen Aufgaben nach § 47 h gemäß des Niedersächsischen Wassergesetzes durch das Umweltministerium des Landes Niedersachsen aus Mitteln der Wasserentnahmegebühr finanziert werden.

In diesen Feldversuchen werden verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratauswaschung im Rahmen einer grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung untersucht.

Ziel der vorliegenden Versuchsserie ist es daher, regionalspezifische Daten zur **„Auswirkung verschiedener Stickstoffdüngungssysteme und Fruchtfolgen auf Ertrag und Qualität von Pflanzen“** zu gewinnen und diese hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Stofftransport und Nitratverlagerung im Boden zu beurteilen.

Parallel dazu werden die Maßnahmen dahingehend bewertet, inwieweit die damit verbundenen Bewirtschaftungsauflagen (Einschränkungen der ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung) Ertrags- und Qualitätseinbußen zur Folge haben und den Landwirten über Entschädigungszahlungen ausgeglichen werden müssen.

Die Versuche lassen weiterhin Rückschlüsse zu, welche Maßnahme für welchen Standort am effizientesten geeignet ist und bilden damit eine aktuelle Grundlage für die Zusatzberatung in Wasserschutzgebieten. Auf dieser Basis dienen die Versuchsergebnisse dazu, Grundlagen für konkrete Bewirtschaftungsempfehlungen zu ermitteln und daraus möglichst regionalspezifische Freiwillige Vereinbarungen abzuleiten.

Der vorliegende Bericht stellt eine Zusammenfassung aller seit 1995 in dieser Versuchsserie angelegten Versuche im Kammergebiet Hannover dar.

2. Versuchsfragestellungen

Im Vordergrund dieser Versuchsserie stehen die Verminderung von Stickstoffüberschüssen bei landwirtschaftlicher Bewirtschaftung und damit die Reduzierung des potenziellen Nitratreintrags ins Grundwasser. Der Einfluss einzelner Maßnahmen auf Ertrag und Qualität sowie die Reduzierung der auswaschungsgefährdeten N-Mengen wurde bisher nur in Einzelversuchen geprüft, nicht jedoch in Kombination miteinander.

Die Versuchsserie beinhaltet daher u.a. folgende Fragen:

- ✚ Welche Auswirkungen hat eine Reduzierung der Stickstoffdüngung auf den Ertrag und die Qualität der Pflanzen?
- ✚ Welchen Einfluss haben Ausbringungstermin und Düngerform auf den Ertrag und die Qualität der Pflanzen?
- ✚ Welchen Einfluss hat die Stickstoffreduzierung auf die N-Dynamik in Boden?
- ✚ Welchen Einfluss haben Fruchtfolgeumstellungen auf die Nitratauswaschung und das Mineralisationspotential des Standortes?
- ✚ Welcher Zusammenhang besteht zwischen N-Saldo bzw. N_{min}-Restwerten im Boden und der tatsächlichen Auswaschung?
- ✚ Welche ökonomischen Auswirkungen haben die Maßnahmen?

Die vorliegende Versuchsserie wurde auf 7 regionaltypischen Standorten im Kammergebiet Hannover als Dauerversuch geprüft. 5 Versuche starteten 1995 (Ohlen-dorf, Liebenau, Hohenzethen, Schwüblingsen und Jühnde) und wurden 1999 durch 2 weitere Standorte (Bostel und Rockstedt).

3. Auswahl der Standorte

Die Standorte repräsentieren die regionaltypischen Verhältnisse hinsichtlich Klima, Boden und Bewirtschaftung in einigen ausgewählten Wasserschutzgebieten im Kammergebiet Hannover.

Bei den Standorten handelt es sich überwiegend um Sandböden (6 Standorte) sowie eine flachgründige Rendzina (1 Standort). Im 4. Versuchsjahr (1999) wurden 2 weitere Standorte in das Versuchsprogramm aufgenommen. Die Lage der Standorte ist Abbildung 1 zu entnehmen.

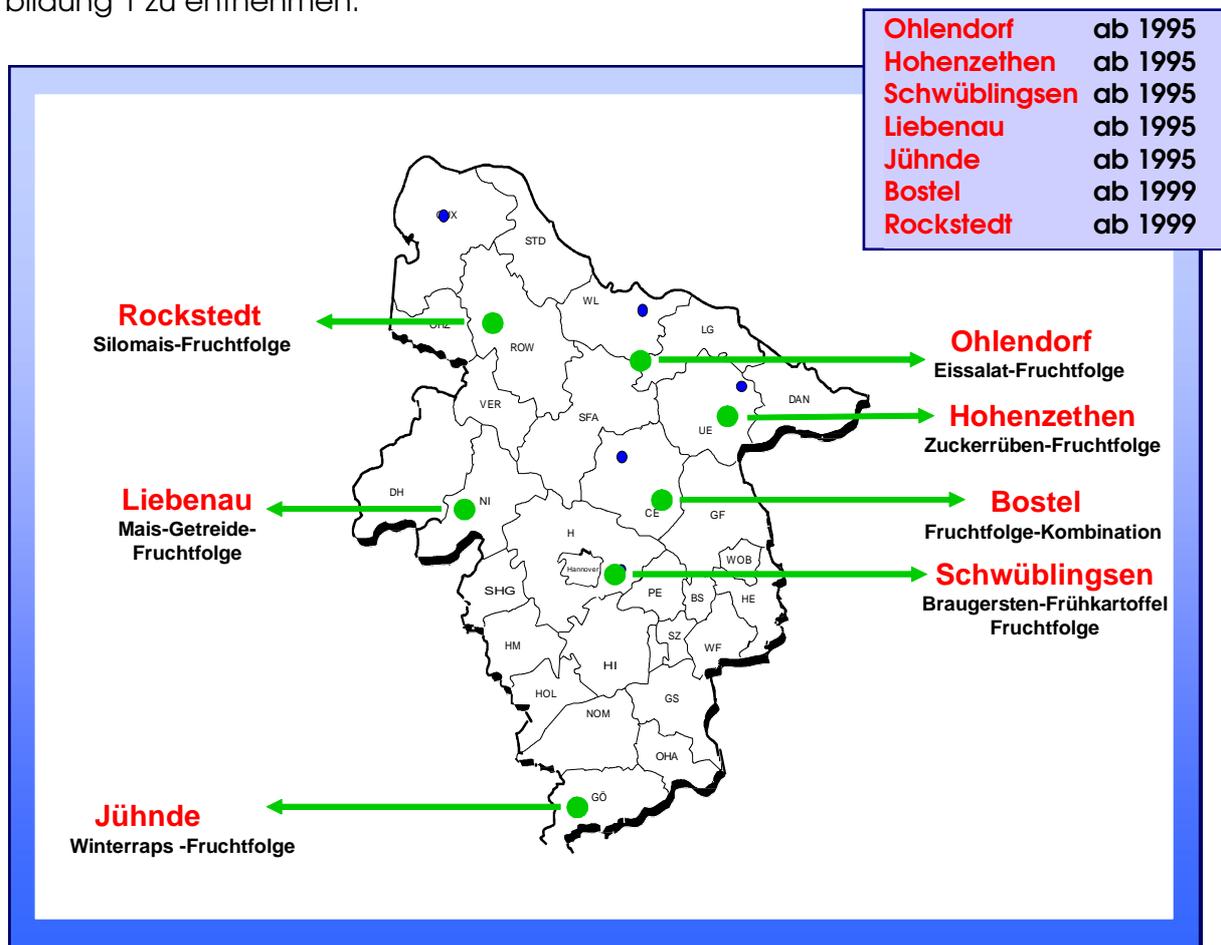


Abb. 1: Lage der Versuchsstandorte

Alle Standorte liegen in Wasserschutzgebieten, die durch eine z.T. hohe Austragsgefährdung gekennzeichnet sind. Deshalb ist die Bedeutung für die Wassergewinnung und damit der Schutz des geförderten Grund- bzw. Trinkwassers von großer Bedeutung.

Die Tabelle 1 beschreibt die wesentlichen Boden- und Klimakennwerte der Versuchstandorte.

STANDORTE	OHLENDORF	LIEBENAU	HOHEN-ZETHEN	SCHWÜB-LINGSEN	JÜHNDE	BOSTEL	ROCKSTEDT
Höhe über NN (m)	38	47	60	50	280	55	10
Bodentyp	Braunerde-Pseudogley	Podsol-Pseudogley	Braunerde	Podsol-Braunerde	Rendzina-Braunlehm	Podsol-Braunerde	Pseudogley-Podsol
geol. Herkunft	Diluvium	Diluvium	Diluvium	Diluvium	Trias	Diluvium	Alluvium
Bodenart	IS	schwach IS	S	S	tL	S	S
Ackerzahl	38	28	25	26	35	24	32
mittl. Temperatur °C	9,1	8,9	8,6	8,8	8,7	8,9	8,3
langj. Niederschlagssumme (mm)	725	680	615	650	635	725	784
Sommerniederschläge April – Sept. (mm)	375	360	330	360	400	393	312

Tab. 1: Boden- und Klimakennwerte der Versuchstandorte

4. Versuchsfaktoren

4.1. Fruchtfolge

Der Versuchsserie liegt auf den 7 Versuchsstandorten je eine **konventionelle** und eine **nitratkonservierende** Fruchtfolge zugrunde. Eine Ausnahme bildete der Standort Jühnde, dort gab es zwei konservierende Fruchtfolgen.

Die konventionellen Fruchtfolgen orientieren sich an den regionaltypischen Anbauverhältnissen. Die nitratkonservierenden Fruchtfolgen - im Folgenden als „konservierend“ bezeichnet - sind eine Erweiterung der konventionellen Fruchtfolge, die neben der Auswahl der Haupt- und Zwischenfrüchte sowie der Untersaaten vornehmlich die Reduzierung der auswaschungsgefährdeten Nitratmengen voranstellen.

Standort Ohlendorf (1995 – 2002)

konventionell		
3 x Eissalat	Hafer oder W-Weizen	W-Gerste + Eissalat
1995/1998/2001	1996/1999/2002	1997/2000
konservierend		
2 x Eissalat <i>Grünroggen</i>	Hafer	W-Gerste + Eissalat <i>Grünroggen</i>

In der konventionellen Fruchtfolge auf dem Standort **Ohlendorf** verblieb nach dem intensiven Anbau von Eissalat nach den Ernten ein relativ hohes Potenzial an auswas-

schungsgefährdeten Stickstoffmengen in Form von Düngerresten und leicht umsetzbaren Ernterückständen im Boden.

In der konservierenden Fruchtfolge wurde deshalb der Anbau von Eissalat von drei auf zwei Sätze reduziert, wobei der Anbau des ersten Satzes nach hinten verschoben und der Spätanbau im Herbst unterlassen wurde. Zur Konservierung des nach der Ernte des zweiten Satzes aus den Ernteresten freiwerdenden Stickstoffs wurde überwinternder Grünroggen als Zwischenfrucht angebaut, da er aufgrund seiner großen Pflanzenmasseproduktion viel Stickstoff binden kann. Als Nachfrucht kam dann nur eine Sommerung in Frage, in diesem Fall Hafer. Auch nach der Ernte des Eissalates, der nach Wintergerste angebaut wurde, erfolgte erneut ein Zwischenfruchtanbau mit Grünroggen zur Nitratkonservierung. Der Versuch wurde mit der Ernte 2002 beendet.

Standort Liebenau (seit 1995)

Liebenau befindet sich in einer durch intensive Viehhaltung geprägten Region mit starkem Silomaisanbau. Durch den Silomaisanbau (50% Anteil in der konventionellen Fruchtfolge) entstehen lange Zeiträume ohne Bodenbedeckung. Aufgrund der späten Ernte des Silomais kann der im Boden verbleibende Stickstoff nicht mehr von einer Zwischenfrucht aufgenommen werden.

konventionell			
Silomais	Silomais	Winterroggen	Winterroggen
1995/1999/2003	1996/2000/2004	1997/2001	1998/2002
konservierend			
Silomais <i>Untersaat</i>	Silomais <i>Untersaat</i>	Sommergerste	Winterroggen <i>Zwischenfrucht</i>

In der konservierenden Fruchtfolge wird deshalb durch den Anbau von Untersaaten der Brachezeitraum verkürzt, und die N-

Aufnahme beginnt frühzeitig mit Beginn der Massebildung der Untersaat. Zur weiteren Nitratkonservierung dient der Anbau von Gelbsenf nach Winterroggen.

In einer Variante wurde das Ackerland in extensives Grünland umgewandelt, um zu überprüfen, ob aufgrund des niedrigen Düngungsniveaus und der ganzjährigen Bedeckung des Bodens mit Pflanzen eine starke Verminderung des Nitrataustrages zustande kommt.

Standort Hohenzethen (seit 1995)

konventionell			
Zuckerrübe	Braugerste	Kartoffel	Winterroggen
1995/1999/2003	1996/2000/2004	1997/2001	1998/2002
konservierend			
Zuckerrübe	Braugerste	Kartoffel	Brache
	<i>Zwischenfrucht</i>		

In **Hohenzethen** machen die Hackfrüchte Zuckerrüben und Kartoffeln sowie die Getreidearten Sommergerste

und Winterroggen in der Fruchtfolge je einen Anteil von 25 % aus. Die konservierende Fruchtfolge unterscheidet sich von der konventionellen durch Gelbsenf als Zwischenfrucht nach der Sommergerste und den Ersatz von Winterroggen durch

eine begrünte Brache. Sie wird als eine Alternative zu den in dieser Region vorherrschenden ertragsschwachen Getreidearten gewählt.

Standort Schwüblingsen (1995 – 2002)

Der Standort **Schwüblingsen** ist durch einen intensiven Marktfruchtanbau geprägt. Die konventionelle Fruchtfolge besteht zu zwei Dritteln aus Hackfrüchten.

konventionell		
Zuckerrübe	Braugerste	Frühkartoffel/Buschbohne
<i>Zwischenfrucht</i>		
1995/1998/2001	1996/1999/2002	1997/2000
konservierend		
Zuckerrübe	Braugerste	Frühkartoffel
<i>Zwischenfrucht</i>		<i>Ölrettich</i>

Als Ausgleich für die Humusbilanz steht daher nach Sommerbraugerste Ölrettich als Zwischenfrucht. 1999 wurde aus organisatorischen Gründen statt des Ölrettichs eine Untersaat aus Deutschem Weidelgras eingesät. Nach der Frühkartoffelernte werden Buschbohnen als Zweitfrucht angebaut.

In der konservierenden Fruchtfolge wird auf den Anbau von Buschbohnen verzichtet, um der Stickstofffreisetzung aus den Ernterückständen zu entgehen. Stattdessen wird Ölrettich als Zwischenfrucht angebaut. Der Versuch wurde mit der Ernte 2002 beendet.

Standort Jühnde (1995 – 2001)

In der südniedersächsischen Region mit dem Standort **Jühnde** ist der Anbau von Winterraps weit verbreitet. Neben Winterweizen und Wintergerste

konventionell						
W-Weizen	S-Raps	W-Weizen	W-Gerste	W-Raps	W-Weizen	W-Gerste
1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
konservierend 1						
S-Weizen	S-Raps	S-Weizen	W-Gerste	W-Raps	S-Weizen	W-Gerste
<i>Ausfallraps</i>		<i>Ausfallraps</i>				
1995	1996	1997	1997	1999	2000	2001
konservierend 2						
W-Weizen	W-Roggen	W-Weizen	W-Gerste	W-Roggen	W-Weizen	W-Gerste

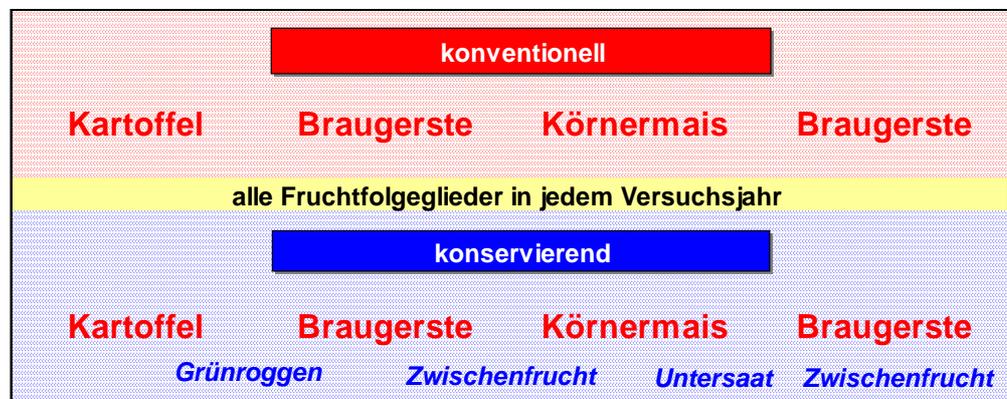
macht der Raps in der konventionellen Fruchtfolge einen Anteil von 33 % aus. Raps hinterlässt nach der Ernte hohe N_{\min} -Restwerte im Boden, die vom nachfolgenden Winterweizen nicht gänzlich aufgenommen werden. Die auswaschungsgefährdeten Nitratmengen sollen in der konservierenden Fruchtfolge durch den Aufwuchs des Ausfallrapses über Winter als Zwischenfrucht gemindert werden (konservierend 1). Dies bedingt den Anbau einer Sommerung, in diesem Fall Sommerweizen, was auf diesem Standort mit Problemen behaftet ist.

Da der Rapsanbau jedoch, aufgrund der zum damaligen Zeitpunkt vorherrschenden markt- und agrarpolitischen Bedingungen generell an Vorzüglichkeit hätte verlieren können, wurde alternativ eine weitere konservierende Fruchtfolge, bei der der Raps durch Winterroggen ersetzt wird, eingerichtet (konservierend 2). Der Versuch wurde mit der Ernte 2001 beendet.

Standort Bostel (1999 – 2004)

Der Standort Bostel wurde 1999 zusätzlich in die Versuchsserie aufgenommen, um jahresbedingte Witterungseinflüsse zu beurteilen. Aus diesem Grund werden alle Fruchtfolgeglieder in jedem Versuchsjahr angebaut.

Die Fruchtfolge in **Bostel** wird bestimmt durch den 100%igen Anbau von Sommerungen. Der Anteil von Sommergerste



macht 50 % an der Fruchtfolge aus, der von Körnermais und Kartoffeln jeweils 25 %. In der konservierenden Fruchtfolge sollen die dadurch entstehenden langen Zeiträume ohne Bewuchs durch den Anbau einer Zwischenfrucht nach Braugerste und Kartoffeln bzw. einer Untersaat zum Körnermais verringert werden.

Standort Rockstedt

In **Rockstedt**, einem stark durch Rindviehhaltung und Futterbau geprägten Standort, wird Silomais in Monokultur angebaut.

konventionell			
Silomais	Silomais	Silomais	Silomais
1999/2003	2000/2004	2001	2002
konservierend			
Silomais	Silomais	Silomais	Silomais
<i>Untersaat</i>	<i>Untersaat</i>	<i>Untersaat</i>	<i>Untersaat</i>

Dadurch entstehen lange Zeiträume ohne Pflanzenbewuchs. Zusätzlich beginnt auch die N-Aufnahme im Frühjahr durch den Silomais erst relativ spät.

In der konservierenden Fruchtfolge wird zur Aufnahme des durch den Silomais freierwerdenden Stickstoffs eine Untersaat mit Deutschem Weidelgras angelegt.

4.2 Stickstoffdüngung

4.2.1 Stickstoffdüngermenge

Hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Reduzierung der Nitratauswaschung wurden auf allen Standorten und in jeder Fruchtfolge unterschiedliche Stickstoffdüngermengen geprüft. Die Referenzdüngermenge (Sollwertdüngung = pflanzenspezifischer Sollwert) ergibt sich aus dem Bedarf der Pflanzen und der verfügbaren Stickstoffmenge im Boden zu Vegetationsbeginn.

Die Versuche enthielten folgende Düngungsstufen:

1.1	Ohne N-Düngung
1.2	Sollwert - 40 %
1.3	Sollwert - 20 %
1.4	Sollwert
1.5	Sollwert + 30 %

Zusätzlich wurde am **Standort Ohlendorf** in der Eissalat-Fruchtfolge auch die Frage geprüft, ob der berechnete Sollwert für Eissalat ausreichend ist. Aus dieser Frage ergaben sich folgende Düngungsstufen.

1.1	Ohne N-Düngung
1.2	Sollwert - 30 %
1.3	Sollwert
1.4	Sollwert + 30 %
1.5	Sollwert + 60 %

4.2.2 Stickstoffdüngungssysteme

Nicht nur unterschiedliche N-Düngermengen, sondern auch unterschiedliche Düngerformen und Düngungstermine können sich auf das Ausmaß der Nitratauswaschung auswirken. Die nachfolgenden Systeme, die nicht auf allen Standorten getestet wurden, unterscheiden sich hinsichtlich dieser Kriterien.

Var.	Düngungssystem	Standorte
2.1	Sollwert = N-Düngebedarf vorwiegend an Bodenuntersuchung (N_{min}) orientiert	alle
2.2	Bilanzmethode = N-Düngebedarf vorwiegend am Ertrag (Bilanzmethode) orientiert	alle
2.3	wie 1 , jedoch erste Stickstoffgabe nach Ende der Auswaschungsgefahr (AWG)	Liebenau, Hohenzethen, Schwüblingsen
2.4	wie 1 , jedoch mit anteiliger Gülledüngung	Liebenau, Hohenzethen, Jühnde, Rockstedt
2.5	wie 1 , jedoch mit anteiliger Gülledüngung und Ammoniumstabilisator (Didin)	Liebenau
2.6	wie 1 , jedoch ohne Spätdüngung zu Getreide	Jühnde
2.7	wie 1 , jedoch mit stabilisierten Stickstoffdüngern	Bostel, Rockstedt
2.8	wie 1 , jedoch nach Freiwilligen Vereinbarungen	Jühnde

5 Ergebnisse

Dieses Kapitel enthält die in den Jahren 1995 bis 2004 gewonnenen Ergebnisse.

Zur besseren Übersicht werden die Auswirkungen unterschiedlicher Düngermengen, Düngungssysteme und Fruchtfolgen auf Ertrag, Qualität, N-Salden und N_{\min} -Restwerte im Herbst sowie Deckungsbeiträge in gesonderten Abschnitten abgehandelt.

5.1 Einfluss der Stickstoffdüngermenge

Der Einfluss der Stickstoffdüngermengen wird anhand der geprüften Düngungsstufen aufgezeigt (vgl. S. 10, obere Tabelle). Die Düngung in Höhe des pflanzenspezifischen Sollwertes ergibt sich aus den in zahlreichen Versuchen ermittelten Sollwerten und der verfügbaren Stickstoffmenge im Boden zu Vegetationsbeginn.

5.1.1. Erträge

Die Auswirkung unterschiedlicher N-Düngermengen auf die Erträge in den Einzeljahren zeigen beispielhaft die Ergebnisse aus Liebenau in Tabelle 2.

N-Düngung	Relativerträge, Sollwert = 100 %; konventionelle Fruchtfolge										
	Silomais 1995	Silomais 1996	W- Roggen 1997	W- Roggen 1998	Silomais 1999	Silomais 2000	W- Roggen 2001	W- Roggen 2002	Silomais 2003	Silomais 2004	Mittel
ohne	91	96	39	36	75	74	40	41	97	69	66
Sollwert - 40%	95	103	78	95	91	95	82	87	103	82	91
Sollwert - 20%	96	105	92	100	98	106	96	97	96	92	98
Sollwert	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sollwert + 30 %	89	107	111	101	101	105	111	100	102	99	103
Sollwert absolut dt/ha	222,0	373,0	89,7	70,2	416,5	548,8	74,6	60,8	254,5	468,8	257,9
GD 5 %	15,2	13,8	9,4	9,2	15,5	13,6	10,9	5,4	6,7	7,4	11

Tab. 2: N-Düngung und Ertrag: Ergebnisse aus den Einzeljahren in Liebenau

Ein Blick auf die Tabelle zeigt, dass die einzelnen Fruchtarten sehr unterschiedlich auf eine Variation der N-Düngermengen reagieren. So sind bei einer suboptimalen N-Düngung die Ertragsrückgänge bei Silomais im Vergleich zu Winterroggen deutlich geringer.

Im ersten Versuchsjahr 1995 war der Maisertrag aufgrund der ausgeprägten Trockenschäden sehr niedrig. Ertragsunterschiede in Folge unterschiedlicher N-Düngergaben waren deshalb nicht zu erkennen. Dies gilt auch noch für das darauf folgende Versuchsjahr 1996, obwohl deutlich bessere Maiserträge erzielt werden konnten. Erst in den Jahren 1999 und 2000 lagen die Erträge zumindest in der ungedüngten Variante sowie im Versuchsglied „Sollwert minus 40 %“ im Vergleich zur Sollwertdüngung niedriger. Das Trockenjahr 2003 spiegelt sich im Ertragsniveau mit nur 254 dt/ha deutlich wider, Unterschiede durch die Düngung sind wie in den Jahren 1995 und 1996 nicht zu erkennen. Erst im Jahr 2004 reagieren die Maiserträge wieder sichtbar auf die unterschiedlichen N-Düngergaben.

Im Vergleich zum Silomais fielen im Winterroggen die Ertragsdepressionen in Folge einer suboptimalen N-Düngung in allen vier Versuchsjahren wesentlich deutlicher aus.

Abbildung 2 enthält die Daten aller in den Jahren 1995 bis 2004 durchgeführten Ernten.

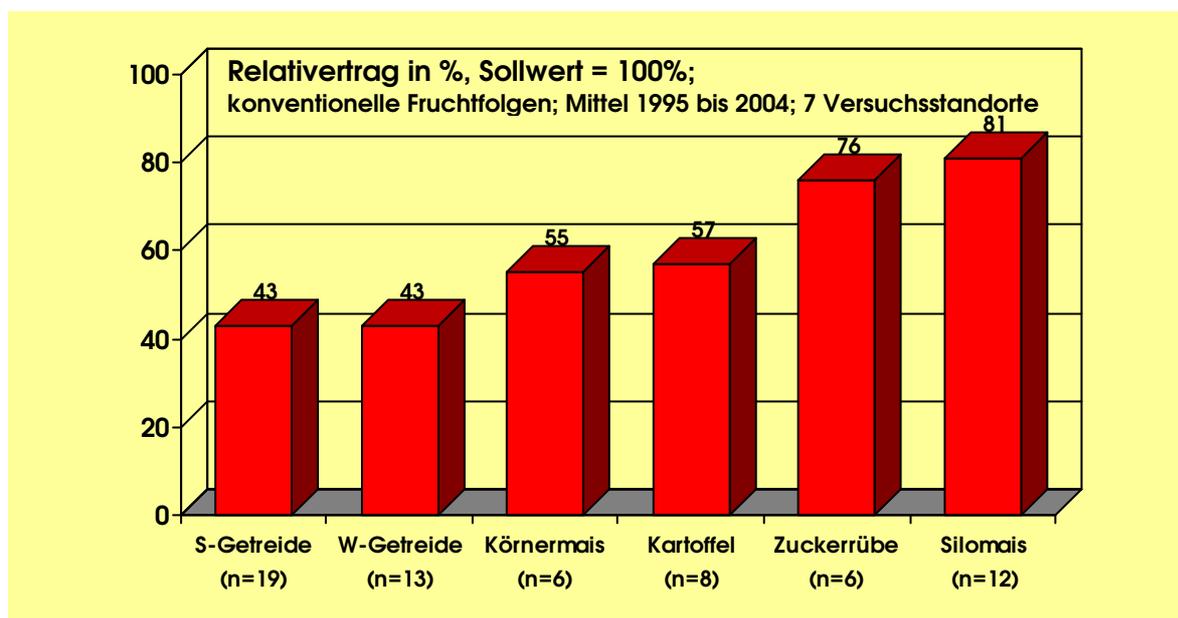


Abb. 2: Wie reagieren die Fruchtarten auf eine Unterlassung der N-Düngung ?

Fruchtarten, von denen nur 1 bis 2 Ernten vorliegen (z.B. Winterrraps) wurden bei dieser Auswertung nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse in der Abbildung zeigen, dass der Ertragsverlust in der nicht mit Stickstoff gedüngten Fläche in starkem Maße von der Fruchtart abhängig ist.

So reagieren Zuckerrüben und insbesondere Silomais nur sehr schwach auf eine Unterlassung der Stickstoffdüngung. Sommer- und Wintergetreide erreichen dagegen in der N0-Parzelle nur etwa 43 % des Ertrages der Sollwert-Parzelle.

Die Ergebnisse bei Kartoffeln und Körnermais liegen zwischen diesen Werten. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten von Silomais und Körnermais dürften durch die Standortunterschiede zu erklären sein. Auf den Standorten Liebenau und Rockstedt mit Silomais wird der Boden in Folge langjähriger Wirtschaftsdüngergaben mehr Stickstoff nachliefern als auf dem Körnermais-Standort Bostel, auf dem in den Vorjahren keine nennenswerten Mengen an Wirtschaftsdüngern verabreicht wurden.

Als Ursache für die Unterschiede zwischen den Fruchtarten sind der unterschiedliche Wachstumsverlauf und der Zeitraum, in dem die verschiedenen Fruchtarten den im Boden mineralisierten Stickstoff aufnehmen können, zu nennen. Kulturen mit einer kurzen Wachstumsdauer und/oder einem frühen N-Bedarf (Getreide) reagieren daher stärker auf eine Unterlassung der N-Düngung als Kulturen mit einer längeren Wachstumsdauer und einem N-Aufnahmemaximum, dass mit der Zeit intensiver N-Mineralisierung im Boden zusammenfällt, wie bei Zuckerrüben und Silomais.

Wie sich die unterschiedliche N-Düngung auf den anderen sechs Versuchsstandorten im Mittel der Jahre in der konventionellen Fruchtfolge auf die Erträge auswirkte, zeigen die Zahlen in Tabelle 3 (Ohlendorf: ohne Eissalat; Schwüblingsen: ohne Buschbohnen).

Düngung	Relativerträge in % (Sollwert=100%); konventionelle Fruchtfolge; Mittel 1995 bis 2004							
	Ohlendorf	Liebenau	Hohenzethen	Schwüblingsen	Jühnde	Bostel	Rockstedt	Mittel
ohne	45	66	57	59	48	47	78	57
Sollwert - 40%	92	91	87	83	97		90	90
Sollwert - 30%						88		88
Sollwert - 20%	97	98	94	98	100		95	97
Sollwert	100	100	100	100	100	100	100	100
Sollwert + 30%	105	103	104	104	106	104	104	104

Tab. 3: N-Düngung und Ertrag: Alle Standorte auf einen Blick !

Die vergleichsweise geringen Ertragsminderungen in Rockstedt sind durch den alleinigen Anbau von Silomais zu erklären. Auf den anderen Standorten fallen die Ertragsrückgänge bei suboptimaler N-Düngung deutlicher aus. Im Mittel aller Versuchsflächen liegt der Ertrag in der ungedüngten Variante bei 57% des Ertrages der Sollwert-Parzelle. Bedingt durch die unterschiedlichen Standorteigenschaften und Fruchtfolgen schwanken die Werte von 45 bis 78 %. Wird der Sollwert um 40 % reduziert, dann liegen die Erträge durchschnittlich 10 % niedriger. Der Ertragsverlust in der Variante „Sollwert - 20 %“ ist wegen des hohen Maisanteils gering.

Eine über den Sollwert hinaus gehende N-Düngung führt auf allen Standorten zu durchschnittlich höheren relativen Naturalerträgen. Die Ergebnisse des Standortes Jühnde dürfen jedoch nicht überbewertet werden, da für die Versuche in Jühnde Jahr für Jahr hohe Grenzdifferenzen errechnet wurden (s. Jahresberichte zu den Versuchen). Diese vom Bodenaufbau her sehr heterogene Versuchsfläche litt häufig unter Trockenheit, so dass sich innerhalb des Versuches, unabhängig von der Behandlung teilweise starke Ertragsdifferenzen einstellten. Hinzu kam 1999 ein erheblicher Wildschaden. Aus diesen Gründen wurde der Versuch im Jahr 2001 eingestellt.

Zu den vergleichsweise geringen mittleren Ertragsverlusten in der Variante „Sollwert - 20 %“ tragen zu einem erheblichen Anteil die beiden Silomais-Standorte Liebenau und Rockstedt bei. Dieses Ergebnis erklärt sich durch eine nicht ausreichend vorgenommene Sollwertkorrektur. In Liebenau wurde die Sollwertparzelle auf ein N-Angebot von etwa 170 kg/ha (=N_{min} im Frühjahr plus ausgebrachte N-Düngung) eingestellt, in Rockstedt auf etwa 165 kg/ha. Aufgrund der langjährig auf diesen Flächen ausgebrachten Wirtschaftsdünger hätte demnach der Sollwert weiter nach unten korrigiert werden müssen, nämlich um etwa 40 kg N/ha entsprechend dem Stickstoffangebot in der Variante „Sollwert - 20 %“.

Diese Aussage gilt für Schwüblingsen mit Einschränkungen auch für die drei Zuckerrübenjahre. Ein N-Angebot von etwa 140 kg N/ha, entsprechend „Sollwert - 20 %“, wäre ausreichend gewesen. Diese Korrektur hätte wegen der eingearbeiteten Gründüngung vorgenommen werden müssen.

Die Ertragsmittelwerte für Ohlendorf in der Tabelle 3 beziehen sich nur auf Getreide.
Die Wirkung der Düngungsstufen auf den Eissalat ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: N-Düngung und Ertrag: Wie reagierte Eissalat in Ohlendorf ?

N-Düngung	dt/ha Marktware											
	1. Satz 1995	2. Satz 1995	3. Satz 1995	1997	1. Satz 1998	2. Satz 1998	3. Satz 1998	2000	1. Satz 2001	2. Satz 2001	3. Satz 2001	Mittel dt/ha
ohne	118	238	22	0	0	0	0	0	0	25	0	37
Sollwert - 30%	497	394	198	322	108	159	27	404	417	446	150	284
Sollwert	519	442	183	418	255	271	38	449	509	501	195	344
Sollwert + 30%	560	427	229	456	248	261	70	439	499	511	228	357
Sollwert + 60%	620	433	201	454	324	322	76	422	550	491	162	369

Konventionelle Fruchtfolge (Erträge in dt Frischmasse/ha

1995, 1998, 2001: 3 Sätze Eissalat

1997, 2000: 1 Satz Eissalat nach Ernte der Wintergerste

In den Jahren mit ausschließlichem Eissalatanbau brachten nur 1995 und 2001 die ersten beiden Sätze hohe Erträge. Die dritten Sätze fielen in beiden Jahren deutlich ab. Im niederschlagsreichen Jahr 1998 war die Salaternte insgesamt deutlich schlechter, insbesondere der überaus nasse Herbst 1998 hinterließ seine Spuren. Sehr gute Erträge wurden in den Jahren 1997 und 2000 nach der Vorfrucht Wintergerste erzielt.

Ohne Düngung konnte i. d. R. keine marktfähige Ware produziert werden. Die Köpfe waren zu klein und deshalb der Ertrag nur sehr gering oder sie wurden überhaupt nicht geerntet. In diesen Fällen verblieb der Salat auf dem Feld und wurde eingearbeitet.

In allen Versuchen steigt der Ertrag bis in Höhe der Sollwertdüngung (Eissalat= Sollwert 140 kg N/ha) deutlich an. Bei einigen Sätzen führte eine darüber hinaus gehende N-Düngung zu weiteren Ertragsteigerungen, so dass im Mittel die Erträge in den Varianten „Sollwert + 30 %“ und „Sollwert + 60 %“ höher liegen. Demnach müsste der Sollwert für Eissalat unter diesen Bedingungen entsprechend angehoben werden.

5.1.2 Stickstoffsalden

Für die Berechnung der Stickstoffsalden wurde von der N-Zufuhr mit Düngemitteln die N-Abfuhr durch das Erntegut abgezogen. Die Ernterückstände verblieben i.d.R. auf den Flächen.

Tabelle 5 enthält beispielhaft die Ergebnisse der Einzeljahre für den Standort Liebenau.

N-Düngung	N-Salden, kg/ha										Mittel
	Silomais 1995	Silomais 1996	Winter- roggen 1997	Winter- roggen 1998	Silomais 1999	Silomais 2000	Winter- roggen 2001	Winter- roggen 2002	Silomais 2003	Silomais 2004	
ohne	-57	-119	-42	-34	-102	-98	-37	-36	-72	-80	-68
Sollwert - 40%	18	-119	-17	19	-76	-92	19	24	-62	-67	-35
Sollwert - 20%	33	-120	-6	50	-59	-61	14	44	-28	-76	-21
Sollwert	60	-85	12	80	-31	-37	35	78	-13	-60	4
Sollwert + 30 %	126	-48	23	126	6	21	59	127	17	-23	43

Tab. 5: N-Düngung und N-Saldo: Einzeljahre am Beispiel Liebenau

Mit Ausnahme des Jahres 1995 (deutliche Mindererträge durch Trockenheit) sind die überwiegend negativen N-Salden beim Silomaisanbau typisch. Da mit dem Erntegut beim Silomais meist 200 kg N/ha und mehr vom Feld abgefahren werden und wesentlich weniger Stickstoff gedüngt wird, ergeben sich negative Werte. Dies erklärt sich, wie bereits erwähnt, aus dem Sachverhalt, dass Mais den weitaus größeren Teil seines Stickstoffbedarfs aus dem im Boden freigesetzten Stickstoff abdecken kann.

Im Gegensatz dazu trägt der im Boden mineralisierte Stickstoff wegen des frühen Zeitpunktes der Haupt-N-Aufnahme nur unwesentlich zur N-Versorgung eines Winterroggenbestandes bei. In diesem Fall muss relativ mehr Stickstoff als Dünger zugeführt werden. Die N-Salden sind also auch abhängig von der Fruchtart. Noch deutlich negativere Werte als in Liebenau ergeben sich durch ausschließlichen Silomaisanbau in Rockstedt.

Tabelle 6 zeigt die mittleren N-Salden aller Standorte im Versuchszeitraum. Die N-Salden bei einer N-Düngung in Höhe des Sollwertes bewegen sich zwischen -16 und 159 kg N/ha. Deutlich höher liegen die Werte in Jühnde, in Schwüblingsen und insbesondere in Ohlendorf.

Der positive Saldo spiegelt in diesen Fällen die unvermeidbaren N-Verluste bei bedarfsgerechter N-Düngung wider. Bei einer darüber hinausgehenden N-Düngung nehmen die Überschüsse auf jedem Standort stark zu. Bei suboptimaler N-Düngung errechnen sich negative Werte.

Düngung	N-Salden, kg N/ha (konventionelle Fruchtfolge; Mittelwerte 1995 - 2004)							
	Ohlendorf	Liebenau	Hohen- zethen	Schwüb- lingsen	Jühnde	Bostel	Rock- stedt	Mittel
ohne	-31	-68	-67	-30	-39	-45	-70	-50
Sollwert - 40%	60	-35	-20	15	12		-45	-2
Sollwert - 30 %						2		2
Sollwert - 20%	110	-21	1	37	43		-32	23
Sollwert	161	4	25	63	61	25	-16	46
Sollwert + 30%	218	43	61	111	103	53	14	86

Tab. 6: N-Düngung und N-Salden: Alle Standorte auf einen Blick !

Die hohen Werte in Jühnde kommen insbesondere durch den niedrigen Rapserttrag in der Sollwertparzelle 1999 zustande. Bei einem Ertragsniveau von nur 27,1 dt/ha, bedingt durch Wildfraß, ergibt sich ein N-Überhang von 143 kg/ha. In allen Getreidejahren bewegten sich die Werte dagegen nur zwischen 35 und 55 kg N/ha.

In Schwüblingsen liegen die N-Salden über den Werten der anderen Standorte, weil in zwei Jahren jeweils nach Frühkartoffeln noch Buschbohnen standen. Dabei wurde die Stickstoffbindung durch die Knöllchenbakterien mit 1 kg N/dt Erntegut bei der N-Bilanz in Rechnung gestellt.

Die von allen Standorten deutlich nach oben abweichenden N-Salden auf dem Standort Ohlendorf ergeben sich aus dem intensiven Anbau von Eissalat (Tabelle 7).

N-Düngung	N-Salden , kg/ha								
	3 x Eissalat	Hafer	W-Gerste Eissalat	3 x Eissalat	W- Weizen	W-Gerste Eissalat	3 x Eissalat	W- Weizen	Mittel
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
ohne	-39	-72	-36	0	-36	-33	-2	-28	-31
Sollwert - 40% (-30 b. Salat)	73	-95	77	192	-16	71	141	33	60
Sollwert - 20% (SW b. Salat)	165	-83	120	253	33	117	218	54	110
Sollwert (+30 b. Salat)	235	-71	166	348	47	171	300	78	159
Sollwert + 30 % (+60 b. Salat)	322	-58	243	419	76	242	380	120	218

Tab. 7: N-Düngung und N-Saldo: Besonderheit Eissalat in Ohlendorf

Die Werte in Tabelle 7 zeigen, dass bei Eissalat, teilweise auch bedingt durch die schlechten Ernten, im Vergleich zu den gängigen landwirtschaftlichen Kulturen sehr hohe N-Überschüsse produziert werden. N-Düngermengen von etwa 400 kg/ha für drei Salatsätze steht eine N-Abfuhr von etwa nur 150 kg /ha gegenüber. Der besonders hohe N-Überschuss im Versuchsjahr 1998 erklärt sich durch die vernachlässigbar geringen Kopferträge des dritten Satzes in Folge der Nässe in diesem Herbst. Die N-Düngung kann beim zweiten und dritten Satz reduziert werden, da etwa 70 % des mit den Ernterückständen eingearbeiteten Stickstoffs bei der Düngeplanung anrechenbar sind. Die N-Düngung für den ersten Satz betrug bei bedarfsgerechtem N-Angebot etwa 150 bis 200 kg/ha.

5.1.3 N_{min}-Werte im Herbst

Die Bodenproben zur N_{min}-Messung im Herbst wurden meist im November entnommen. Tabelle 8 zeigt die mittleren Werte für alle Standorte. Sie liegen in der Sollwert-Variante je nach Standort zwischen 23 und 61 kg/ha. Bei überhöhter N-Düngung (SW + 30%) stiegen nur in Rockstedt und Liebenau die N_{min}-Werte deutlich an. Auf den anderen Standorten blieb dieser Effekt aus.

Wurde suboptimal gedüngt, dann veränderten sich die Werte im Vergleich zur bedarfsgerechten N-Düngung in der Sollwertparzelle nur unwesentlich.

In Schwüblingsen, Hohenzethen, Bostel und Jühnde waren die im Herbst gemessenen Nmin-Werte unabhängig von der Höhe der N-Düngung auf einem annähernd gleichen Niveau. Ein Einfluss der N-Düngungshöhe ist in diesen Fällen nicht erkennbar.

Düngung	Nmin-Werte im Herbst							
	kg/ha (0-90 cm; konventionelle Fruchtfolge; Mittelwerte 1995 - 2004)							
	Ohlen- dorf 2)	Liebenau	Hohen- zethen	Schwüb- ²⁾ lingsen	Jühnde ¹⁾⁺²⁾	Bostel	Rock- stedt	<i>Mittel</i>
ohne	24	31	19	23	45	28	25	28
Sollwert - 40%	33	35	22	28	43		29	32
Sollwert - 30 %						28		28
Sollwert - 20%	41	41	23	23	42		37	35
Sollwert	52	61	23	24	43	33	30	38
Sollwert + 30%	64	93	24	29	48	36	58	50

1) = 0 – 60 cm

2) = Mittelwert bis 2001

Tab. 8: N-Düngung und Nmin-Wert im Herbst: Alle Standorte auf einen Blick !

5.2. Einfluss verschiedener Stickstoffdüngesysteme

Nicht nur unterschiedliche Stickstoffdüngermengen sondern auch unterschiedliche Stickstoffdüngungstermine und Stickstoffformen können sich auf das Ausmaß des Nitratauswaschungspotenzials auswirken. Die im Kap. 4.2.2 beschriebenen Stickstoffdüngungssysteme wurden in den Versuchen geprüft, wie in der Tabelle gekennzeichnet nicht jedoch alle Varianten an jedem Standort. Die Düngungssysteme 2.6 und 2.8 wurden ausschließlich auf dem Feld in Jühnde überprüft. Die Ergebnisse enthalten die Jahresberichte. Auf eine Gesamtauswertung wird aufgrund des hohen Versuchsfehlers auf diesem Standort verzichtet.

Nachfolgend werden die aufgeführten N-Düngungssysteme in ihrer Auswirkung auf Ertrag, N-Salden und N_{\min} -Werte im Herbst im Vergleich zur Sollwert-Variante beschrieben.

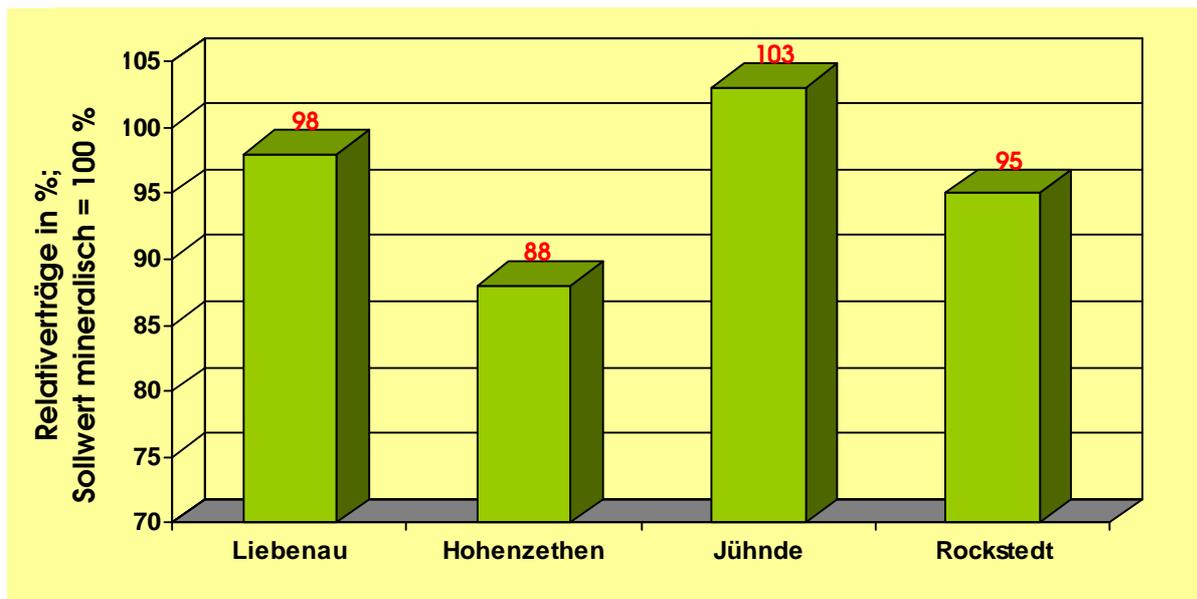
5.2.1 Stickstoffdüngung mit anteiligem Einsatz von Gülle

In diesem System wurde die Düngung folgendermaßen berechnet: Die Güllemenge richtete sich nach dem P- und K-Bedarf der Pflanzen entsprechend den Gehaltsklassen C. Der Stickstoff der Rindergülle wurde zu 70 % angerechnet. Die restliche N-Düngung erfolgte mit Mineraldüngern.

Das Gesamt-Stickstoffangebot entsprach der Sollwert-Variante mit reiner Mineraldüngung. Dieses Düngesystem ist auf den Standorten Liebenau, Hohenzethen, Jühnde und Rockstedt zu finden.

Die Ergebnisse aus den Jahren 1995 bis 2004 enthält Abbildung 3.

In Liebenau und Jühnde konnten mit anteiliger Gülledüngung die gleichen Erträge wie bei reiner Mineraldüngung erzielt werden. Die Abweichung lag im Fehlerbereich. Auf dem Versuchsfeld in Rockstedt lagen die Maiserträge im Mittel der zurückliegenden Jahre um 5 % niedriger. Die Güllevariante war mit diesem Ansatz nicht jedes Jahr schlechter, sondern nur in den Jahren 2001, 2002 und 2004.



**Abb. 3: N-Düngesysteme und Ertrag: Einfluss der Güllewirkung
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)**

In Hohenzethen fiel die Ernte in der Güllevariante um durchschnittlich 12 % niedriger aus. Dieses Resultat erklärt sich durch mehrere Faktoren. So standen für die Ausbringung der Rindergülle in den ersten sechs Versuchsjahren keine Schleppschräuche zur Verfügung. Dies wirkte sich insbesondere bei der Kopfdüngung des Winterroggens schlecht aus, da es sich um eine sehr dickflüssige Gülle handelte. So kam es sicherlich nicht nur zu N-Verlusten durch Ammoniakentbindung, sondern auch zu einer zu starken Bedeckung des jungen Roggenbestandes.

Die Wirkung des Güllestickstoffes war auch bei den Hackfrüchten nicht sehr gut. Das unterstellte Mineraldüngeräquivalent von 70 % konnte also nicht erreicht werden.

Der Einsatz von Schleppschräuchen in der jüngsten Vergangenheit hat die N-Ausnutzung des Güllestickstoffes etwas verbessert.

Bei den N-Salden gibt es erwartungsgemäß Unterschiede, weil bei den Güllevarianten die Gesamt-N-Zufuhr nach Abzug der gasförmigen Verluste bei der Lagerung berücksichtigt wurden.

Aufgrund des Mineraldüngeräquivalents (MDÄ) von 70 % bei Rindergülle muss sich zwangsläufig ein höherer N-Saldo im Vergleich zur mineralischen Stickstoffdüngung ergeben. Ein MDÄ von 70 % Rindergülle bedeutet: 100 kg N aus Rindergülle entsprechen der Wirksamkeit von 70 kg N aus Mineraldünger.

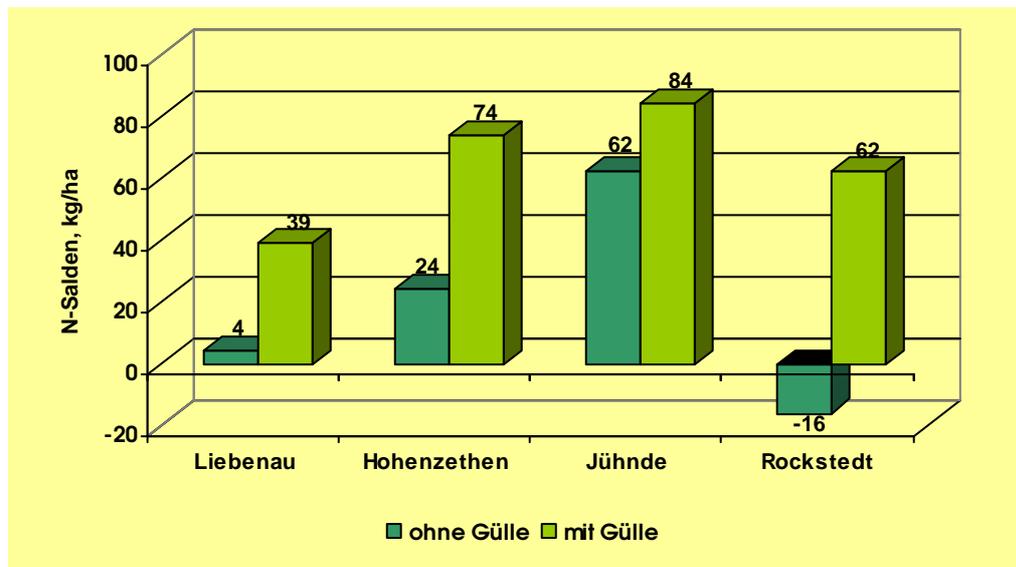


Abb. 4: N-Düngesysteme und N-Saldo: Einfluss der Güllewirkung ?
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)

Die Herbst-N_{min}-Werte sind in Liebenau und Jühnde in den Güllevarianten sogar etwas niedriger. In Hohenzethen gibt es keine Unterschiede, in Rockstedt liegen die Herbst-N_{min}-Werte nach Gülledüngung im Vergleich zur reinen Mineraldüngung um 15 kg N/ha höher.

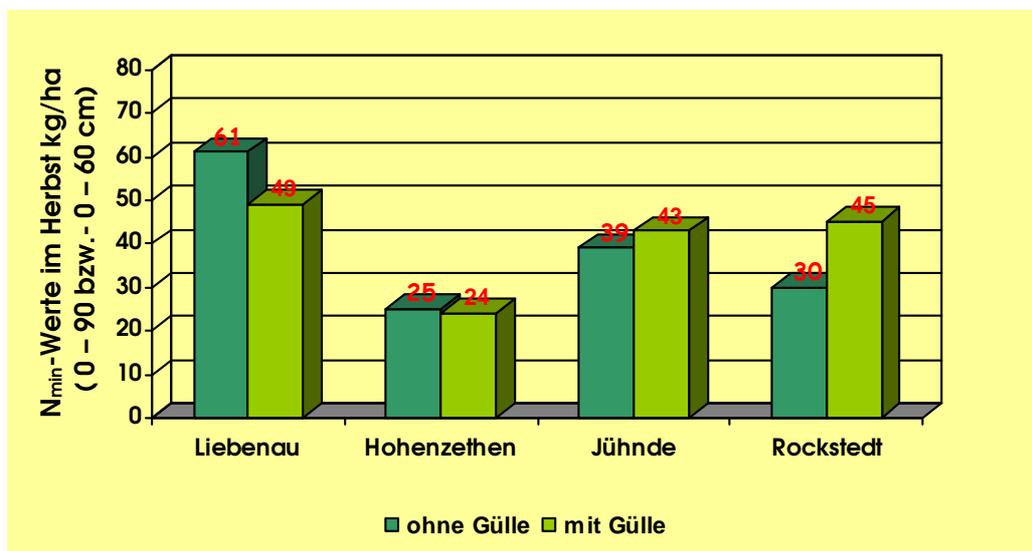


Abb. 5: N-Düngesysteme und N_{min}-Wert im Herbst: Einfluss der Güllewirkung ?
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)

5.2.2 Stickstoffdüngung mit anteiligem Einsatz von Gülle mit Didin-Zusatz

In Liebenau gibt es noch eine weitere Gülle-Variante, in der der Zusatz von Didin (10 Liter/ha) als Ammoniumstabilisator zur Gülle untersucht wird.

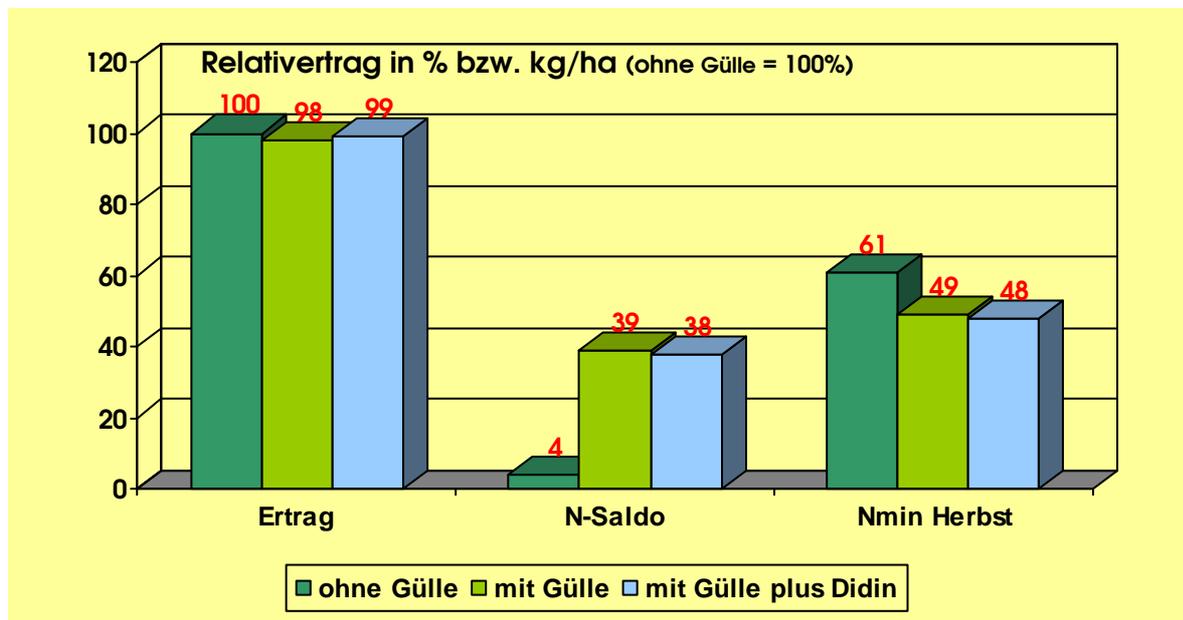


Abb. 6: N-Düngesysteme: Was bringt der Didin-Zusatz ?

(Liebenau; Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)

Damit soll eine mögliche Auswaschung von im Frühjahr gedüngten Güllestickstoff vermieden werden. Die Ergebnisse in Abbildung 6 zeigen, dass durch den Didin-Zusatz im Mittel der zehn Versuchsjahre keine Mehrerträge erzielt wurden. N-Salden und N_{\min} -Herbst-Werte unterschieden sich nicht.

5.2.3 Erste Stickstoffgabe nach Ende der Auswaschungsgefahr (AWG)

Mit diesem Düngesystem soll die mögliche Auswaschung der ersten N-Düngung im Frühjahr vermieden werden.

Deshalb wird die erste Stickstoffgabe erst zu dem Zeitpunkt ausgebracht, ab dem keine Versickerung mehr zu erwarten ist. In der Regel erfolgt daher die erste Düngung des Wintergetreides erst gegen Ende April, also zum üblicherweise 2. Düngungstermin bei Schossbeginn.

Beim Anbau von Sommergetreide, Kartoffeln, Zuckerrüben und Mais ist die erste N-Gabe i. d. R. nicht mehr auswaschungsgefährdet.

Die N-Düngung in dieser Variante wurde für die genannten Früchte deshalb so gestaltet, dass bei der ersten Stickstoffdüngung nur etwa 1/3 der gesamten Düngung ausgebracht wurde. Die restliche N-Düngung erfolgte zum Reihenschließen. Bei der Braugerste unterschied sich die N-Verteilung nicht.

Somit wurde die N-Verteilung im Vergleich zur klassischen Sollwert-Variante verändert. Das Stickstoffangebot entspricht dem Sollwert.

In Tabelle 9 werden am Beispiel Liebenau für die erste Fruchtfolgerotation aus Silomais/Silomais/Winterroggen/Winterroggen die Unterschiede in der N-Verteilung dargestellt. In den darauf folgenden Jahren wurde die Düngung in dieser Variante entsprechend gehandhabt.

Stadium	Sollwert		Sollwert AWG *	
	Datum	N-Menge	Datum	N-Menge
		kg N/ha		kg N/ha
1995 Mais				
Saat	29. 03	18	29. 04	18
n.d. Saat	09. 05	90	09. 05	42
Reihenschließen	22. 06	40	22. 06	88
1996 Mais				
Saat	07. 05	18	07. 05	18
n.d. Saat	14. 05	50	14. 05	20
Reihenschließen	27. 06	0	27. 06	30
1997 Winterroggen				
Veg.Beginn	13. 03	60	13. 03	0
EC 31	30. 04	50	30. 04	60
EC 39	16. 05	0	16. 05	50
1998 Winterroggen				
Veg.Beginn	31. 03	80	31. 03	0
EC 31	23. 04	50	23. 04	130
EC 45	07. 05	40	07. 05	40

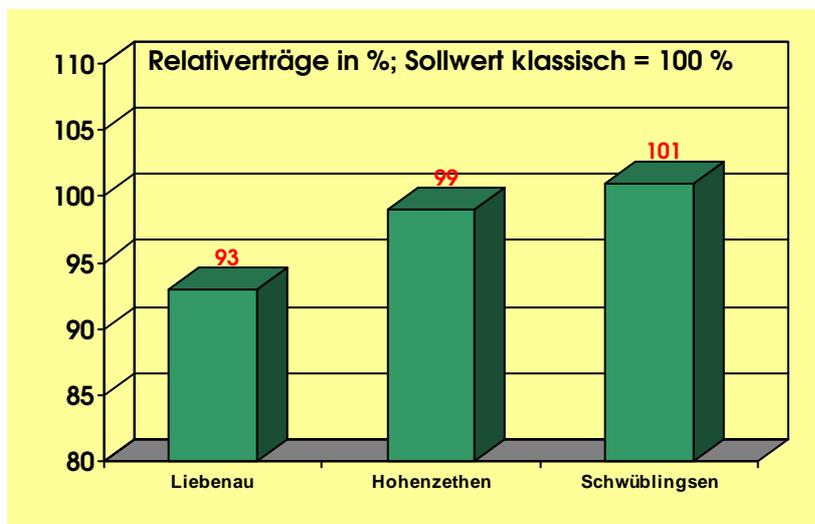
Tab. 9: Erste N-Düngung nach Ende der Auswaschungsgefahr; Beispiel Liebenau

1996 fiel die N-Düngung sehr niedrig aus, da die N_{\min} -Werte im Frühjahr aufgrund des lang anhaltenden Frostes in den Wintermonaten 1995/96 und der damit

unterbliebenen Nährstoffauswaschung im Vergleich zum langjährigen Mittel etwa doppelt so hoch lagen.

Die Ergebnisse in Abbildung 7 zeigen, dass mit diesem Stickstoffdüngesystem in Schwüblingsen und auch in Hohenzethen im Mittel der 10 Versuchsjahre keine Minderträge erzielt wurden. Dagegen lagen die Erträge in Liebenau um durchschnittlich 7 % niedriger. Dieses Ergebnis erklärt sich durch die Unterschiede in den Fruchtfolgen.

**Abb. 7: N-Düngesysteme und Ertrag: Auswirkung einer verspäteten N-Düngung
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)**



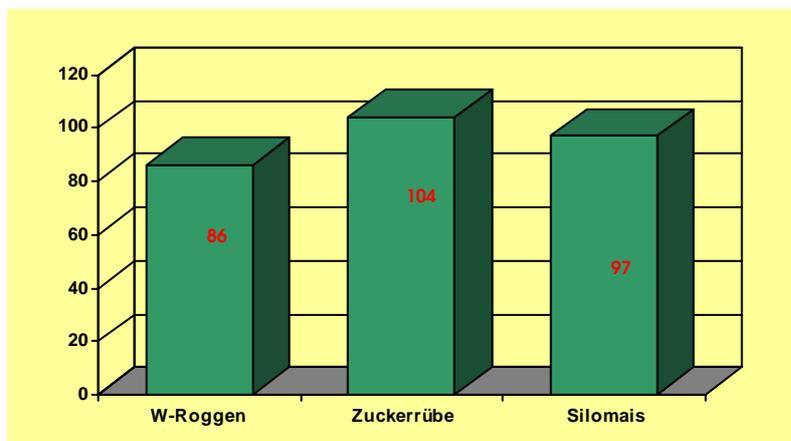
Wie Abbildung 7 zu entnehmen ist, reagiert Winterroggen am stärksten auf die verspätete Anwendung. Die Erträge liegen um durchschnittlich 14 % niedriger.

In Liebenau wurde in den zurückliegenden zehn Jahren viermal Winterroggen angebaut, in Hohenzethen dagegen nur zweimal.

Zuckerrüben und Silomais reagieren auf die Unterschiede in der N-Verteilung nicht mit Ertragsminderungen (Abb. 8).

Zuckerrüben und Silomais reagieren auf die Unterschiede in der N-Verteilung nicht mit Ertragsminderungen (Abb. 8).

**Abb. 8: N-Düngesysteme und Ertrag: Auswirkung einer verspäteten N-Düngung bei unterschiedlichen Fruchtarten;
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)**



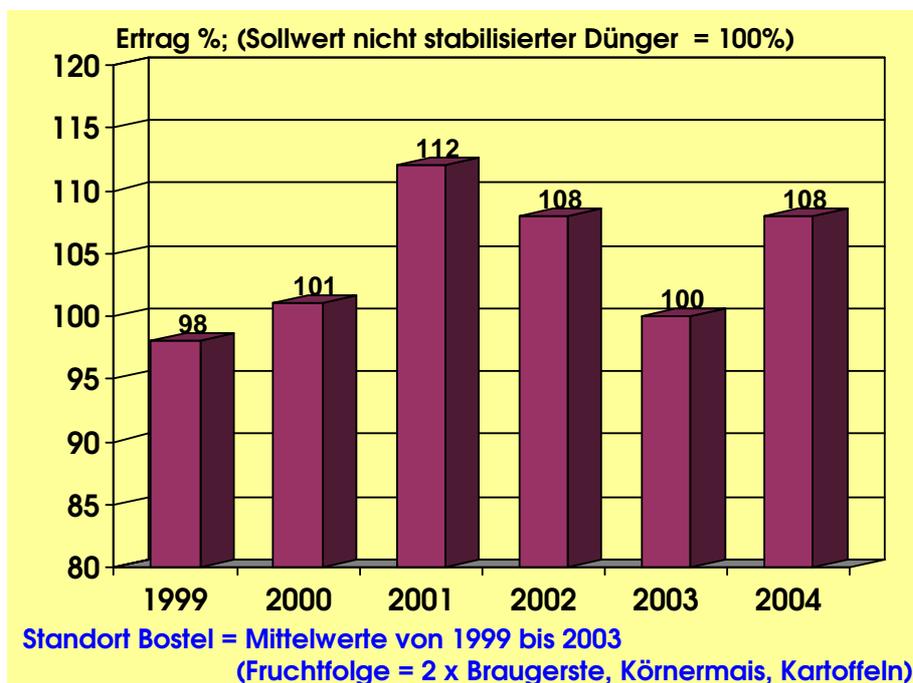
In Schwüblingsen wurde im Gegensatz zu Hohenzethen und Liebenau kein Winterroggen angebaut. So erklären sich die Unterschiede in der Reaktion auf dieses Düngesystem zwischen den Standorten. Die mittleren N-Salden beider Düngesysteme liegen auf annähernd gleicher Höhe. Dies gilt auch für die Herbst-Nmin-Werte.

Die mittleren N-Salden beider Düngesysteme liegen auf annähernd gleicher Höhe. Dies gilt auch für die Herbst-Nmin-Werte.

5.2.4 Stickstoffdüngung mit stabilisiertem Dünger

Als stabilisierter Stickstoffdünger wurde auf den Standorten Bostel und Rockstedt in den ersten Versuchsjahren Basamon 25 N und 2003 sowie 2004 dann Entec 26 ausgebracht. Die Düngung erfolgte in nur einer Gabe, womit Arbeitsgänge eingespart werden. Im Vergleich dazu erfolgte die N-Düngung in der Kontrollvariante, mit Ausnahme der Jahre 2001 und 2002 in Bostel, in 2 Gaben mit AHL bzw. mit AHL und KAS kombiniert.

**Abb. 9: N-Düngesysteme und Ertrag: Auswirkung stabilisierter Dünger
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)**



In der Abbildung 9 sind die Mittelwerte aus Bostel dargestellt. Man erkennt, dass in den Jahren 1999, 2000 und 2003 durch den Einsatz des stabilisierten Düngers kein Vorteil im Vergleich zur Kontrolle auftrat. Dagegen ergaben sich in den anderen

drei Versuchsjahren durchschnittliche Mehrerträge von 8 bis 12%.

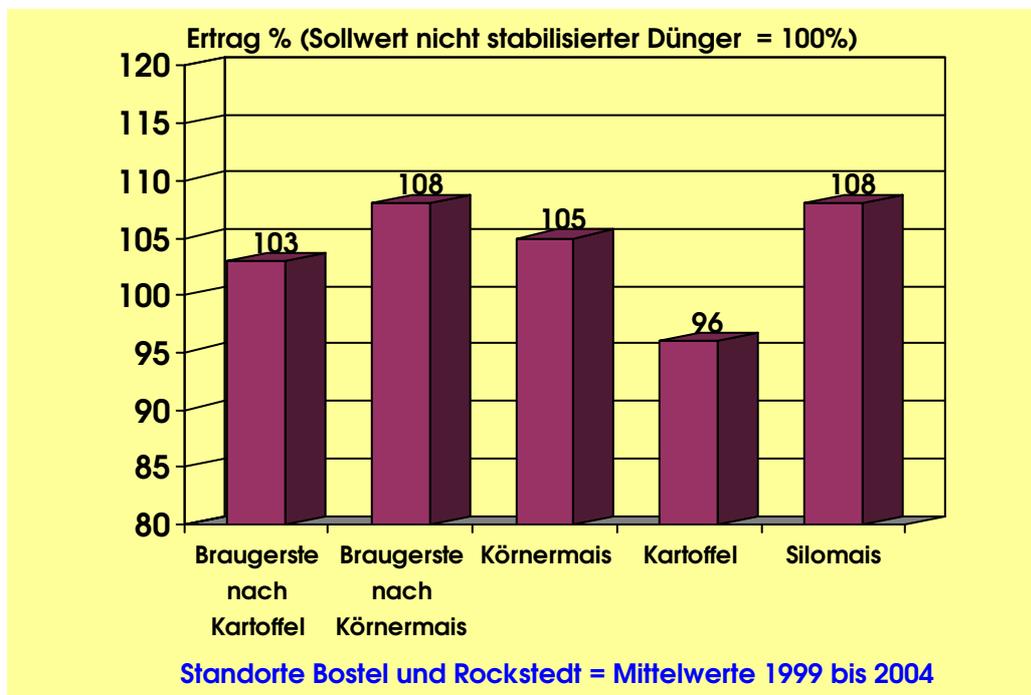
Auch in Rockstedt wurden im Mittel der sechs Versuchsjahre durch stabilisierte N-Düngung bei Silomais 6 % mehr Ertrag erzielt, wie die folgende Abbildung 10 zeigt. Auch auf diesem Standort gab es nicht in jedem Jahr eine bessere Ernte in Folge des Einsatzes der stabilisierten N-Dünger. So waren 2002 und 2004 keine Effekte zu verzeichnen, also anders als in Bostel. Aufgrund dieses Sachverhaltes fällt es schwer, diese Ergebnisse mit der jeweiligen Jahreswitterung zu begründen.

Bei der Auswertung nach Fruchtarten für Bostel fällt auf, dass die Mehrerträge durch den Einsatz von Basamon 25 N bzw. Entec 26 bisher bei Braugerste und Körnermais auftraten, nicht jedoch bei den Kartoffeln.

Möglicherweise wurde bei diesen Früchten in den Varianten ohne stabilisierten N-Dünger zu Vegetationsbeginn Düngerstickstoff in den Unterboden eingewaschen und so für die jungen Pflanzen nicht mehr verfügbar. Dies wurde jedoch nicht durch N_{\min} -Untersuchungen überprüft.

Das Ausbleiben eines Effektes bei Kartoffeln dürfte durch das Häufeln zu erklären sein. Damit wird der Dünger in der Mitte des Kartoffeldammes zusammenschoben und somit konzentriert. Dadurch wird die Nitrifikation, ähnlich wie bei den stabilisierten N-Düngern, auch vermindert.

**Abb. 10: N-Düngesysteme und Ertrag: Auswirkung stabilisierter Dünger
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)**



5.2.5 Stickstoffdüngung nach der Bilanzmethode

Ziel der Stickstoffdüngung nach der Bilanzmethode ist es, die Nitratauswaschung im Laufe der Fruchtfolge auf ein Minimum zu begrenzen. Wesentliche Kalkulationsgrößen zur Bemessung der Düngung sind die Stickstoffabfuhr (Produkt aus Ertrag und dem Stickstoffgehalt des Erntegutes) der einzelnen Fruchtfolgeglieder und der standortspezifische Wert für eine tolerierbare Stickstoffauswaschung, bei der ein Grenzwert von 50 mg Nitrat pro Liter Sickerwasser nicht überschritten wird.

Die Berechnung der tolerierbaren Stickstoffauswaschung zeigt folgendes Beispiel.

Grenzwert : 50 mg NO₃/l
Umrechnung von NO₃ in N: 50 mg NO₃ : 4,43 = 11,29 mg N
Beispiel für 200 mm Sickerung: 200 mm = 200 l/m² = 2.000.000 l/ha
 2.000.000 l/ha * 11,29 mg N/l = 22,58 kg N/ha

Bei einer durchschnittlichen Grundwasserneubildung von 200 mm würde der Toleranzwert 23 kg N/ha betragen. Die Stickstoffdüngermenge der Fruchtfolge ergibt sich aus der Addition dieser tolerierbaren Auswaschung und der Stickstoffabfuhr durch das Erntegut. Von dem im Frühjahr gemessenen N_{min}-Wert wird nur der Betrag angerechnet, der über einen bodenspezifischen Richtwert hinausgeht. Die Verteilung auf die einzelnen Fruchtfolgeglieder erfolgt unter Beachtung des fruchtartsspezifischen Düngedarfs in Form von Zu- und Abschlägen.

Als Beispiel ist in Tabelle 10 die Berechnung des Stickstoffdüngedarfs nach der Bilanzmethode für den Standort Hohenzethen dargestellt.

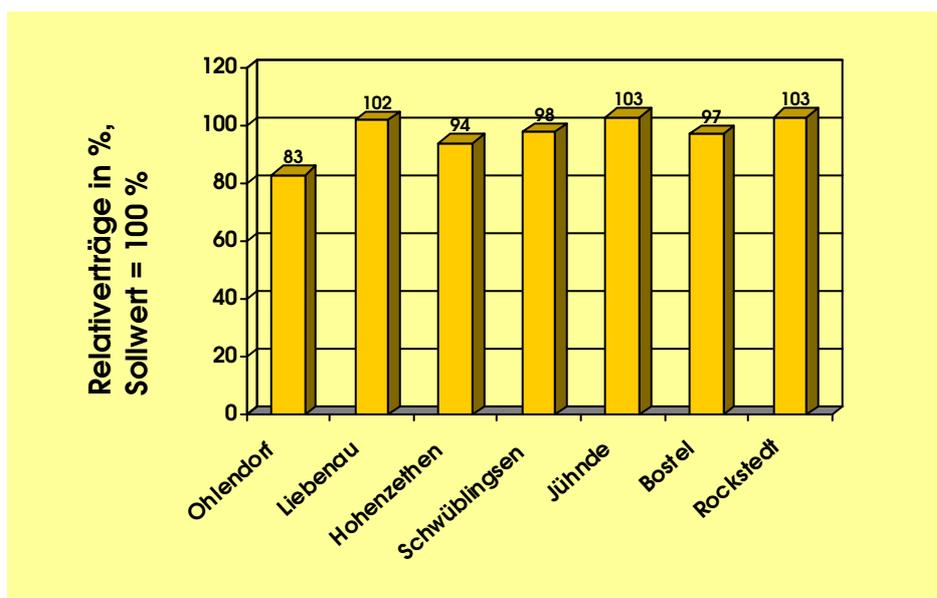
**Tab. 10: Berechnung des Stickstoffdüngedarfs nach der Bilanzmethode,
Standort Hohenzethen**

Fruchtfolge	Ertrag	N-Abfuhr	Sickerung	tolerierbare N-Auswaschung	N-Düngung Abfuhr + Toleranzwert	Verteilung*
	dt/ha	kg/ha	mm/a	kg/ha	kg/ha	kg/ha
konventionell						
Zuckerrüben	550	100	200	22	122	160
Sommergerste	60	85	200	22	107	60
Kartoffeln	400	140	200	22	162	160
Winterroggen	70	105	200	22	127	140
Summe		430	800	88	518	520
konservierend						
Zuckerrüben	550	100	200	22	122	160
Sommergerste	60	85	200	22	107	60
Kartoffeln	400	140	200	22	162	170
Brache	0	0	140	0	0	0
Summe		325	740	66	391	390

Die Resultate in Abbildung 10 zeigen, dass bei einer Düngung nach der Bilanzmethode insbesondere in Ohlendorf deutlich niedrige Erträge erzielt wurden.

Auch in Hohenzethen waren die Erträge bei einer N-Düngung nach der Sollwert-Methode durchschnittlich besser. Auf den anderen fünf Standorten unterschieden sich die Relativerträge im Mittel der Versuchsjahre nur um 2 bis 3 %.

**Abb. 11: N-Düngesysteme und Ertrag: Ergebnisse der Bilanzmethode im Überblick
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)**



Eine N-Düngung nach der Bilanzmethode ist bei Eissalat mit starken Ertragsrückgängen verbunden, da im Vergleich zur Sollwertmethode nur etwa die Hälfte der Stickstoffdüngermenge zur

Verfügung steht.

Dies führt dazu, dass der 1. Satz noch ausreichend mit Stickstoff versorgt werden konnte, der zweite Satz jedoch nur noch unzureichend. Für den 3. Satz stand kein N-Dünger mehr zur Verfügung.

**Tab. 11: N-Düngesysteme und Ertrag: Ergebnisse der Bilanzmethode in Ohlendorf
(konventionelle Fruchtfolge)**

	mittlerer Relativertrag in % bei einer N-Düngung nach der Bilanzmethode (Sollwert = 100 %)		
	1995, 1998, 2001 3 Sätze Eissalat	1997, 2000 Wintergerste + 1 Satz Eissalat	1996, 1999, 2002 Hafer; Winterweizen
	58	102	98
	mittlere N-Düngergaben pro Jahr in kg N/ha		
Sollwert	347	298	138
Bilanzmethode	150	270	128

Relativertrag in % bei einer N-Düngung nach der Bilanzmethode (Sollwert = 100 %)				
	1995, 1999, 2003	1996, 2000, 2004	1997, 2001	1998, 2002
	Zuckerrübe	Braugerste	Kartoffel	Winterroggen
	102	84	96	96
N-Düngergaben pro Jahr in kg N/ha				
Sollwert	162	97	148	173
Bilanzmethode	160	78	165	140

**Tab. 12: N-Düngesysteme und Ertrag: Ergebnisse der Bilanzmethode in Hohenzethen
(konventionelle Fruchtfolge)**

In Hohenzethen konnten dagegen zu den Kulturen Braugerste und Winterroggen nur deutlich geringere N-Düngermengen als nach der Sollwertmethode verabreicht werden. Hier kommt es dann insbesondere bei der Braugerste zu stärkeren Ertragsrückgängen, die zu dem schlechteren Ergebnis der Bilanzmethode auf diesem Standort beitragen.

Tabelle 13 enthält den Vergleich der ausgebrachten N-Düngermengen für die anderen Standorte.

mittlere Düngermengen (kg/ha) im Versuchszeitraum 1995 - 2004							
	Ohlendorf	Liebenau	Hohenzethen	Schwüblingsen	Jühnde	Bostel	Rockstedt
Sollwert	256	136	142	129	187	131	146
Bilanzmethode	172	155	129	109	173	126	203

Tab. 13: N-Düngesysteme und Ertrag: Mittlere Düngermengen der Bilanzmethode im Versuchszeitraum, alle Standorte (konventionelle Fruchtfolge)

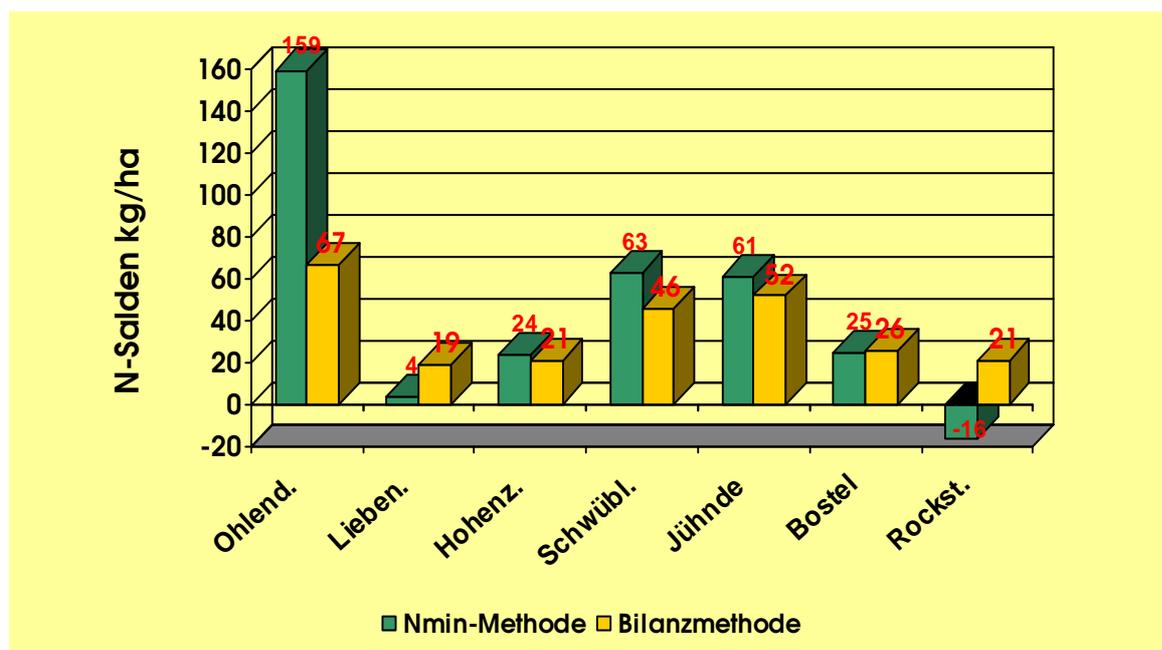
In Schwüblingsen wurde bei Braugerste und Frühkartoffeln Stickstoffdünger eingespart. Hier kommt es auch zu geringen Ertragseinbußen, die das Bild der Bilanzmethode verschlechtern. Auch in Bostel kommt es bei Braugerste zu Ertragseinbußen. Frühkartoffeln und Braugerste sind Kulturen mit kurzer Wachstumszeit und reagieren daher empfindlich auf eine Verringerung des N-Angebotes.

Auf den Versuchsfeldern Jühnde und Bostel waren die mittleren N-Düngermengen, berechnet auf der Basis der Bilanzmethode, im Vergleich zur Stickstoffdüngung nach Sollwert geringfügig niedriger.

In Liebenau und besonders in Rockstedt ergeben sich nach der Bilanzmethode deutlich höhere N-Düngeempfehlungen. Die Grenzen für eine derartige Vorgehensweise bei der N-Düngebedarfsermittlung werden damit aufgezeigt. Die Bemessung des N-Düngebedarfs auf Basis der N-Abfuhr mit der Silomaisernte führt zu stark überhöhten Düngeempfehlungen, da der Mais einen großen Teil seines N-Bedarfs aus der N-Nachlieferung des Bodens abdeckt. Die Sollwerte für die Stickstoffdüngung, die aus den Ergebnissen von Feldversuchen abgeleitet werden, berücksichtigen diesen Sachverhalt.

Die Auswirkungen der Düngung nach der Bilanzmethode auf die N-Salden verdeutlicht die folgende Abbildung 12.

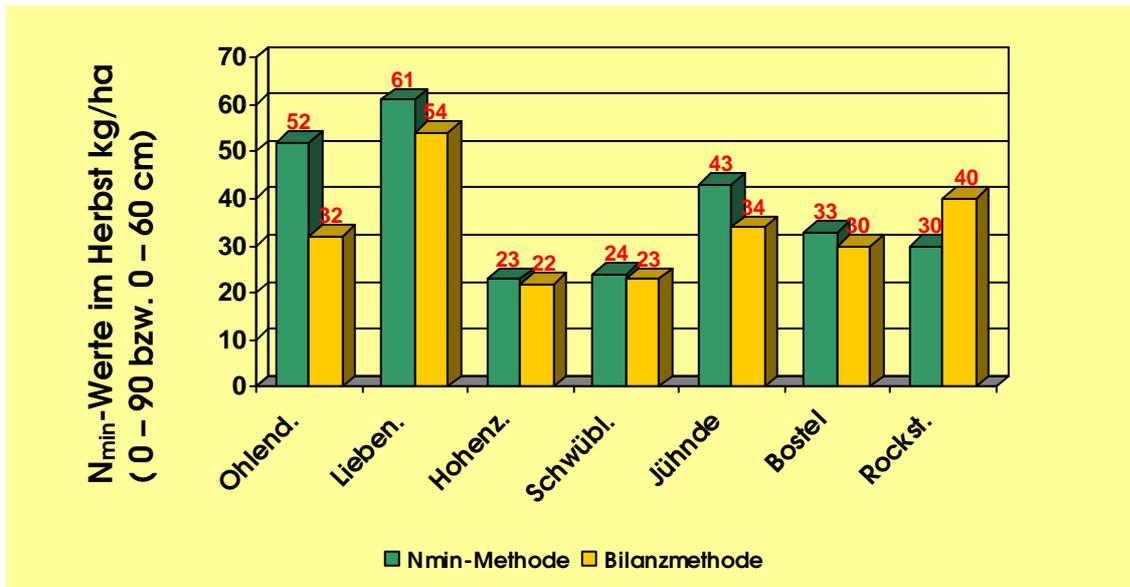
Abb. 12: N-Düngesysteme und N-Saldo: Ergebnisse der Bilanzmethode im Überblick !
(Mittel 1995 –2004; konventionelle Fruchtfolge)



Auf den Flächen Ohlendorf, Hohenzethen und Schwüblingsen liegen die N-Salden bei den bereits beschriebenen geringeren Erträgen im Vergleich zur N-Düngung nach Sollwert entsprechend niedriger. Dies gilt auch für den Standort Jühnde bei annähernd gleichen Ertragsergebnissen. In Bostel unterscheiden sich die mittleren N-Salden der beiden N-Düngesysteme nur unwesentlich. Für Liebenau und insbesondere Rockstedt errechnen sich wegen der überhöhten N-Düngung zu Silomais auch höhere N-Salden bei einer N-Düngung nach der Bilanzmethode.

Bei der Betrachtung der Herbst-Nmin-Werte ergeben sich, abgesehen von Ohlendorf, auch keine deutlichen Vorteile durch eine N-Düngung nach dem Bilanzsatz im Vergleich zur N-Düngung, die sich an den Nmin-Werten des Bodens im Frühjahr und den empfohlenen Sollwerten orientiert (Abb. 13).

Abb. 13: N-Düngesysteme und Nmin-Werte im Herbst: Ergebnisse der Bilanzmethode im Überblick ! (Mittel 1995 –2000; konventionelle Fruchtfolge)



Nur in Ohlendorf mit deutlichen geringeren N-Düngermengen und den damit verbundenen Ertragsverlusten werden in der Variante „Bilanzmethode“ im Herbst niedrigere Nmin-Werte gemessen. In Liebenau sind die Vorteile dieses Düngesystems sehr gering.

5.3 Einfluss verschiedener Fruchtfolgen

In den nachfolgenden Abschnitten wird die Auswirkung unterschiedlicher Fruchtfolgen auf folgende Größen beschrieben:

1. N_{\min} -Werte im Frühjahr
2. N-Düngeraufwand
3. Erträge
4. Stickstoffsalden
5. N_{\min} -Werte im Herbst

Eine ausführliche Beschreibung der Fruchtfolgen ist dem Kapitel 4.1 zu entnehmen.

5.3.1 N_{\min} -Werte im Frühjahr

Bei den „nitratkonservierenden Fruchtfolgen“ war das Hauptziel eine stärkere Begrünung mit Zwischenfrüchten und/oder Untersaaten über Herbst und Winter. Damit sollte der in diesem Zeitraum auswaschungsgefährdete Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen, also konserviert werden, und in der darauf folgenden Vegetation den Pflanzen als Gründüngung wieder zugeführt werden. Dafür muss der im Aufwuchs enthaltene Stickstoff erst wieder zu Ammonium- und Nitrat-Stickstoff mineralisiert werden. Dies bedeutet, dass unter günstigen Bedingungen auch über Herbst und Winter in der nitratkonservierenden Fruchtfolge schon mehr Stickstoff freigesetzt wird und dies auch in den N_{\min} -Werten im Boden im Frühjahr erkennbar ist. Diesen Idealfall spiegelt Abbildung 14 wider.

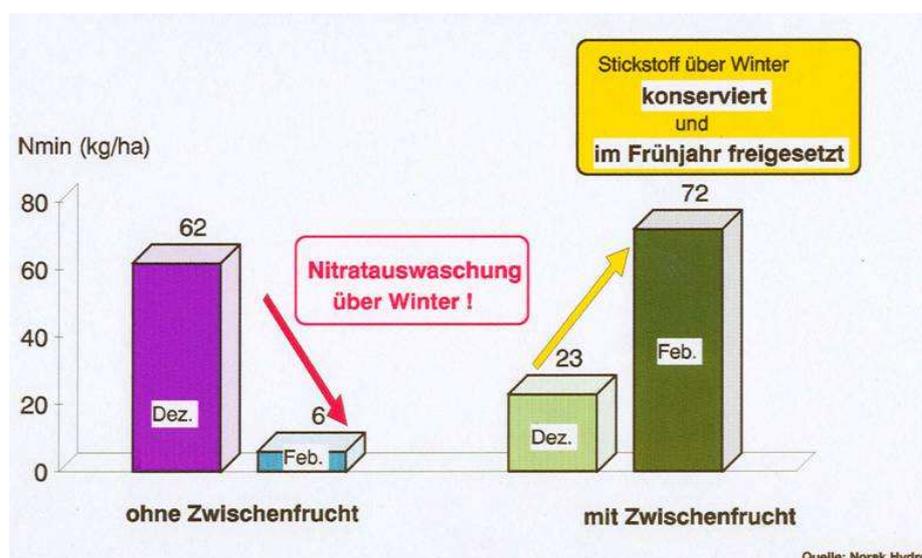


Abb. 14: Mit Zwischenfrüchten Nitrat konservieren

Die Ergebnisse von den Versuchsfeldern enthält Abbildung 15. Nennenswerte Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen sind bisher jedoch nicht zu erkennen.

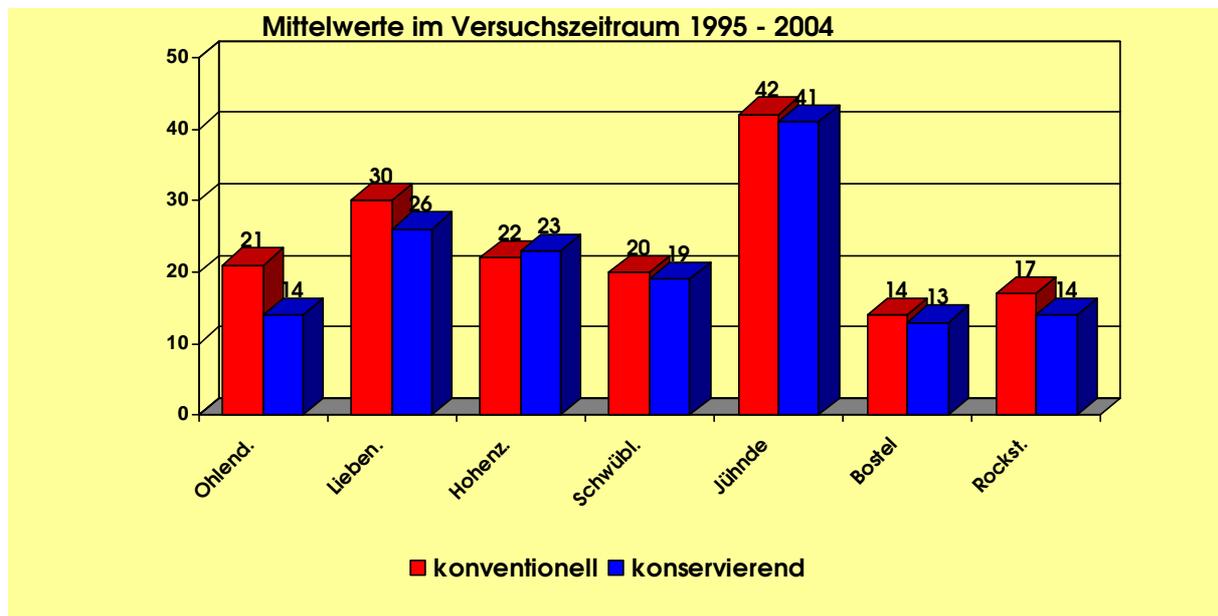


Abb. 15: Fruchtfolgen und Nmin-Werte im Frühjahr:

5.3.2 N-Düngeraufwand

Bei den konservierenden Fruchtfolgen wurde im Frühjahr die Zwischenfrucht bzw. die Untersaat als Gründüngung eingearbeitet. Die daraus zu erwartende Stickstoffnachlieferung wurde durch ein Absenken der jeweiligen N-Sollwerte berücksichtigt. Die N-Düngung lag um 20 bis 30 kg/ha niedriger. Zugunsten der Zwischenfrucht wurden teilweise andere Früchte, wie z.B. in Ohlendorf der dritte Satz Eissalat, aus der Fruchtfolge herausgenommen. Dies führte zu einer zusätzlichen Senkung des Düngeraufwandes.

Neben der Gründüngung hatte aber auch die Substitution bestimmter Fruchtfolgeglieder durch Früchte mit einem geringeren N-Düngebedarf eine Senkung des N-Düngereinsatzes zur Folge. So geschehen z.B. Jühnde, wo Winterraps durch Winterroggen ersetzt wurde. Abbildung 16 zeigt die mittleren N-Düngermengen der beiden Fruchtfolgen auf den sieben Versuchsfeldern.

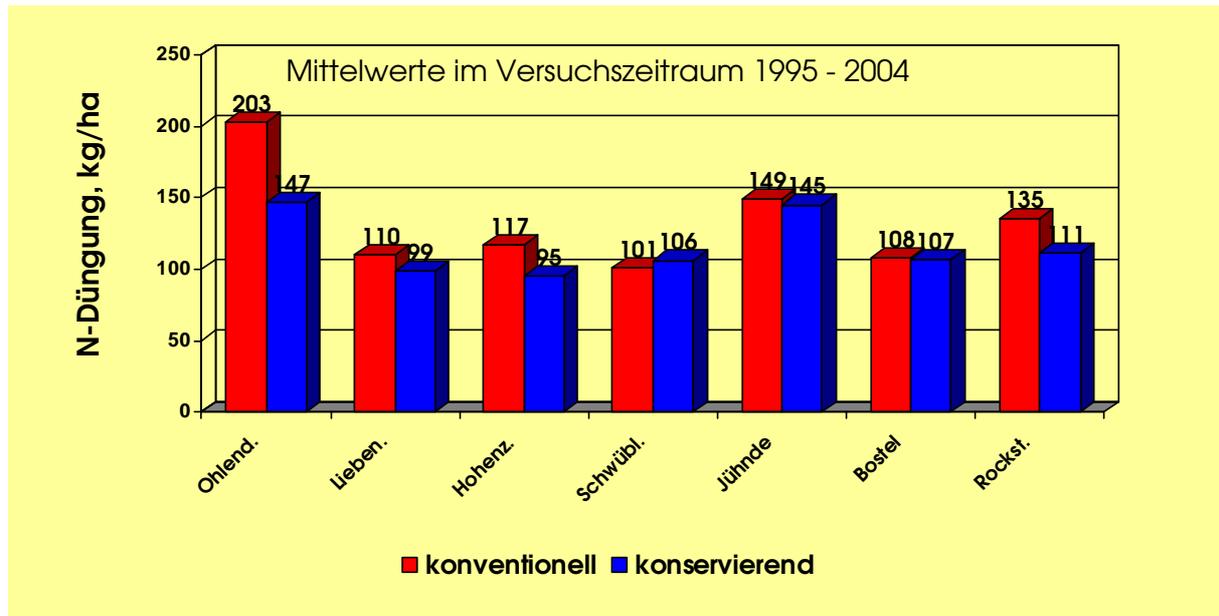


Abb. 16: Fruchtfolgen und N-Düngung

Die stärksten Unterschiede ergeben sich in Ohlendorf, weil auf den Anbau des dritten Salatsatzes verzichtet wurde. In Liebenau, Hohenzethen und Rockstedt liegt der N-Düngeraufwand in der nitratkonservierenden Fruchtfolge um 10 bis 25 kg/ha niedriger. Ein Hohenzethen ist dies durch die ungedüngte Brache zu erklären, in Liebenau und Rockstedt durch die N-Rücklieferung aus den eingearbeiteten Untersaaten, die nicht zusätzlich mit Stickstoff gedüngt wurden.

Dagegen erhielten die in den Versuchen angebauten Zwischenfrüchte häufig eine N-Düngung in Höhe von 30 bis 40 kg/ha, um eine ausreichende Jugendentwicklung zu gewährleisten.

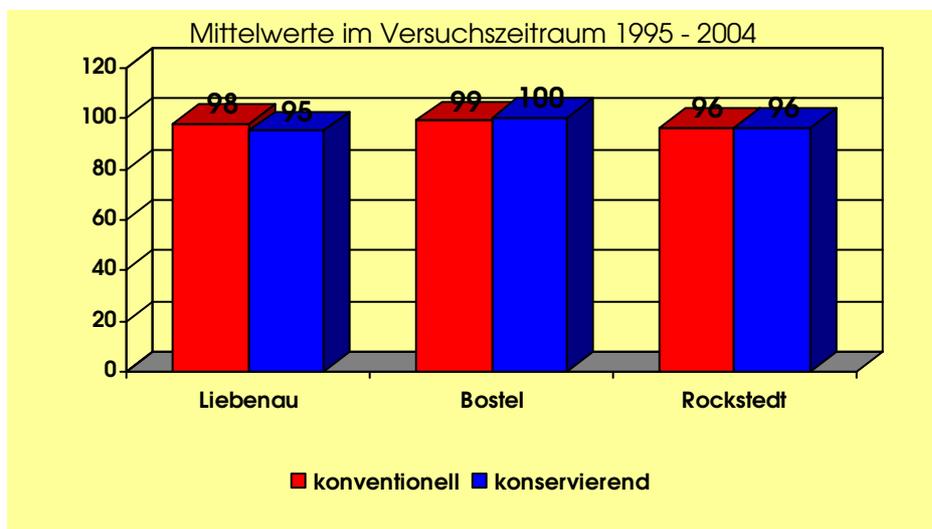
Diese Düngermengen wurden bei der Berechnung der Gesamtmenge berücksichtigt. So kommt es, dass sich beispielsweise die Gesamtdüngermengen in Schwüblingsen und Bostel nicht wesentlich unterscheiden. In Schwüblingsen wurden die Buschbohnen, die nicht mit Stickstoff gedüngt wurden, aus der Fruchtfolge genommen und durch Ölrettich, der zumindest in einem Jahr mit 30 kg N/ha gedüngt wurde, ersetzt.

5.3.3 Erträge

Ein Vergleich der Naturalerträge zwischen beiden Fruchtfolgen ist nur dann möglich, wenn die gleichen Früchte angebaut wurden.

Die Auswirkung auf die Relativerträge wird in Abbildung 17 für die Standorte Liebenau (nur Silomais), Bostel und Rockstedt dargestellt, da auf diesen Flächen in beiden Fruchtfolgen gleiche Früchte und auch in starkem Maße Zwischenfrüchte und Untersaaten angebaut wurden. Dargestellt sind die mittleren Relativerträge der beiden Fruchtfolgen im Versuchszeitraum.

Abb. 17: Fruchtfolgen und Erträge



Der Ertrag der „Sollwert-Variante“ in der konventionellen Fruchtfolge ist dabei 100 % gesetzt. Man erkennt, dass sich die Erträge trotz reduzierter Stick-

stoffdüngung nicht unterscheiden.

Die herabgesetzte N-Düngung in der konservierenden Fruchtfolge war also richtig.

5.3.4 N-Salden

Die Ergebnisse in Abbildung 18 zeigen die mittleren N-Salden der beiden Fruchtfolgen für den Zeitraum 1995 bis 2004 für alle Standorte. Dargestellt ist der Mittelwert aller Düngungsvarianten.

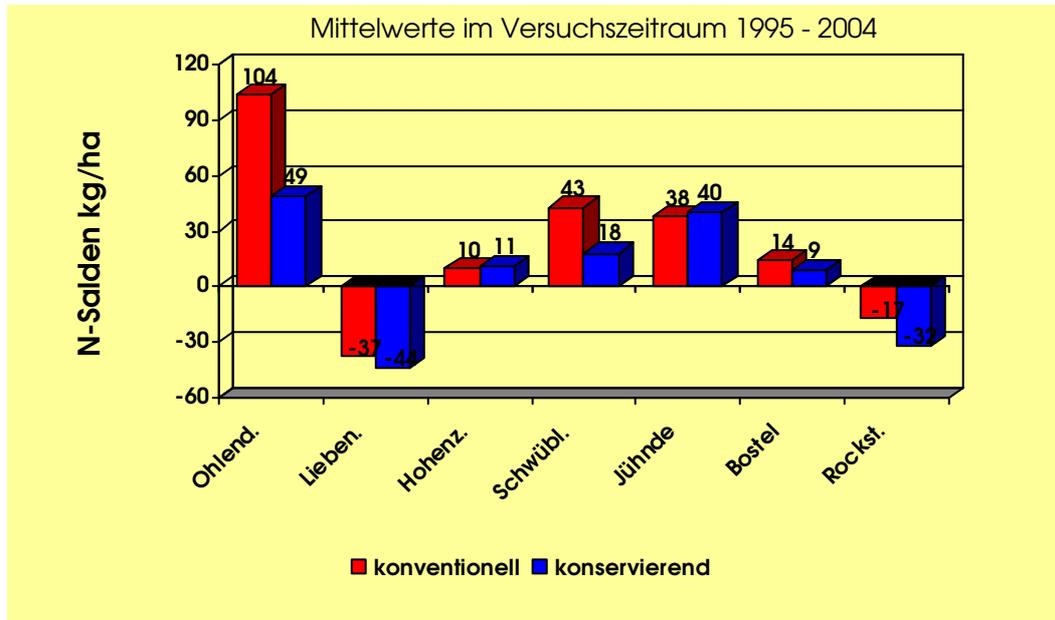


Abb. 18: Fruchtfolgen und N-Salden

Für Hohenzethen errechnen sich keine Unterschiede, da die Brache zwar nicht gedüngt, aber auch kein Stickstoff abgefahren wurde. In den restlichen Versuchsjahren unterschieden sich Düngeraufwand und Erträge zwischen den Fruchtfolgen nur unwesentlich. Auch in Jühnde sind deshalb kaum Differenzen sichtbar. In Bostel und Liebenau sind die N-Salden in der nitratkonservierenden Fruchtfolge geringfügig niedriger.

Deutlich niedrige Werte errechnen sich für Schwüblingsen, Rockstedt und nicht zuletzt Ohlendorf. Die Gründe für Rockstedt und Ohlendorf wurden bereits ausgeführt. In Ohlendorf entfiel der Anbau des dritten Salatsatzes und in Rockstedt kam es bei reduzierter N-Düngung in der konservierenden Fruchtfolge trotzdem zu den gleichen Erträgen wie in der konventionellen Variante. Folglich waren die N-Salden auch niedriger.

In Schwüblingsen geht der N-Überschuss deutlich zurück, weil die Buschbohne aus der Fruchtfolge genommen wurde und damit auch der N-Gewinn durch die Knöllchenbakterien.

5.3.5 N_{min}-Werte im Herbst

Ein weiterer Parameter, der für die Beurteilung der auswaschungsgefährdeten Nitratmengen in beiden Fruchtfolgesystemen herangezogen wurde, ist der üblicherweise im Herbst zu ermittelnde N_{min}-Restwert im Boden.

Die Mittelwerte von allen Düngungsvarianten für den Versuchszeitraum 1995 bis 2004 sind in Abbildung 19 dargestellt.

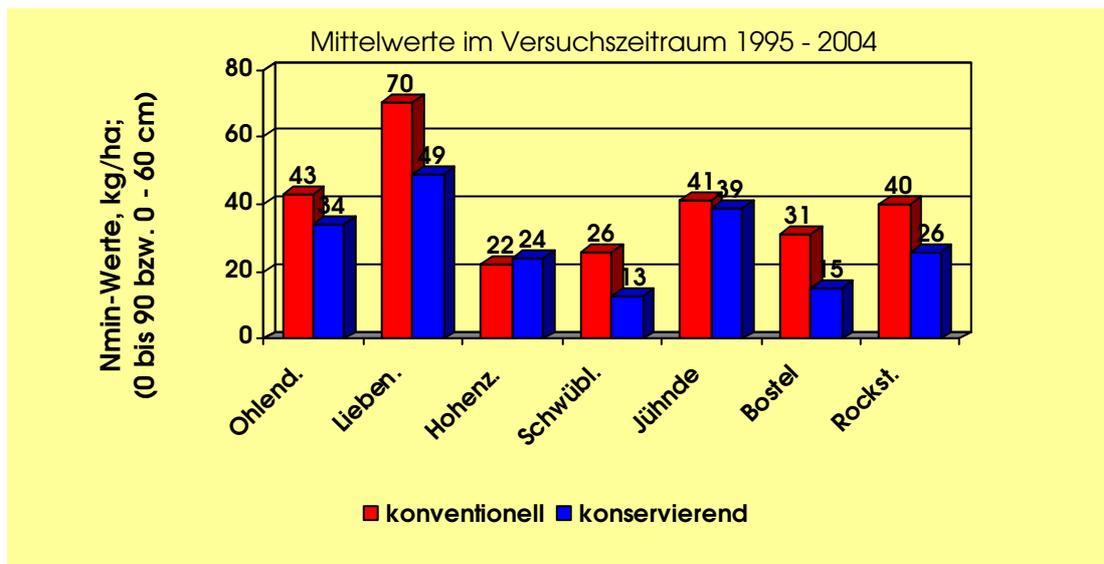


Abb. 19: Fruchtfolgen und N_{min}-Werte im Herbst

Außer in Hohenzethen liegen die mittleren N_{min}-Restwerte im Herbst in der konservierenden Fruchtfolge niedriger. Dies wird besonders deutlich bei den Versuchsflächen, auf denen intensiv mit Grünroggen (Ohlendorf), Untersaaten (Liebenau, Bostel und Rockstedt) sowie Zwischenfrüchten (Liebenau, Schwüblingsen und Bostel) über Herbst und Winter auswaschungsgefährdetes Nitrat konserviert wurde.

In Liebenau wurde zu Versuchsbeginn eine Teilfläche in extensives Grünland umgewandelt. Durch diese Maßnahme wurden im Herbst konstant niedrige N_{min}-Werte unter 10 kg N/ha in 0 bis 90 cm Bodentiefe erreicht.

Insgesamt bewirken die konservierenden Maßnahmen eine Abnahme der auswaschungsgefährdeten Nitratmengen im Boden. Dies belegen die Ergebnisse der Tiefenbohrungen, die in den Herbstmonaten der Jahre 2002 bzw. 2003 durchgeführt wurden.

Aber auch unter dem Wurzelbereich konnten durch die Fruchtfolgeumstellungen die Nitratgehalte reduziert werden, in Ohlendorf und Liebenau sehr deutlich.

Abb. 20: Nitratmengen in verschiedenen Bodentiefen, Ohlendorf (31.10. und 01.11.2002; Mittelwerte aus 4 Wiederholungen)

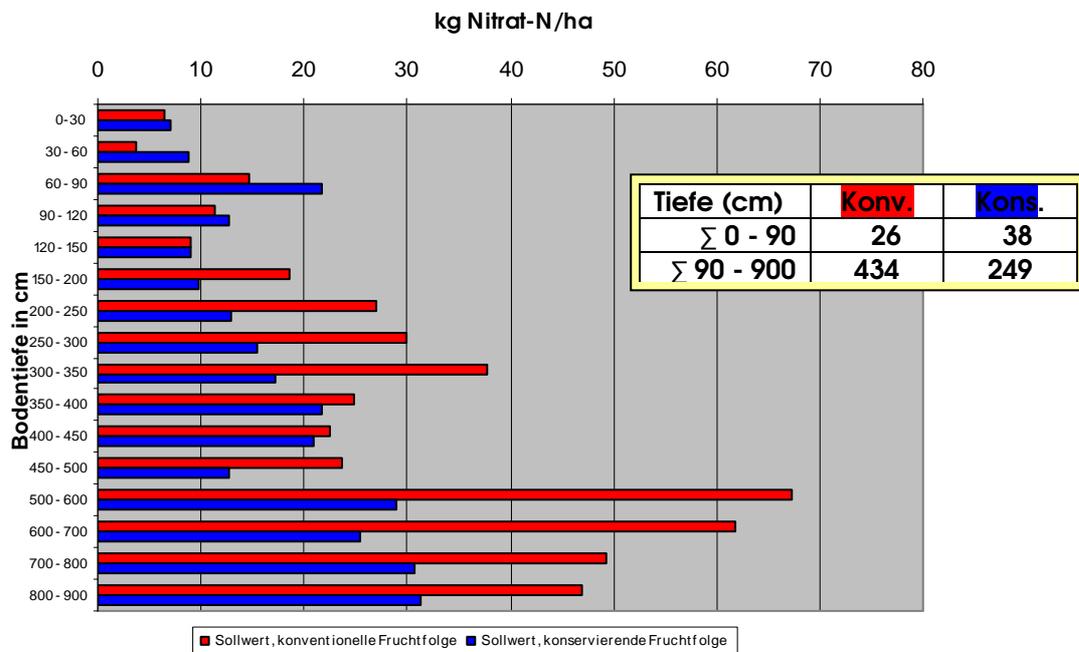


Abb. 21: Nitratmengen in verschiedenen Bodentiefen, Liebenau (31.10. und 01.11.2002; Mittelwerte aus 4 Wiederholungen)

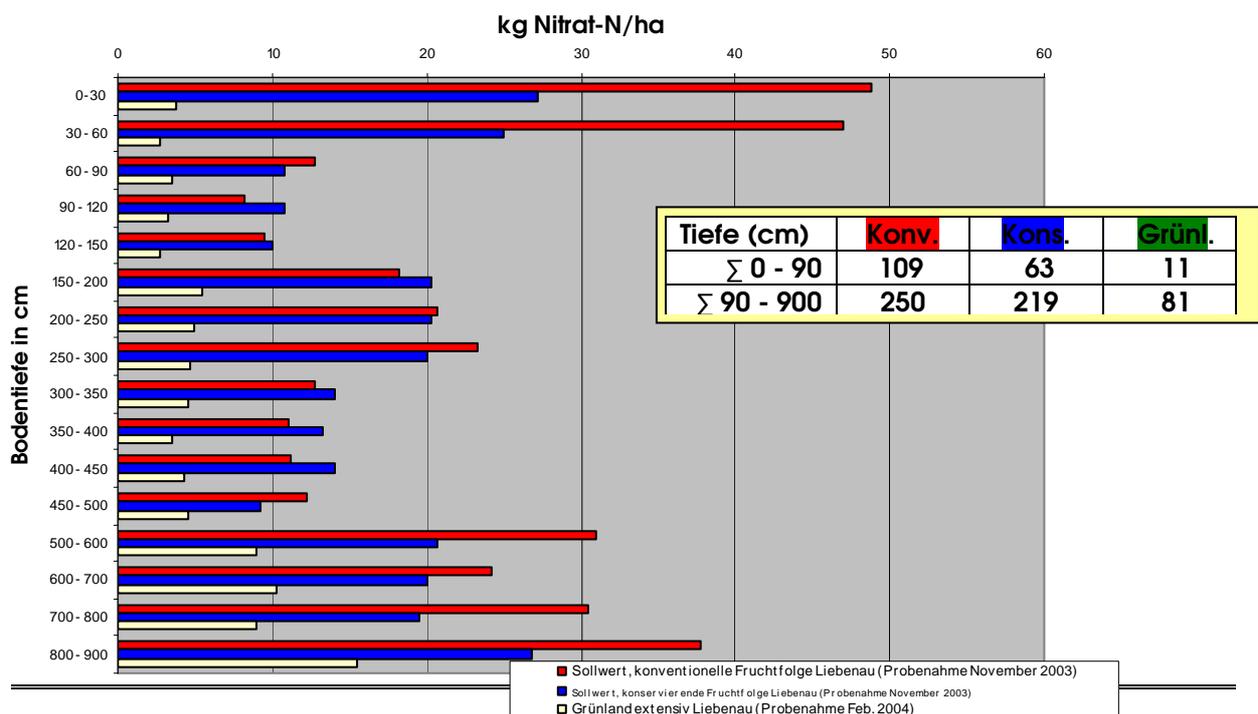


Abb. 22: Nitratmengen in verschiedenen Bodentiefen, Bostel (29.10. 2002; Mittelwerte aus 4 Wiederholungen)

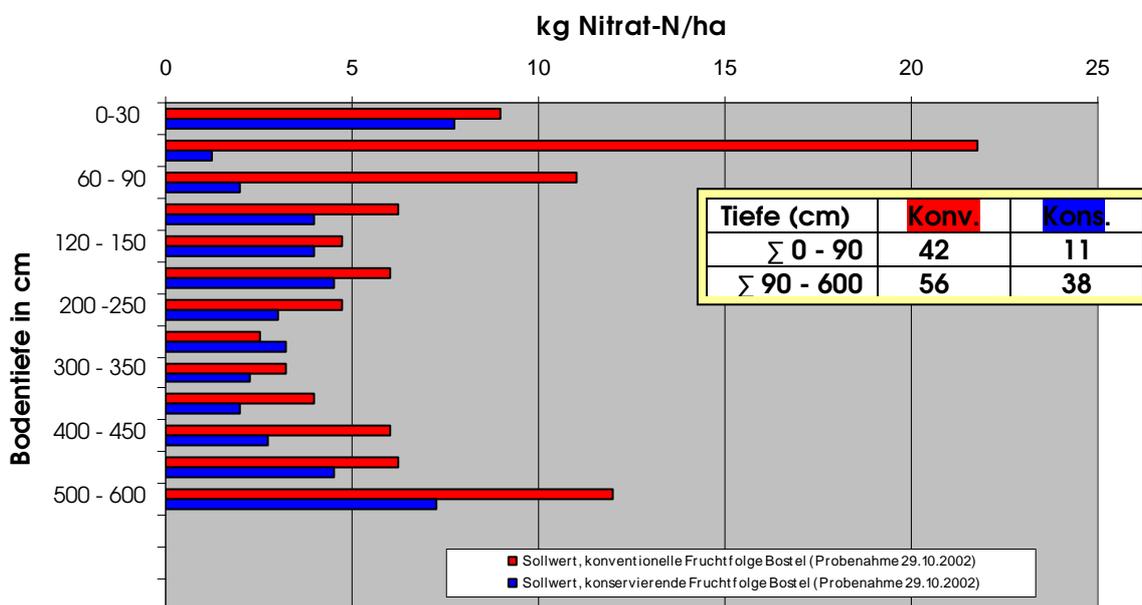
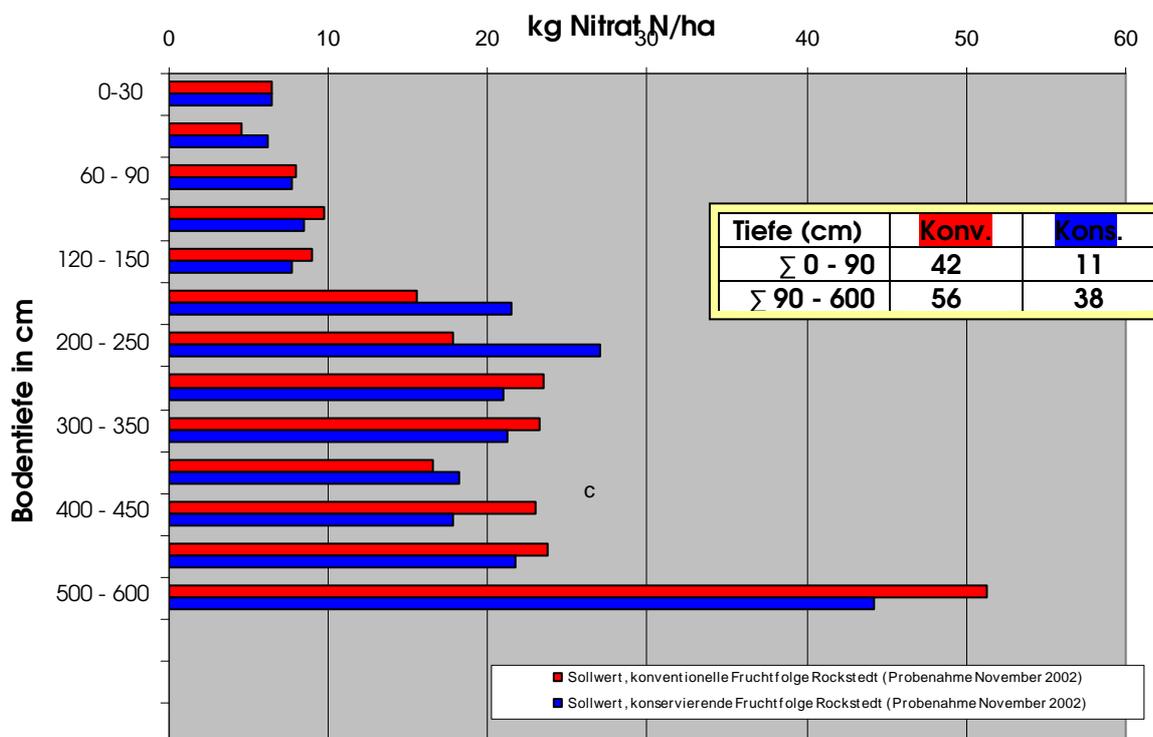


Abb. 23: Nitratmengen in verschiedenen Bodentiefen, Rockstedt (Nov. 2002; Mittelwerte aus 4 Wiederholungen)



Die zusätzlichen Kosten dieser Fruchtfolgeumstellungen als pflanzenbauliche Maßnahmen werden im folgenden Kap. 6.3.6 dargestellt.

6. Fazit

Auf der Basis der bis einschließlich der Ernte 2004 vorliegenden Versuchsergebnisse lassen sich in diesem Bericht folgende vorläufige Aussagen treffen:

Eine Reduzierung der Düngermengen und bzw. die Umstellung der Düngesysteme beeinflusst die auswaschungsgefährdeten Nitratmengen im Boden weniger als eine Änderung der Fruchtfolgen.

Die Fruchtfolgeumstellungen auf den betrachteten Standorten haben bestätigt, dass eine möglichst lange Bodenbedeckung während der Fruchtfolge durch die entsprechenden pflanzenbaulichen Maßnahmen (Zwischenfrüchte, Untersaaten u. a), tendenziell zu einer Reduzierung der N_{\min} -Restwerte im Herbst führen. Bei der weiteren Versuchsplanung und der Beratung sollte deshalb verstärkt auf Begrünungsmaßnahmen gesetzt werden. Bei der Düngung ist auf eine bedarfsgerechte N-Düngung hinzuwirken. Suboptimale N-Düngungsstrategien und verschiedene N-Düngungssysteme sollten nicht weiter geprüft werden.