

VERSUCHSBERICHT

Ertrag, Ertragskomponenten, Qualitätseigenschaften, Rentabilität, N-Saldo und N-Ausnutzung bei steigender N-Düngung bei den wichtigsten Ackerfrüchten

- Ergebnisse hessischer Feldversuche seit 1998 -



Herausgeber
Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
Kölnische Straße 48-50
34117 Kassel
Tel. 0561 7299-0

Autor
Dr. Johannes Heyn
Tel.: 0561 9888 440
Email: heynj@llh.hessen.de

Fachgebiet Pflanzenproduktion, April 2006

Einleitung

Die Stickstoffdüngung ist eines der wirksamsten Instrumente in der Hand des Landwirtes zur Beeinflussung der Wachstums- und Ertragsentwicklung. Dabei kommt der Frage nach der richtigen Mengenbemessung eindeutig die höchste Priorität zu. Fragen nach der zeitlichen oder räumlichen Platzierung oder der günstigsten Düngerform sind nicht unwichtig, aber zweitrangig. Obwohl in fast jedem Jahr wieder frühzeitig lagernde Getreidebestände auf den Feldern zu sehen sind, läßt sich sagen, dass die Landwirte bei der Festlegung der richtigen N-Düngungshöhe heute sicherer geworden sind als vor einigen Jahren. Dies ist zum einen den inzwischen entwickelten methodischen und technischen Hilfen zu verdanken (z.B. N_{\min} -Methode, Düngefenster, N-Tester), zum anderen auch den in Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben jetzt breit praktizierten Verfahren der Düngebedarfsermittlung und der Nährstoffbilanzierung. Nicht zuletzt sollen aber auch die Erkenntnisse aus aktuellen Feldversuchen die Landwirte vor dem Hintergrund ihrer eigenen standörtlichen Erfahrungen zu einem ständigen Überprüfen ihrer Düngestrategien veranlassen. Aus gutem Grund verlangt die Düngeverordnung "die Ergebnisse regionaler Feldversuche heranzuziehen" (§3 (2) DüV).

Versuche und Auswertungsmethodik

Nachfolgend wird über Ergebnisse von Feldversuchsserien der Hessischen Agrarverwaltung zu Wi-Weizen, Wi-Gerste, Wi-Roggen, Kö-Raps und Zu-Rübe aus den letzten Jahren bis einschließlich des Versuchsjahres 2005 berichtet. Der Umfang der Versuchsserien und die Versuchsjahre sind aus den Abbildungen ersichtlich. Als Versuchsfrage wurde die Wirkung steigender mineralischer N-Düngung (mit KAS) auf den Ertrag (Korn, Rüben bzw. bereinigter Zuckerertrag), die Rentabilität der Düngung, die Höhe der N-Abfuhr sowie auf die wichtigsten Qualitätseigenschaften und die Ertragsstrukturkomponenten untersucht. Ergänzend wurde auch die Ausnutzung (= Wiederfindung) des verabreichten Dünger-N berechnet. Dazu wurde der Stroh- bzw. Blattertrag anhand von üblicherweise in Hessen verwendeten tabellarischen Annahmen berechnet.

Bezüglich Bodeneigenschaften, Sortenwahl, Fruchtfolge und Bewirtschaftung wurden keine speziellen, über die Eignungskriterien einer Versuchsfläche hinausgehenden Anforderungen gestellt. Sie sollten die Breite der Anbauverhältnisse in der Praxis der jeweiligen Kultur widerspiegeln. Die Erntereste der Vorfrüchte verblieben auf den Feldern, eine zusätzliche Düngung mit anderen organischen Düngern erfolgte nicht.

Zur Auswertung wurden für die wichtigsten Parameter düngungsabhängige Kurven nach dem Verfahren von von BOGUSLAWSKI und SCHNEIDER (1963-64) und dem PC-Programm von HORST und HEYN (1988) in der Version von KOWERT (2001) berechnet. Neben der Angabe der jeweiligen Optimalpunkte (Aufwand und Ertrag) erlaubt diese Art der Darstellung auch die Ableitung des Ertrages, oder jedes anderen berechneten Parameters, bei jeder beliebigen N-Düngungshöhe.

In den Abbildungen umfaßt die auf der x-Achse eingetragene N-Düngermenge die Summe aller Teilgaben, bei Getreide einschließlich der nicht variierten Spätgabe (60 kgN/ha bei Weizen und Gerste, 40 kgN/ha bei Roggen).

Der korrigierte Geldrohertrag (KGR) als der entscheidende Parameter zur Rentabilitätsbeurteilung einer einzelnen Produktionsmaßnahme wurde errechnet unter folgenden Annahmen:

- Produktpreis jährlich angepaßt, qualitätsabhängig
- Düngerkosten je kg N bis 2000 = 1,05 DM, 2001 = 1,30 DM, ab 2002 = 0,60 Euro
- Ausbringungskosten = 20 DM bzw. 10 Euro je Arbeitsgang
- Bei Getreide maximal 60 kgN/ha in einer Ausbringung, bei Raps 2 Gaben in gleicher Höhe, bei Zu-Rübe 2 Gaben im Verhältnis 3:2

Bei jeder Fruchtart sind in der ersten Abbildung die berechneten Kurven für den Naturalertrag (Getreide- bzw. Rapskorn sowie Rübenertrag und bereinigter Zuckerertrag) und für den korrigierten Geldrohertrag dargestellt. Zur weiteren Information ist der N_{\min} -Gehalt bei Vegetationsbeginn im Mittel der Serie eingetragen.

In der jeweils zweiten Abbildung wird die aus Erntemenge und N-Gehalt berechnete N-Abfuhr im Erntegut gezeigt, wobei ein Verbleib der Nebenernteprodukte Stroh und R benblatt auf dem Feld unterstellt wird. Aus der Differenz zur 1:1-Linie lässt sich der N-Saldo für jede beliebige N-Düngungshöhe ablesen. In die Abbildungen sind darüber hinaus die N-Salden eingezeichnet, die sich bei einer N-Düngung a) auf den höchsten Naturalertrag und b) auf die optimale Rentabilität ergeben.

Für die jeweils dritte Abbildung wurden zunächst Ertrag und N-Entzug von Nebenernteprodukten berechnet und zwar anhand der üblicherweise in Hessen verwendeten tabellarischen Vorgaben für Korn:Stroh-Verhältnisse und N-Gehalte (z.B. Leitfaden zur Umsetzung der D ngerverordnung in Hessen, 2004). Die Abbildungen zeigen die Kurven des N-Entzuges im Haupternteprodukt und des Gesamtentzuges in Haupt- und Nebenernteprodukt. Die N-Menge, die ohne jede mineralische Düngung durch die Gesamtpflanzen entzogen wird, wird als "Boden-N" bezeichnet und in gleicher Höhe linear für jeden Punkt der x-Achse unterstellt (= Differenzmethode). Aus dem Mehr-Entzug durch N-Düngung gegenüber dieser Linie ergibt sich die gezeigte Kurve der N-Ausnutzung des KAS. In dieser Linie ist durch Markierung der optimalen D ngungsh hen im Hinblick auf Naturalertrag und Rentabilität der "praxisrelevante Bereich" gekennzeichnet.

In den anschließenden Säulendiagrammen ist der Einfluß der N-Düngung auf die wichtigsten Qualitätseigenschaften sowie bei Getreide auch auf die Ertragskomponenten dargestellt.

Abschließend werden für jede Fruchtart noch einmal die N-d ngungsabh ngigen Änderungen der wichtigsten Ertrags- und Qualitätsmerkmale als Kurven gezeigt und zwar relativ zu dem Wert, der bei einer Düngung auf den höchsten Naturalertrag erreicht wird. Diese Abbildungen sollen dazu dienen, die Auswirkungen einer unterschiedlich hohen N-Düngung auf die einzelnen Ertrags- und Qualitätsparameter untereinander vergleichen zu können.

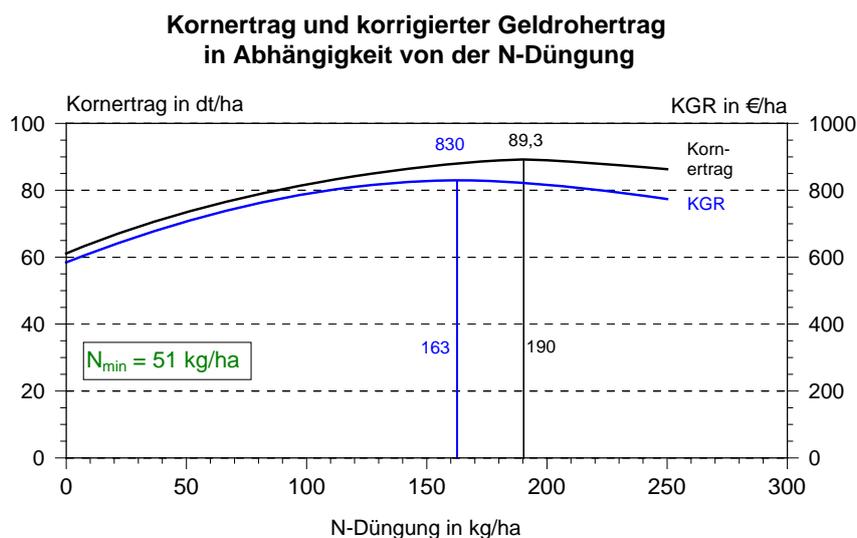
Ergebnisse der einzelnen Fruchtarten

Wi-Weizen:

Im Mittel einer Versuchsserie von 38 Versuchen mit Wi-Weizen stieg der Ertrag von ca. 60 dt/ha ausgehend auf maximal 89,3 dt/ha. Dieser H chstertrag wurde bei einer N-Düngung von 190 kg/ha erreicht. Eine N-Düngung von 163 kg/ha führte zum höchsten KGR.

Abb. 1:

38 Versuche mit Wi-Weizen 1998-05:



Im Mittel wurde ein N_{min} -Gehalt von 51 kg/ha gefunden. Die Kombination aus optimaler Düngungshöhe und N_{min} -Wert kann zur Ableitung von N-Sollwerten im Rahmen des hessischen SBA-Systems (=Stickstoff-Bedarfs-Analyse) genutzt werden. In diesem Fall ergibt sich eine

Summe von 241 bzw. 214 kgN/ha. Im hessischen SBA-System wird im Regelfall zu Wi-Weizen ein Sollwert für die Frühjahrsdüngung (1.+ 2. Gabe) von 160 kgN/ha empfohlen. Unter Hinzurechnung der Empfehlung für die Spätgabe von 60 kgN/ha wird eine Gesamt-Empfehlung von 220 kgN/ha erreicht, die sehr gut in diesem, in den Versuchen festgestellten Optimalbereich liegt (Tab.1).

Tab: 1:

Überprüfung der SBA-Empfehlung zu **Wi-Weizen**:

Laut Versuchsserie	zu KGR:	zu Korntrag:
	163 kgN/ha	190 kgN/ha
zuzüglich kgN _{min} /ha	51 kgN/ha	51 kgN/ha
= Summe	214 kgN/ha	241 kgN/ha

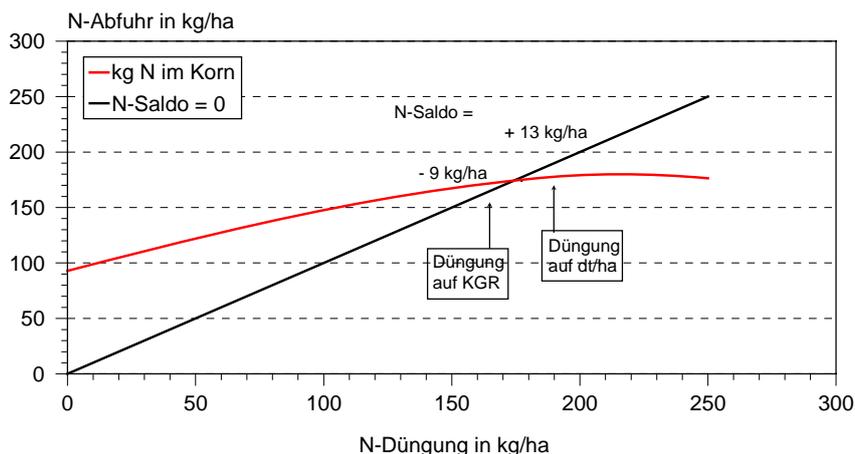
SBA-Empfehlung = S 120 + 40 + 60 = **220 kgN/ha**

Abb.2 zeigt die N-Abfuhr im Weizenkorn, die maximal in der Größenordnung von ca. 170 kg/ha liegt. Bei einer N-Düngung auf den höchsten Kornenertrag ergibt sich ein Saldo von +13 kg/ha, bei einer Düngung auf den höchsten KGR ein Saldo von -9 kgN/ha.

Abb. 2:

38 Versuche mit Wi-Weizen 1998-05:

N-Abfuhr im Korn und N-Bilanz in Abhängigkeit von der N-Düngung

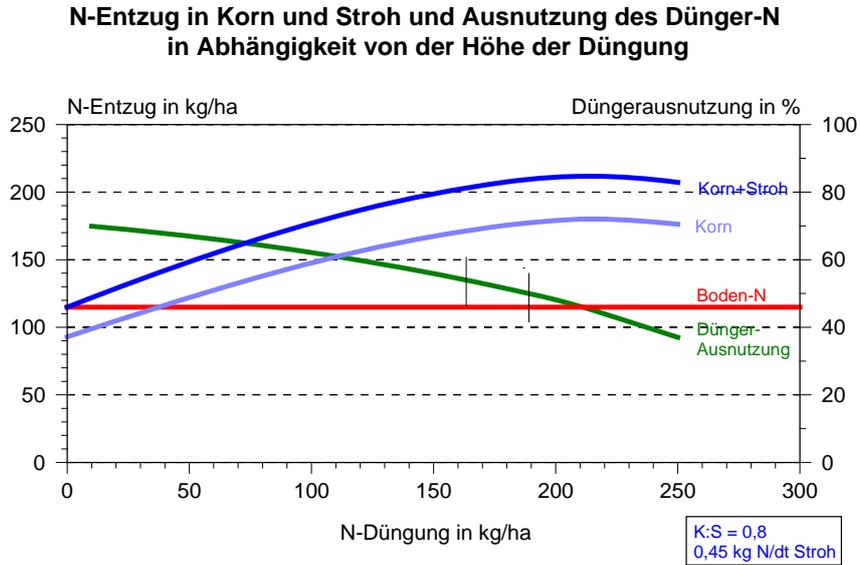


In Abb.3 sind die N-Entzugskurven für Korn und Korn+Stroh eingetragen. Im Höchstfall werden zwar ca. 215 kgN/ha von den Pflanzen entzogen. Allerdings liegt der Entzug bereits ohne jede mineralische N-Düngung bei ca. 115 kgN/ha. Die aus der Differenz zwischen "Boden-N" und Gesamt-Entzug berechnete N-Ausnutzung des mineralischen Dünger-N nimmt selbstverständlich mit zunehmendem Aufwand deutlich ab. In dem Bereich zwischen den in Abb.1 gezeigten

Düngungsoptima liegt sie bei ca. 50 %.

Abb.3:

38 Versuche mit Wi-Weizen 1998-05:

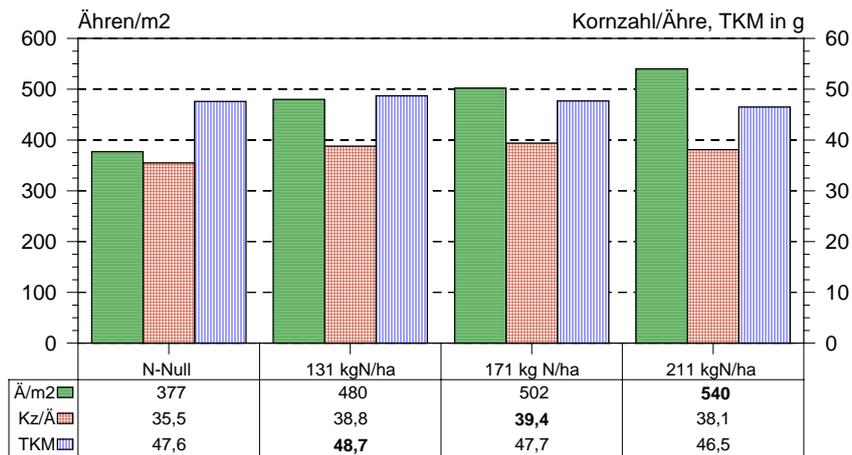


Die höhere N-Frühjahrsdüngung bewirkte in erster Linie eine Zunahme der Ährenzahl je Flächeneinheit (Abb.4). Die Kornzahl/Ähre nahm bis zur mittleren N-Stufe zu, während die Tausendkornmasse bereits in der niedrigen N-Stufe den Höchstwert erreichte. Die zeitlich vorlaufende Ausprägung des Merkmals "Ährenzahl" verhindert aufgrund des stärkeren Konkurrenzdruckes der Halme 2., 3. und höherer Ordnung eine weitere Steigerung bei den späteren Ertragskomponenten.

Abb. 4:

38 Versuche mit Wi-Weizen 1998-05:

Ertragskomponenten in Abhängigkeit von der N-Düngung



Die wichtigsten Qualitätseigenschaften sind in Abb.5 dargestellt. Mit der Erhöhung der N-Düngung stiegen die Werte bei Rohprotein und Sedimentationswert kontinuierlich, bei der Fallzahl bis zur mittleren N-Stufe an. (Aus Gründen der Darstellungstechnik mußten die Fallzahlangaben auf ein Zehntel verkleinert werden.) Umgekehrt nahm der Stärkegehalt schwach, aber eindeutig ab.

Abb. 5:

38 Versuche mit Wi-Weizen 1998-05:

Qualitätseigenschaften in Abhängigkeit von der N-Düngung

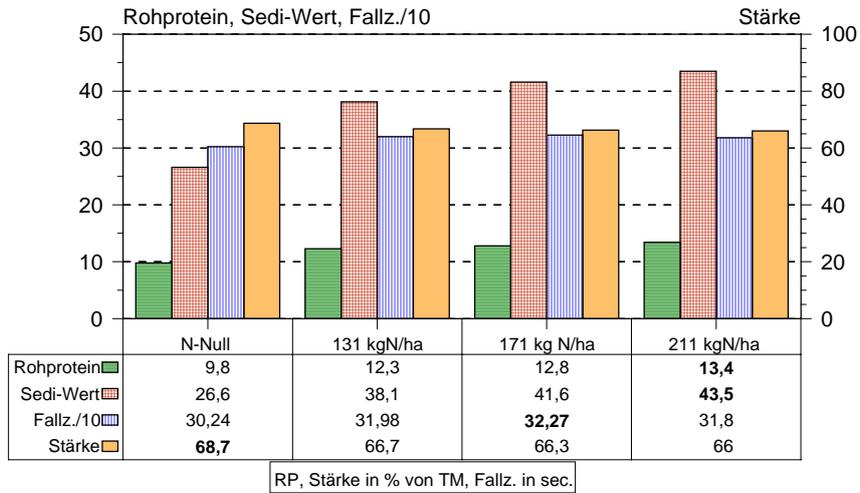
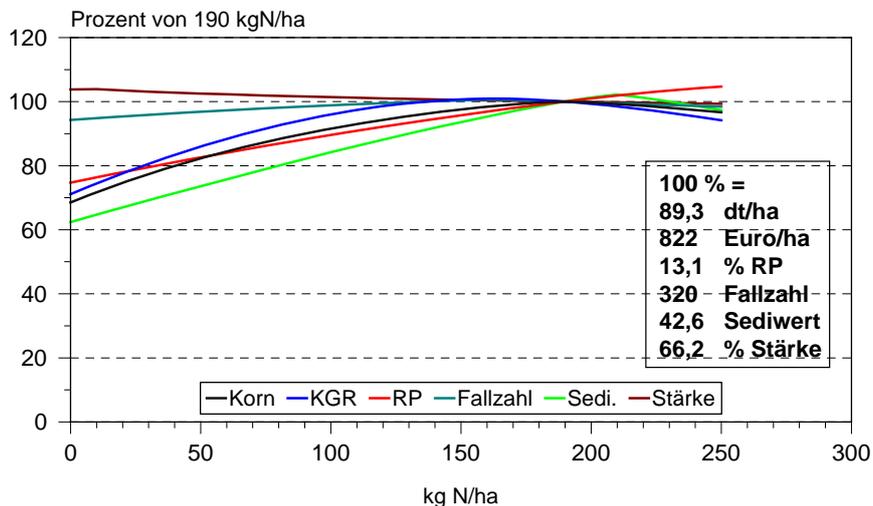


Abb.6 zeigt die Kurven der relativen Merkmalsänderungen bezogen auf eine Düngung von 190 kgN/ha. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren (z.B. JACOBS, 2006) verläuft die Linie für den Rohproteingehalt weitgehend linear, im Gegensatz zu den deutlich gekrümmten Kurvenverläufen bei Natural- und Geldrohertrag. Der Sedimentationswert sinkt bei niedriger Düngung am deutlichsten ab, während Fallzahl und Stärke am wenigsten beeinflusst werden, letztere in abnehmender Richtung.

Abb. 6:

38 Versuche mit Wi-Weizen 1998-05:

Relative Merkmalsänderungen in Abhängigkeit von der N-Düngung

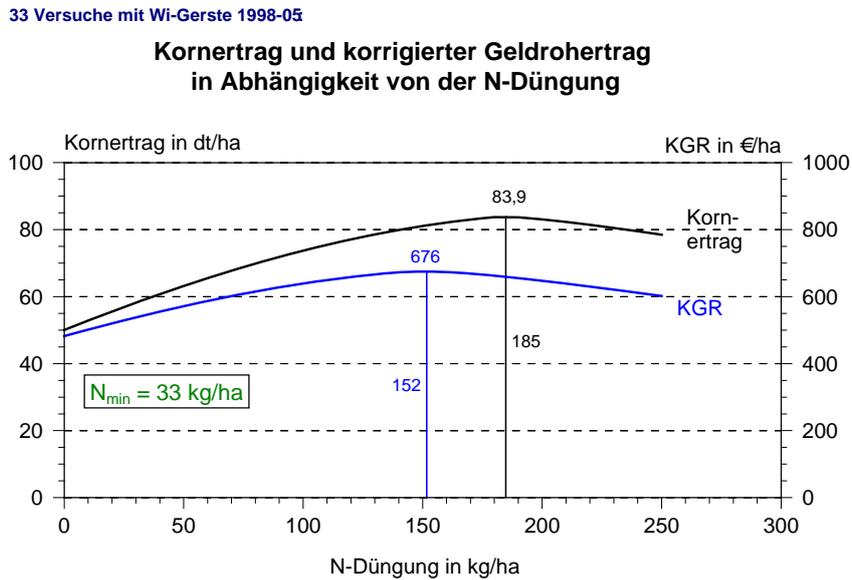


Wi-Gerste

Die Wi-Gerste erreichte im Serienmittel von 33 Versuchen den höchsten Kornertrag von 83,9 dt/ha bei einer Düngung von 185 kgN/ha, den höchsten KGR bei 152 kgN/ha (Abb.7). Unter Berücksichtigung des N_{min}-Gehaltes von 33 kg/ha errechnet sich eine gesamte N-Düngung im Optimalbereich von 185 bis 218 kg/ha. Im SBA-System wird ein Sollwert von 130 kgN/ha empfohlen, bei einem Ertragsniveau über 80 dt/ha liegt er bei 140 kg/ha. Unter Hinzunahme

von 60 kg N/ha zur Spätdüngung errechnet sich eine mittlere Düngung nach SBA-Empfehlung in Höhe von 200 kgN/ha. Auch dieser Wert liegt gut in der Mitte des oben definierten Optimalbereiches. (Tab.2).

Abb. 7:



Tab. 2:

Überprüfung der SBA-Empfehlung zu **Wi-Gerste**:

Laut Versuchsserie	zu KGR:	zu Korn-ertrag:
zuzüglich kgN _{min} /ha	152 kgN/ha	185 kgN/ha
= Summe	33 kgN/ha	33 kgN/ha
	185 kgN/ha	218 kgN/ha

SBA-Empfehlung = S 110 + 30 + 60 = **200 kgN/ha**
bei Ertrag > 80 dt/ha

Abb.8 ist zu entnehmen, daß die N-Abfuhr im Korn in keinem Falle die 150-kg/ha-Linie übersteigt. Der Saldo bleibt mit +36 kgN/ha bzw. +11 kgN/ha relativ deutlich im positiven Bereich.

Nach Abb.9 werden im Höchstfall ca. 175 kgN/ha durch Korn und Stroh entzogen. Die Boden-N-Linie liegt bei ca. 80 kg/ha, so dass sich im praxisrelevanten Bereich eine N-Ausnutzung zwischen 55 und 50 % ergibt.

Die Ertragsanalyse (Abb.10) ergab ein ähnliches Bild wie bei Weizen. Die Ährenzahl ließ sich bis zur höchsten N-Stufe anheben, die beiden anderen Ertragskomponenten erreichten bereits in der Stufe N1 ihr Maximum.

Abb. 8:

33 Versuche mit Wi-Gerste 1998-05:

N-Abfuhr im Korn und N-Bilanz in Abhängigkeit von der N-Düngung

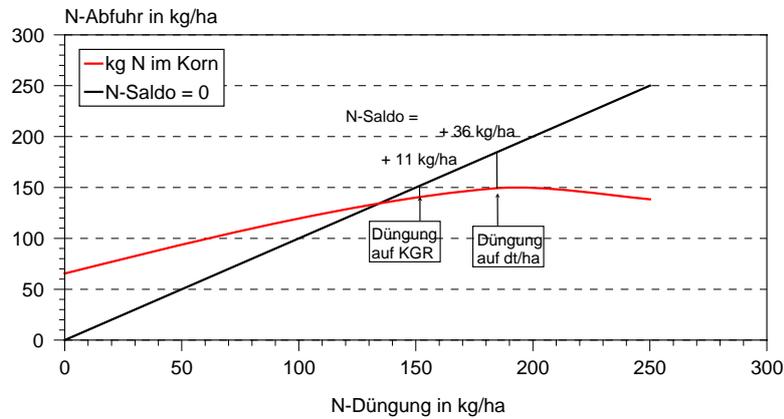


Abb. 9:

33 Versuche mit Wi-Gerste 1998-05:

N-Entzug in Korn und Stroh und Ausnutzung des Dünger-N in Abhängigkeit von der Höhe der Düngung

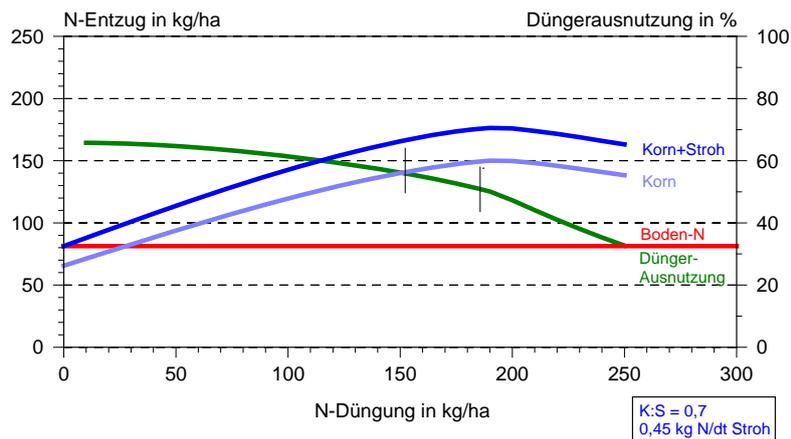
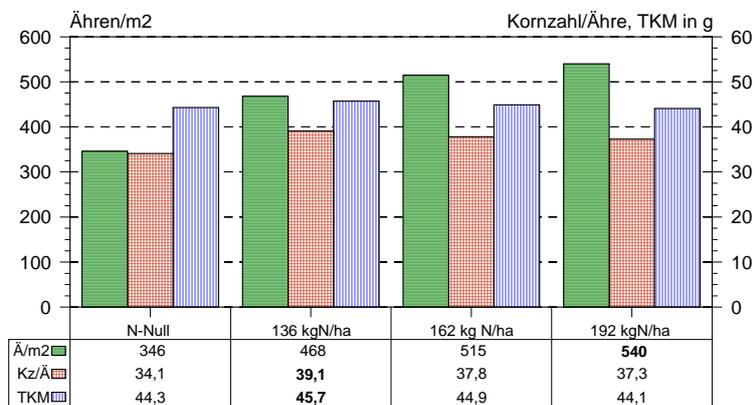


Abb. 10:

30/14 Versuche mit Wi-Gerste 1998-05:

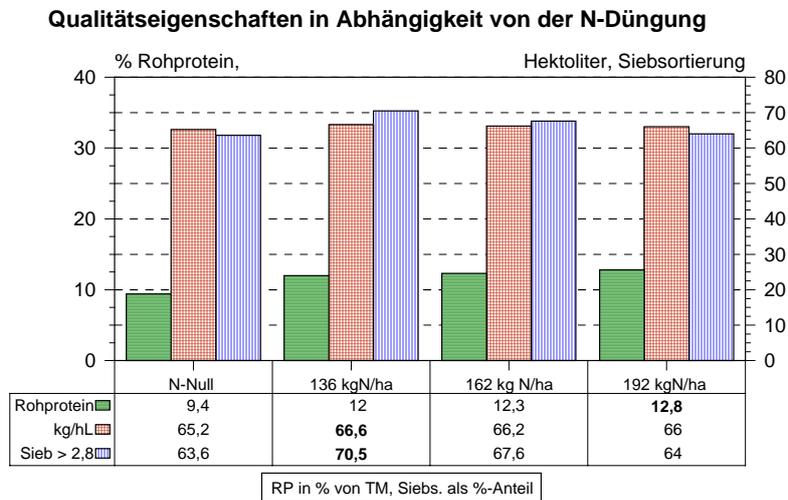
Ertragskomponenten in Abhängigkeit von der N-Düngung



Unter den in Abb.11 gezeigten Qualitätseigenschaften der Gerste ließ sich nur der Rohprotein-
gehalt durch die N-Düngung eindeutig steigern. Das Hektolitergewicht und der Anteil großer
Körner (Siebsortierung > 2,8 mm) nahmen nur bis zur niedrigen N--Stufe zu, danach wieder ab.

Abb. 11:

30/14 Versuche mit Wi-Gerste 1998-05:

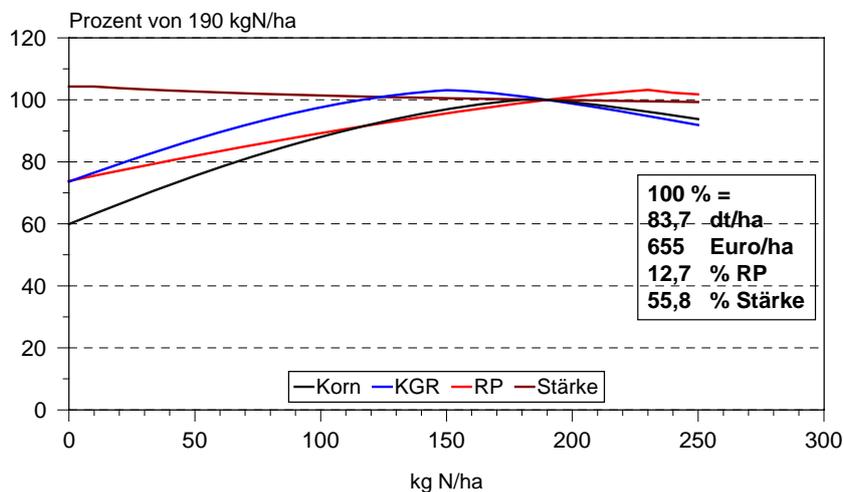


Aus Abb.12 mit den relativen Merkmalsänderungen ist ein weitgehend linearer Anstieg des
Rohproteingehaltes und eine ähnliche Abnahme des Stärkegehaltes zu erkennen wie bei Wi-
Weizen.

Abb. 12:

30 Versuche mit Wi-Gerste 1998-05:

Relative Merkmalsänderungen in Abhängigkeit von der N-Düngung



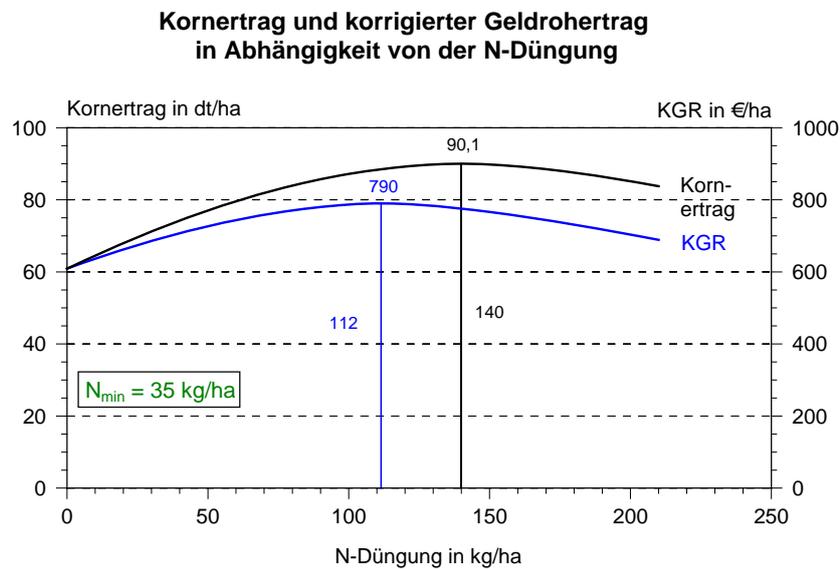
Wi-Roggen

Im Serienmittel lag das Kornertragsoptimum bei Roggen mit 90,1 dt/ha noch etwas höher als
bei Wi-Weizen und Wi-Gerste. Bemerkenswert dabei ist, daß zu dieser Ertragsleistung eine
deutlich niedrigere N-Düngung nötig war; 140 kgN/ha gegenüber 190 bei Weizen bzw. 185 bei
Gerste. Auch zum Erreichen des höchsten KGR war mit 112 kgN/ha deutlich weniger Dünger-N
erforderlich als bei den anderen beiden Wintergetreidearten (Abb.13). Unter Berücksichtigung
des mittleren N_{min}-Gehaltes von 35 kg/ha errechnen sich als Sollvorgaben für die gesamte N-

Düngung Werte von 147 kgN/ha im Hinblick auf den KGR und 175 kgN/ha im Hinblick auf den Kornерtrag. Im SBA-System werden 130 kgN/ha für Populationssorten und 140 kgN/ha für Hybridsorten zur Frühjahrsdüngung empfohlen (Tab.3). Wird die Spätdüngung von 40 kgN/ha einbezogen, so ergibt sich ein Wert von 180 kgN/ha für die gesamte Düngung bei den hier ausschließlich geprüften Hybridsorten. Diese Empfehlung liegt damit knapp über dem in den Versuchen ermittelten Optimalbereich.

Abb. 13:

29 Versuche mit Wi-Roggen 1998-05:



Tab. 3:

Überprüfung der SBA-Empfehlung zu **Wi-Roggen**:

Laut Versuchsserie	zu KGR:	zu Kornерtrag:
	112 kgN/ha	140 kgN/ha
zuzüglich kgN _{min} /ha	35 kgN/ha	35 kgN/ha
= Summe	147 kgN/ha	175 kgN/ha

SBA-Empfehlung = S 110 + 30 + 40 = **180 kgN/ha**
für Hybridsorten

Die N-Abfuhr im Korn (Abb.14) erreichte im Optimalbereich maximal ca. 130 kg/ha. Aufgrund der niedrigen Düngungsoptima ergaben sich Salden von +10 bzw. -13 kgN/ha, die etwa auf Höhe der Weizensalden liegen.

Nach Abb.15 betrug der maximale N-Entzug in Korn und Stroh ca. 170 kg/ha. Bereits knapp 110 kgN/ha nahm der Roggen ohne N-Düngung auf und im praxisrelevanten Bereich nur ca. 50 % der gedüngten N-Menge.

Die Beeinflussung der Ertragskomponenten verlief identisch wie bei Wi-Gerste (Abb.16). Mit der

Erhöhung der Frühjahrsdüngung (1.+2. N-Gabe) ging die Steigerung der Pflanzenzahl je Flächeneinheit einher. Der dadurch höhere Anteil an Halmen 2. und 3. Ordnung führte zur Verringerung der Kornzahlen je Ähre und der Tausendkorntmasse. Lediglich der Sprung von N-Null zur Stufe N1 brachte hier noch eine Erhöhung zustande.

Abb. 14:

29 Versuche mit Wi-Roggen 1998-05:

N-Abfuhr im Korn und N-Bilanz in Abhängigkeit von der N-Düngung

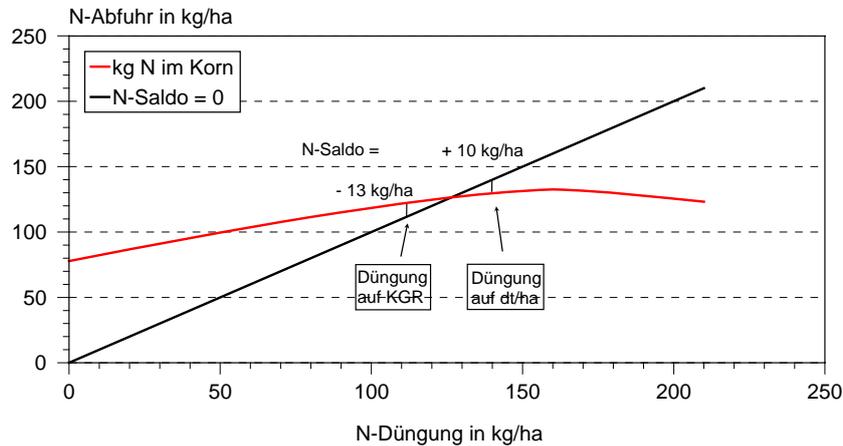
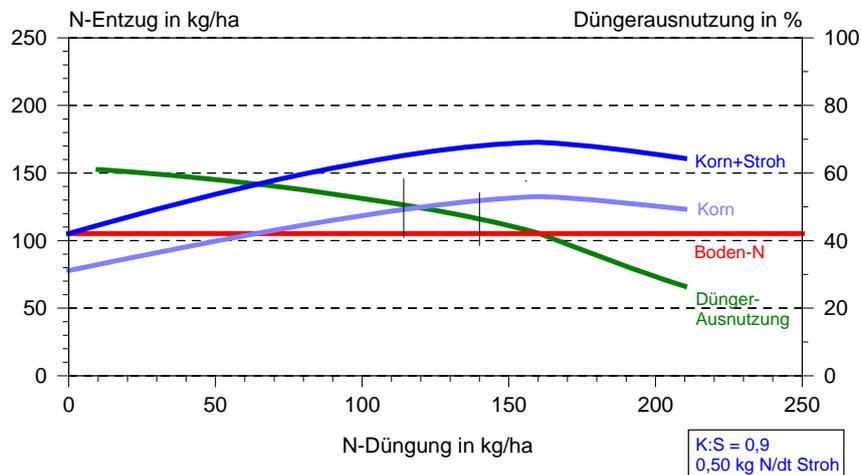


Abb. 15:

29 Versuche mit Wi-Roggen 1998-05:

N-Entzug in Korn und Stroh und Ausnutzung des Dünger-N in Abhängigkeit von der Höhe der Düngung



Die Auswirkungen auf die Qualitätseigenschaften des Kornes sind in Abb.17 dargestellt. Die steigende N-Düngung führte zu einem kontinuierlichen Anstieg im Rohproteingehalt. Das Hektolitergewicht nahm bis zur niedrigen N-Stufe noch minimal zu und fiel dann bei höherer Düngung wieder ab. Der Stärkegehalt und die Fallzahlen wurden durch die Düngung schwach aber kontinuierlich reduziert, wobei die Fallzahlen immer noch in einem sehr hohen Bereich blieben (in der Abb. 17 sind sie darstellungstechnisch bedingt auf ein Zehntel reduziert).

Abb.18 macht deutlich, dass bei Roggen die Fallzahl durch eine steigende N-Düngung tendenziell gesenkt wird, im Gegensatz zu der bei Weizen festzustellenden Anhebung. Nahezu unbeeinflusst bleiben Stärkegehalt und Hektoliter-Gewicht.

Abb. 16:

16/29 Versuche mit Wi-Roggen 1998-05:

Ertragskomponenten in Abhängigkeit von der N-Düngung

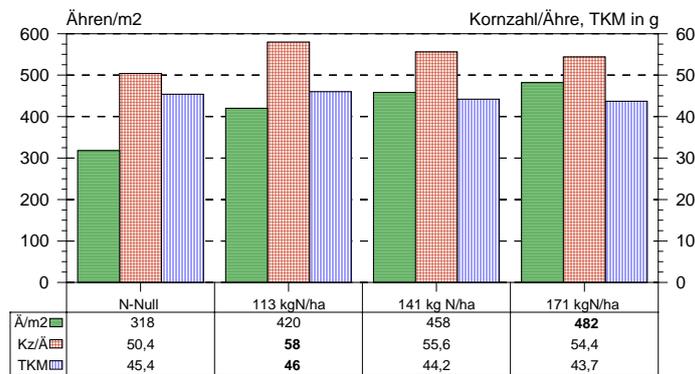


Abb. 17:

29 Versuche mit Wi-Roggen 1998-05:

Qualitätseigenschaften in Abhängigkeit von der N-Düngung

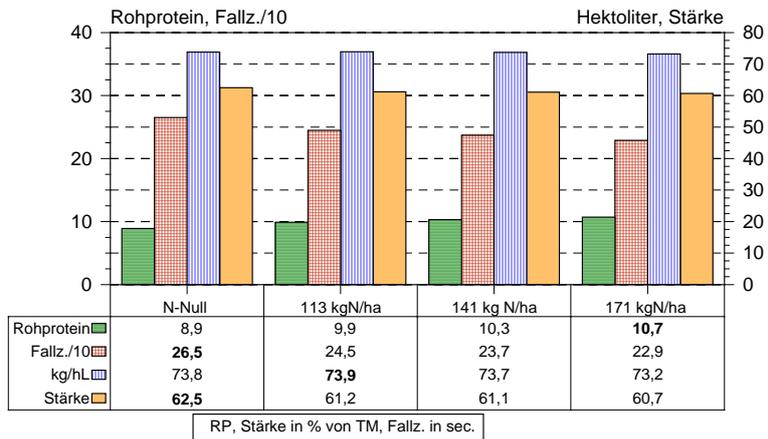
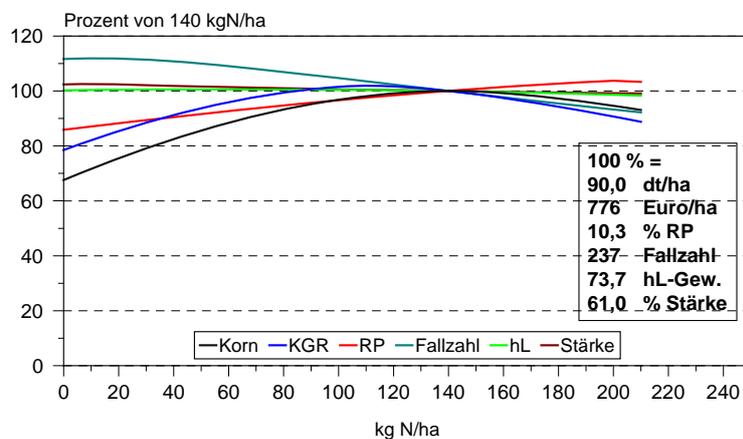


Abb. 18:

29 Versuche mit Wi-Roggen 1998-05:

Relative Merkmalsänderungen in Abhängigkeit von der N-Düngung



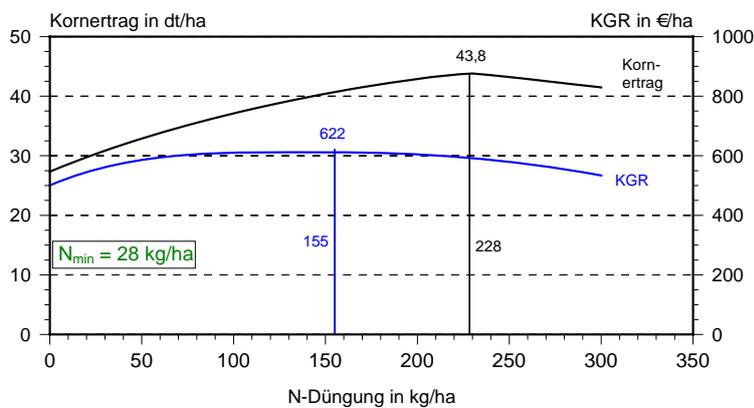
Körnerraps

Bei Körnerraps lagen die N-Düngungsoptima sehr weit auseinander. 228 kgN/ha waren zum Erreichen des höchsten Kornertrages nötig, das Rentabilitätsoptimum wurde bereits mit 155 kgN/ha erreicht. Dieses Bild bestätigt unsere Versuchsergebnisse aus früheren Jahren und wird auch von anderen Autoren in ähnlicher Weise gefunden (z.B. FINCK, 1998). Die Kurve des korrigierten Geldrohertrages verläuft in einem weiten Bereich fast parallel zur X-Achse, d.h. daß hier die erzielten Ertragssteigerungen fast vollständig durch den höheren Düngungsaufwand aufgezehrt wurden. Ein solcher flacher Kurvenverlauf macht die exakte Festlegung des Optimalpunktes schwierig. Das PC-Rechenprogramm liefert zwar einen solchen Wert, er ist jedoch relativ labil und in noch größerem Ausmaß als bei den anderen Früchten von der unterstellten Erlös- und Kostenkonstellation abhängig (Abb.19).

Abb. 19:

33 Versuche mit Kö-Raps 1998-2005:

Kornertrag und korrigierter Geldrohertrag in Abhängigkeit von der N-Düngung



In der N_{\min} -Bodenuntersuchung zu Vegetationsbeginn wurde ein Mittelwert von 28 kg/ha gefunden. Ein derart niedriger Gehalt ist typisch für Raps, da dieser durch sein in der Regel starkes Wachstum im Herbst und Winter die Vorräte weitgehend erschöpft. Eine Übereinstimmung mit dem SBA-Sollwert läßt sich hier nicht so einfach überprüfen wie bei den anderen Fruchtarten, da bei Raps die Höhe des Kornertragsniveaus und der Entwicklungsstand der Bestände bei Vegetationsbeginn eine wesentlich stärkere Rolle bei der Ableitung des Sollwertes spielen. Anhand der Serienergebnisse errechnen sich N_{\min} -Sollwerte von 183 und 256 kg/ha (Tab.4).

Tab. 4:

Überprüfung der SBA-Empfehlung zu Kö-Raps:		
Laut Versuchsserie	zu KGR:	zu Kornertrag:
	155 kgN/ha	228 kgN/ha
zuzüglich kg N_{\min} /ha	28 kgN/ha	28 kgN/ha
= Summe	183 kgN/ha	256 kgN/ha
SBA-Empfehlung = bei Ertrag ca. 45 dt/ha	Gesamt-S = abzüglich N-Bestand im Mittel ca. 50 kgN/ha = Boden-Sollwert =	290 kgN/ha
		240 kgN/ha

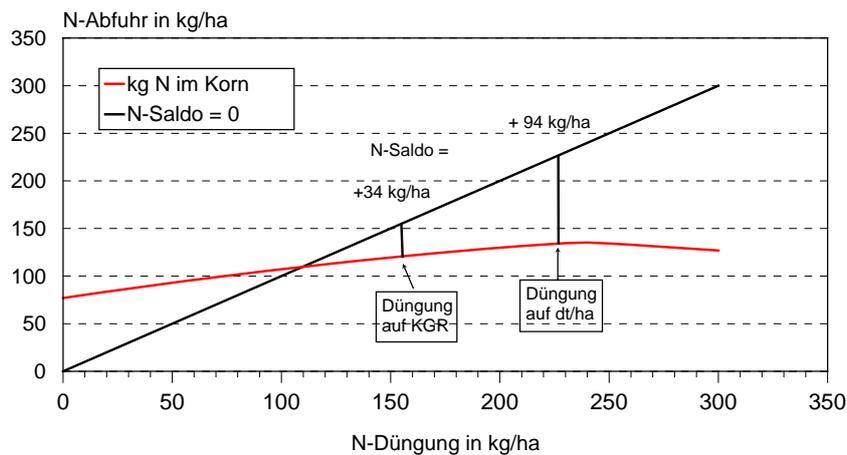
Die SBA-Empfehlung liegt bei einer Ertragserwartung von 45 dt/ha und einer mittleren Bestandesentwicklung bei Vegetationsbeginn bei 240 kgN/ha.

Die Zufuhr-Abfuhr-Bilanzierung (Abb.20) ergibt demzufolge auch sehr unterschiedliche Salden. Eine Düngung auf den höchsten Kornertrag hinterließ ein rechnerisches Saldo von +94 kgN/ha, während die Düngung zum höchsten KGR nur zu einem N-Überhang von +34 kg/ha führte. Diesen Berechnungen zufolge konnte der Raps auch im günstigsten Falle nicht mehr als ca. 140 kgN/ha im Korn vom Acker abführen.

Abb. 20:

33 Versuche mit Kö-Raps 1998-2005:

N-Abfuhr im Korn und N-Bilanz in Abhängigkeit von der N-Düngung

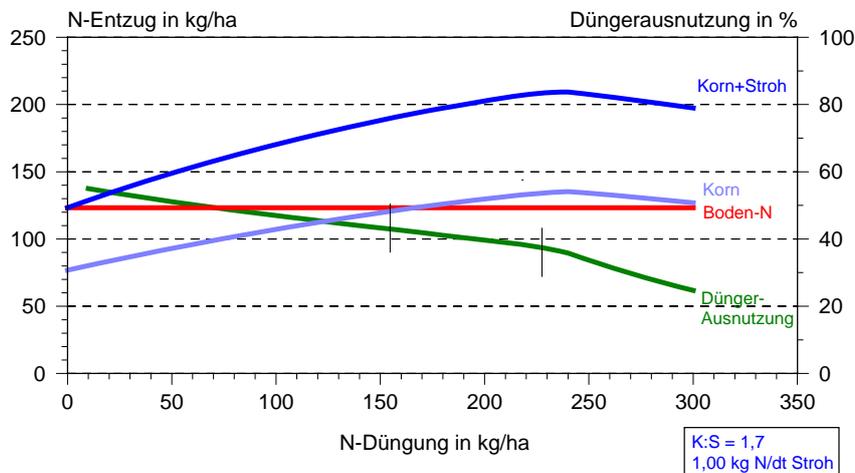


Unter Annahme eines Korn:Stroh-Verhältnisses von 1:1,7 und eines Stroh-N-Gehaltes von 1 kg/dt Stroh errechnet sich ein maximaler N-Entzug von ca. 210 kg/ha. Unter Berücksichtigung des Boden-N in Höhe von ca. 120 kg/ha ergibt sich eine N-Ausnutzung im praxisrelevanten Bereich um die 40 % (Abb.21).

Abb. 21:

33 Versuche mit Kö-Raps 1998-2005:

N-Entzug in Korn und Stroh und Ausnutzung des Dünger-N in Abhängigkeit von der Höhe der Düngung



Die untersuchten Qualitätsmerkmale sind in Abb.22 dargestellt. Der Gehalt an Rohprotein, Glu-

cosinolat und Schwefel sowie die Tausendkornmasse wurde durch die gesteigerte N-Düngung jeweils leicht erhöht, der Ölgehalt dagegen verringert. Dies wird auch in Abb.23 deutlich, die die relativen Veränderungen dieser Merkmale zeigt.

Abb. 22:

33 Versuche mit Kö-Raps 1998-2005:

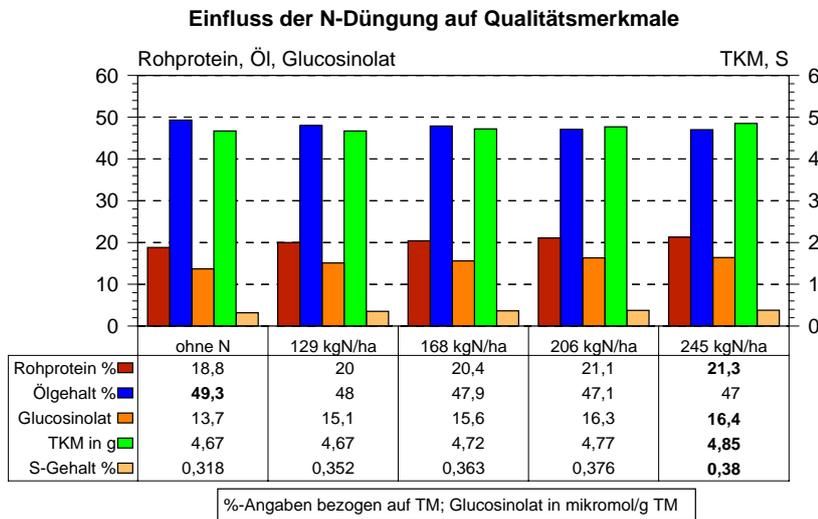
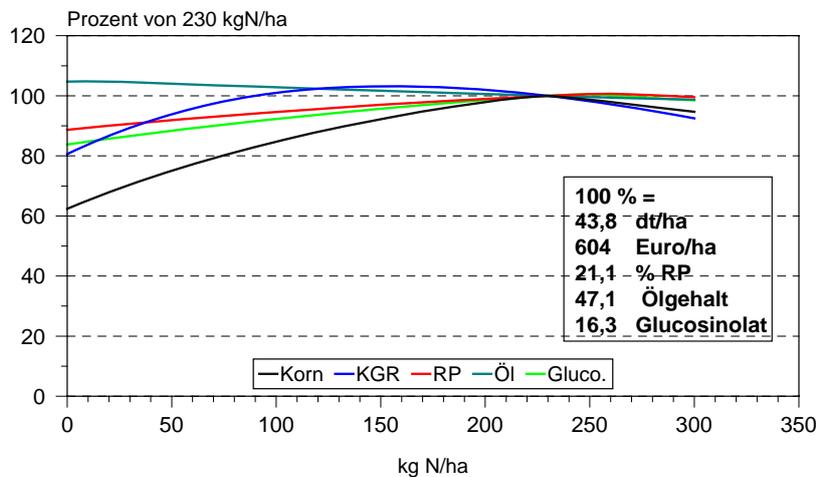


Abb. 23:

33 Versuche mit Kö-Raps 1998-05:

Relative Merkmalsänderungen in Abhängigkeit von der N-Düngung



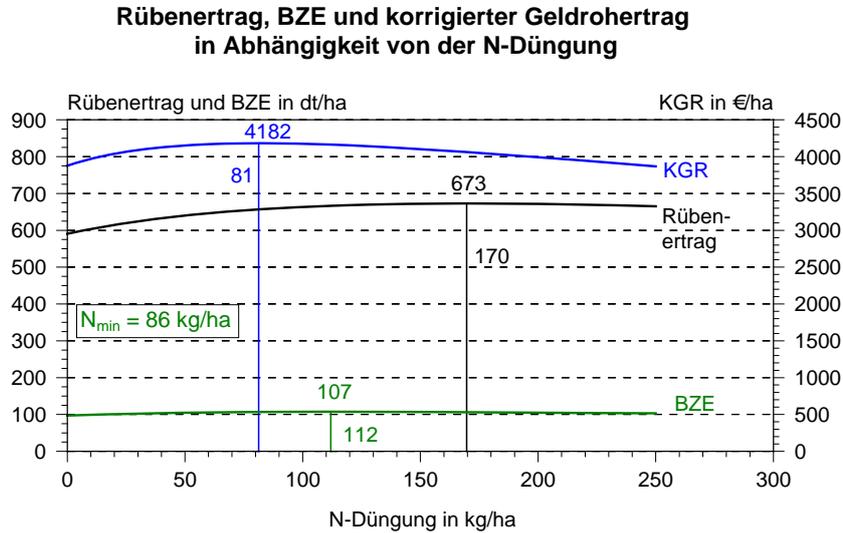
Zuckerrübe

Bei Zuckerrübe wurden Ertragskurven für den Rübenenertrag, den bereinigten Zuckerertrag und für den korrigierten Geldrohertrag berechnet (Abb.24). (Die Berechnung des KGR erfolgte nach den jährlichen Abrechnungsverfahren der Südzuckerfabrik in Wabern, wobei alle Rüben jeweils als A-Rüben verrechnet wurden.) Das N-Düngungsoptimum verringerte sich von 170 kg/ha im Hinblick auf den Rübenenertrag über 112 kgN/ha im Hinblick auf den bereinigten Zuckerertrag auf 81 kgN/ha für den höchsten korrigierten Geldrohertrag. (Aufgrund der 100-prozentigen Verrechnung als "A-Rüben" liegt dieses Ergebnis höher als das real erzielbare. Insofern steckt in diesem Düngungsoptimum noch eine "Sicherheitsreserve".) In Kombination mit dem mittleren gefundenen N_{min}-Gehalt von 86 kg/ha ergibt sich rechnerisch ein Sollwert von 167 kg/ha im Hinblick auf den optimalen korrigierten Geldrohertrag und von 198 kg/ha im Hinblick auf den opti-

malen bereinigten Zuckerertrag. Der hessische SBA-Sollwert von 180 kgN/ha für einen Ertrag über 600 dt/ha paßt sich sehr gut in dieses Versuchsergebnis ein.

Abb. 24:

34 Versuche mit Zu-Rübe 1996-05:



Tab. 5:

Überprüfung der SBA-Empfehlung zu **Zu-Rübe**:

Laut Versuchsserie	zu KGR:	zu BZE:
	81 kgN/ha	112 kgN/ha
zuzüglich kgN _{min} /ha	86 kgN/ha	86 kgN/ha
= Summe	167 kgN/ha	198 kgN/ha

SBA-Empfehlung = **S 180 kgN/ha**
bei > 600 dt RE/ha

Die N-Abfuhr in den Rübenkörpern lag im höchsten Fall bei ca. 110 kg/ha (Abb.25). Bei Düngung auf den höchsten Rüben-ertrag ergäbe sich ein Überhang von +62 kgN/ha, bei Düngung auf den höchsten bereinigten Zuckerertrag nur noch von +11 kgN/ha und bei Düngung auf den höchsten korrigierten Geldrohertrag ein Saldo von -15 kgN/ha.

Die Entzugskurve für Rübe plus Blatt erreicht einen Maximalwert von ca. 280 kgN/ha (Abb.26). Bereits bei N-Null werden jedoch ca. 220 kgN/ha entzogen, so dass sich in dem praxisrelevanten Bereich eine aktuelle Ausnutzung der KAS-Düngung um die 40 % errechnet.

Den Einfluß auf die Qualitätsparameter zeigt Abb. 27. Sowohl der Zuckergehalt als auch der

bereinigte Zuckergehalt nahmen mit steigender N-Düngung ab, die melassebildenden Inhaltsstoffe alpha-Amino-N, K und Na stiegen schwach an.

Abb. 25:

33 Versuche mit Zu-Rübe 1996-05:

N-Abfuhr in Rüben und N-Bilanz in Abhängigkeit von der N-Düngung

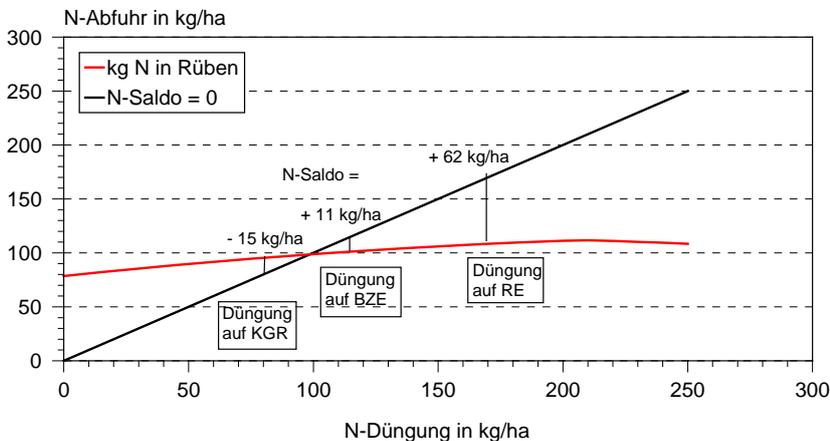
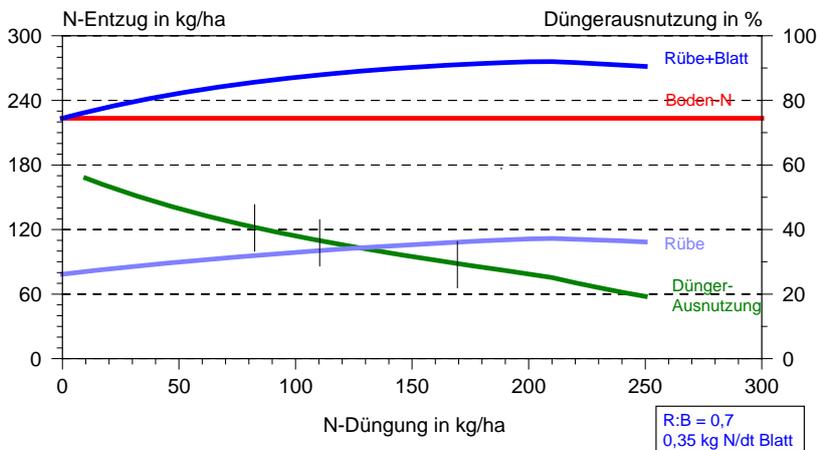


Abb. 26:

33 Versuche mit Zu-Rübe 1996-05:

N-Entzug in Rübe und Blatt und Ausnutzung des Dünger-N in Abhängigkeit von der Höhe der Düngung



In Abb.28 wird die relativ geringe Beeinflussbarkeit der Ertrags- und Qualitätsparameter der Zu-Rübe durch eine Variation der N-Düngung deutlich. Absolut gesehen ist allerdings eine maximale Einbuße von ca. 7 % des KGR bei Zu-Rübe immer noch schwer wiegender als ein KGR-Verlust von 20 % bei Gerste, Roggen oder Raps bzw. von 25 % bei Weizen.

Abb. 27:

33 Versuche mit Zu-Rübe 1996-05:

Qualitätseigenschaften in Abhängigkeit von der N-Düngung

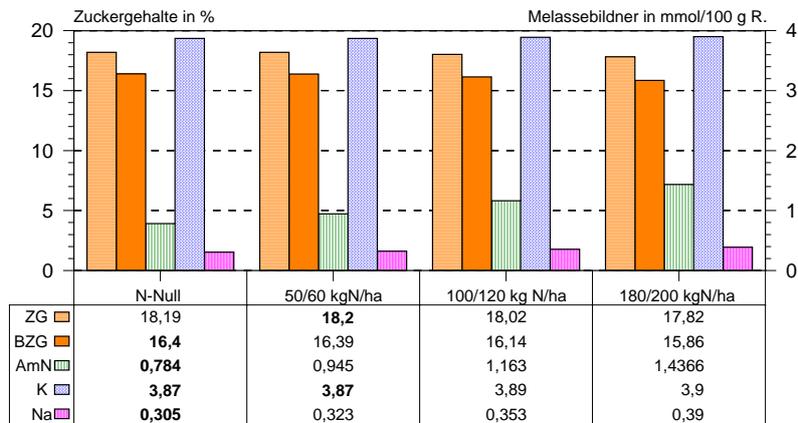
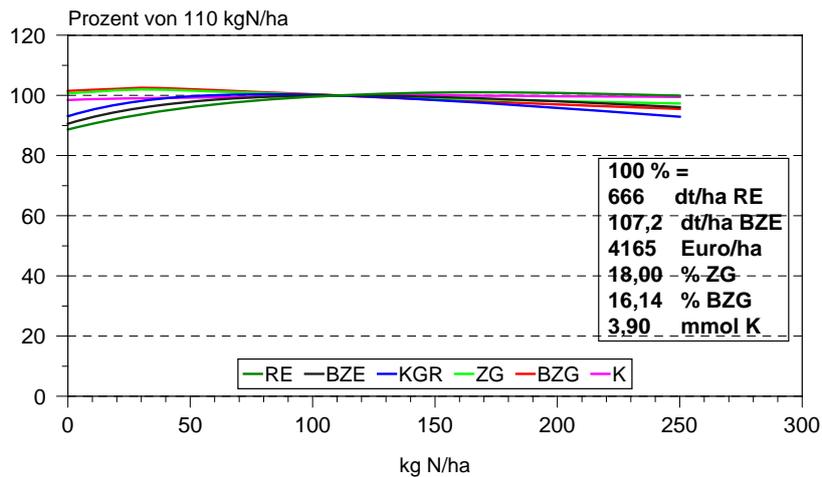


Abb. 28:

34/33 Versuche mit Zu-Rübe 1996-05:

Relative Merkmalsänderungen in Abhängigkeit von der N-Düngung



Alle Früchte zusammen

Tab. 6:

Hessische N-Steigerungsversuche 1998 - 2005:

**Höhe der mineralischen N-Düngung,
bei der der Saldo = Null ist**

	Saldo = 0 bei	
Zuckerrübe	99	kgN/ha
Kö-Raps	110	kgN/ha
Wi-Roggen	126	kgN/ha
Wi-Gerste	134	kgN/ha
Wi-Weizen	174	kgN/ha

Zum Vergleich der Fruchtarten untereinander ist es interessant, den Schnittpunkt der Kurve mit der 1:1-Linie zu erfassen, also den Punkt, an dem die Höhe der N-Düngung genau der Abfuhr entspricht und oberhalb dessen mit N-Überhang zu rechnen ist. Die Lage dieser Punkte ist in Tab.6 zusammengefaßt. Bemerkenswerterweise dürften aus Sicht der N-Bilanzierung die Blattfrüchte Zu-Rüben und Raps nur die niedrigste N-Düngung erfahren. Weizen kann deutlich höher als alle anderen Fruchtarten gedüngt werden.

Generell machen diese Versuchsauswertungen deutlich, inwieweit sich die N-Salden reduzieren lassen, wenn nach Rentabilitätgesichtspunkten gedüngt wird. Die sich daraus ergebenden Effekte sind in Tab.7 genauer quantifiziert. Einer vergleichsweise geringen Einbuße an Naturalertrag steht ein Rentabilitätsgewinn gegenüber, der von 8 bis 19 Euro/ha reicht. Dabei läßt sich der N-Saldo um ca. 22 bis 60 kg/ha verringern.

Tab.8 zeigt die berechneten Auswirkungen einer jeweils um 20 Prozent erhöhten bzw. erniedrigten N-Düngung, ausgehend von der zum höchsten Naturalertrag führenden Düngung. Wird diese vom Landwirt meist als "optimale" Düngung bezeichnete Menge um den genannten Prozentsatz variiert, so ergeben sich konsequenterweise in allen Fällen geringe Naturalertragsverluste. Bei allen Früchten ist es jedoch einheitlich so, dass durch die Verringerung der N-Düngung der korrigierte Geldrohertrag angehoben und durch eine Erhöhung der N-Düngung deutlich abgesenkt wird.

Tab. 7:

Konsequenzen der Düngung auf "korrigierten Geldrohertrag" gegenüber der Düngung auf "Naturalertrag":

Fruchtart	Verlust bei Naturalertrag in dt/ha	Gewinn bei KGR in €/ha	Verringerung des N-Saldos in kgN/ha
Wi-Weizen	-1,3	8	-22
Wi-Gerste	-2,6	17	-28
Wi-Roggen	-1,6	14	-23
Kö-Raps	-3,1	18	-60
Zu-Rübe BZE	-0,5	19	-26

Tab. 8:

Hessische N-Steigerungsversuche 1998 - 2005:

Auswirkungen einer um 20 % reduzierten bzw. erhöhten N-Düngung auf Naturalertrag und spezialkostenfreien Geldrohertrag, ausgehend von der für den Naturalertrag optimalen N-Düngung

Fruchtart	"optimale" N-Düngung			minus 20 % N-Düngung			plus 20 % N-Düngung		
	kgN/ha	dt/ha	€/ha	KgN/ha	dt/ha	€/ha	kgN/ha	dt/ha	€/ha
WW	190	89,3	822	152	87,2	828	228	87,6	795
GW	185	83,9	659	148	80,9	675	222	81,3	628
RW	140	90,1	776	112	88,5	790	168	88,7	746
RAW	228	43,8	604	182	42,1	621	274	42,4	577
ZR*	112	107,2	4165	90	107,0	4181	134	107,0	4131

* bei ZR ausgehend von der N-Düngung, die zum höchsten bereinigten Zuckerertrag führte

Zahl der zugrunde liegenden Versuche:

WW n = 38; GW n = 33; RW n = 29; RAW n = 33; ZR n = 34

Die aktuelle Ausnutzung der mineralischen N-Düngung ist für alle Früchte noch einmal in Tab.9 zusammengefaßt. Entsprechend dem Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs ist die Ausnutzung bei dem niedrigeren, hinsichtlich der Rentabilität optimalen Düngungsniveau höher als bei der höheren Naturalertragsdüngung. Unter den Fruchtarten erreichen Raps und Zu-Rübe die niedrigen Ausnutzungsraten von 36 bis 43 % und die Wi-Getreidearten die höheren von 46 bis 56 %. Die niedrige aktuelle Ausnutzung ist allerdings in engem Zusammenhang zu sehen mit der insgesamt hohen bodenbürtigen N-Anlieferung. Hier wurde die niedrigste Menge mit ca. 80 kgN/ha bei Gerste ermittelt, Werte zwischen 105 und 123 bei Weizen, Roggen und Raps und schließlich der sehr hohe Wert von 223 kgN/ha bei Zu-Rübe. Eine hohe Anlieferung aus dem Boden und eine niedrige Ausnutzung aktueller Düngungsmaßnahmen bedingen sich gegenseitig.

Tab. 9:

N aus dem Boden und Ausnutzung der mineralischen N-Düngung bei "praxisrelevanter" Düngungshöhe

Fruchtart	Boden-N kg/ha	Optimale Naturalertragsdüngung kg/ha	% Düngerausnutzung	Optimale KGR-düngung kg/ha	% Düngerausnutzung
Wi-Weizen	115	190	50	163	54
Wi-Gerste	81	185	51	152	56
Wi-Roggen	105	140	46	112	51
Kö-Raps	123	228	37	155	43
Zu-Rübe	223	112	36	81	41

Diskussion

Insgesamt liegen die Erträge und die dazu nötigen N-Düngermengen in Größenordnungen, die auch von anderen Versuchsanstellern gefunden wurden. Sie dürften in hohem Maße repräsentativ sein für das, was gegenwärtig "praxisüblich" ist.

Die berechneten korrigierten Geldroherträge erlauben keinen Vergleich der Rentabilität zwischen den Fruchtarten, da fruchtartspezifische Aufwendungen, wie z.B. der in unterschiedlicher Intensität erforderliche Pflanzenschutz, hierbei nicht berücksichtigt werden. Der KGR dient nur zur Beurteilung der fruchtartspezifischen Rentabilität der N-Düngung. Zu diesem Zweck ist er ein wesentlich exakterer Prüfparameter als z.B. der Deckungsbeitrag, da in diesen umfassenderen Parameter zahlreiche weitere Größen eingehen. Einige von Ihnen sind nur zu schätzen, was zu einer größeren Unsicherheit führt. Andere sind ertragsabhängig wie z.B. die Transport- und Trocknungskosten oder die Abfuhr an anderen Nährstoffen, was bedeutet, daß beim Deckungsbeitrag das N-Düngungsoptimum auf jeden Fall niedriger als beim korrigierten Geldrohertrag liegen muß. Insofern stecken in den hier angegebenen KGR-Optima noch "Sicherheitsreserven".

Die hier vorgestellten Ergebnisse und Erkenntnisse sind im Großen und Ganzen nicht neu. Dennoch ist in der landwirtschaftlichen Düngepraxis die Zuckerrübe mehr oder weniger bisher die einzige Frucht, bei der mit der N-Düngung nicht der höchste Naturalertrag (Rübenertrag) angepeilt wird, sondern eher der höchste Zuckerertrag. Hier liegt der N-Saldo dann bereits sehr niedrig und er läßt sich bei einer konsequenten "Rentabilitätsdüngung" weiter in den negativen Bereich verschieben. Damit ist die Rübe aus Sicht der N-Bilanzierung derzeit als die unkritischste unter den bedeutenden Ackerfrüchten einzustufen.

Bei Raps sind die hohen N-Salden lange bekannt (z.B. HEYN 2000). Wenn auch diese hohe N-Restmenge aus ökologischer Sicht kritisch zu werten ist, so beruht doch andererseits ein großer Teil der guten Vorfuchtwirkung des Rapses auf dieser großzügigen N-Bereitstellung für die Nachfrucht (GAUDSCHAU u. HONERMEIER 2001). Immerhin läßt sich der Saldo durch eine rentabilitätsorientierte N-Düngung auf ca. ein Fünftel gegenüber der ertragsorientierten Düngung reduzieren. Der dann verbleibende Wert von plus 35 kgN/ha liegt in einer Größenordnung unterhalb aller gesetzlichen Regelungswerte.

Die "Naturalertragsdüngung" führte bei Wi-Gerste zu dem Saldo von 36 kgN/ha, ein Wert der bereits oberhalb der von EBERTSEDER, GUTSER und HEGE (2001) genannten "unvermeidbaren Verluste" liegt. Wi-Roggen und Wi-Weizen mit dem sehr hohen N-Aufnahmepotenzial liefern in dem praxisrelevanten N-Düngungsbereich unproblematische N-Salden.

Die Beispielsberechnung mit der um 20 % verringerten bzw. erhöhten N-Düngung zeigt, daß ein "Zu viel" an Dünger für die Rentabilität wesentlich schädlicher ist als ein "Zu wenig". Angesichts der Unkenntnis im Frühjahr in Bezug auf das Düngungsoptimum bis zur Ernte sollte der Landwirt tendenziell eher zu einer knappen N-Düngung neigen als zu einer reichlichen.

Die Ausnutzung der mineralischen N-Düngung (= aktuelle Wiederfindung der verabreichten N-Mengen) ist mit Werten zwischen 36 und 54 % niedriger als die in Lehrbüchern etc. oft genannte Größenordnung von ca. 67 %. Die niedrigen Ausnutzungsraten resultieren aus den hohen N-Mengen, die bereits in den N-Null-Varianten aufgenommen werden. Dies kann einerseits auf ein gutes Aneignungsvermögen der heutigen Sorten und andererseits auf das hohe Nachlieferungsvermögen der Böden zurück geführt werden. Natürlich hängt dieses hohe Nachlieferungsvermögen kausal mit der niedrigen aktuellen Ausnutzung zusammen, also mit der Anreicherung der nicht aktuell aus der Düngung aufgenommenen N-Menge im Boden. Wenn bei der Düngebedarfsermittlung die N-Nachlieferung des Bodens einbezogen wird, muß im Gegenzug die N-Ausnutzung der Mineraldüngung berücksichtigt werden. Im vereinfachten Verfahren kann beides unberücksichtigt bleiben, was allerdings den hier vorgelegten Zahlen nach zu Verschiebungen des ermittelten Düngebedarfs führt.

(Ausnahme hier im Serienmittel: Wi-Weizen. Siehe Beispiel:

Boden-N bei N-Null = 115 kg/ha

abzüglich nutzbares N_{min} = 20 kg/ha (50 kg/ha bei Veg.beg. minus ca. 30 kg/ha bei Ernte)

= bodenbürtige Netto-Nachlieferung = 95 kg/ha

N-Düngung zum höchsten Kornertrag = 190 kg/ha

Davon 50 % Ausnutzung = 95 kg/ha

Die nicht aktuell ausgenutzte N-Menge aus der Düngung und die Netto-Nachlieferung aus dem Boden entsprechen sich in identischer Höhe)

Die Düngeempfehlungen im hessischen SBA-System liegen im Mittel der Versuchsserien bei allen Früchten im Bereich zwischen beiden Düngungsoptima. Bei Roggen und Raps bewegt sich die Empfehlung am oberen Rand dieses Bereiches, was eine Absenkung der Sollwertvorgaben überlegenswert erscheinen läßt.

Bei einer Bewertung der hier vorgestellten Versuchsergebnisse ist natürlich zu beachten, daß es sich um jeweils einjährige Versuche handelt. Längerfristig würde eine deutlich von der tatsächlichen Abfuhr abweichende N-Düngung zu An- oder Abreicherungen der N-Vorräte im Boden führen, was Verschiebungen der Optimalpunkte zur Folge hätte. Eine Reduzierung der N-Düngung, die kurzfristig nur relativ schwache Auswirkungen hat, wird im Laufe der Jahre zu immer stärkeren Ertragseinbußen führen. Dieser zweifellos berechtigten und wichtigen Frage nach der Höhe dieser Veränderungen geht der LLH mit einer Serie an N-Dauerversuchen nach, deren Ergebnisse ebenfalls demnächst im Internet veröffentlicht werden.

Der Aussagewert der Serie einjähriger Versuche liegt vielmehr darin, Auskunft über die aktuell

"richtige" N-Düngungshöhe zu geben. Bei der Umsetzung der Erkenntnisse in praktische Düngeempfehlungen mag man geneigt sein, den längerfristigen Abreicherungeffekt mit einzubeziehen, besonders bei den am korrigierten Geldrohertrag orientierten N-Empfehlungen. Dem ist wieder entgegen zu halten, daß bei diesen Berechnungen der N-Optimalmengen einige Sicherheitsreserven bereits eingebaut sind (Zu-Rüben als "A-Rüben"; Vergleich mit Deckungsbeitrag siehe oben). Insofern und unter Würdigung der Tatsache, daß sich N-Vorräte und N-Dynamik eines Bodens nicht innerhalb weniger Jahre entscheidend verändern, können die hier vorgestellten Versuchsergebnisse als gute Beratungsgrundlage angesehen werden.

Zusammenfassung

- In zahlreichen Feldversuchen der hessischen Agrarverwaltung wurden in den letzten Jahren die Auswirkungen einer variierten mineralischen N-Düngung auf Naturalertrag, Qualitätsparameter, Rentabilität, N-Salden und N-Düngerausnutzung bei den wichtigsten Ackerfrüchten geprüft.
- Insgesamt wurden hohe Erträge und gute Qualitäten geerntet.
- Die Art der Darstellungen in Kurvenform zeigt die Beeinflussung der Prüfparameter bei jeder unterstellten N-Düngungshöhe.
- Zum Erreichen des höchsten Naturalertrages waren folgende Aufwandmengen an kgN/ha erforderlich: 140 bei Wi-Roggen, 185 bei Wi-Gerste, 190 bei Wi-Weizen, 228 bei Kö-Raps und 170 bei Zu-Rübe für den Rübenertrag und 112 für den bereinigten Zuckerertrag.
- Die Düngung auf den höchsten korrigierten Geldrohertrag (KGR) lag bei Wi-Getreide um 27 – 33 kgN/ha niedriger, bei Kö-Raps und Zu-Rübe um 70 bis 90 kg/ha.
- Die Optimierung der N-Düngung am KGR als Rentabilitätsparameter führte zu einer Absenkung der Naturalerträge, zu einer Verringerung des N-Saldos, zu einer Erhöhung des KGR und zu einer Verbesserung der Düngerausnutzung.
- Damit ist eine am Rentabilitätsziel orientierte N-Düngung sowohl aus ökonomischer Sicht als auch aus ökologischen Gründen gegenüber der in der Praxis weit verbreiteten Höchstertragsdüngung (lobenswerte Ausnahme: Zu-Rübendüngung) unbedingt vorzuziehen.
-
- Zur Ermittlung der aktuellen Ausnutzung der KAS-N-Düngung wurde zusätzlich zum gemessenen N-Entzug der Haupternteerzeugnisse der N-Entzug durch Nebenernteerzeugnisse anhand von Tabellenwerten berechnet. Unter Berücksichtigung der bodenbürtig in der N-Null-Variante angelieferten N-Menge errechnet sich eine aktuelle Ausnutzung der KAS-Düngung von ca. 50 % bei den Getreidearten und von ca. 40 % bei Raps und Rübe.
- In N-Null-Varianten wurden folgende bodenbürtige N-Mengen festgestellt: Weizen 115, Gerste 81, Roggen 105, Raps 123 und Rübe 223 kg/ha. Der niedrigen aktuellen Ausnutzung des Dünger-N steht damit eine hohe Nachlieferung aus dem Boden gegenüber. Beide Erscheinungen bedingen einander.
- Die im hessischen SBA-System verwendeten Standard-Sollwerte liegen bei den meisten Früchten im Bereich der optimalen N-Menge, bei Roggen kann die Empfehlung abgesenkt werden.
- Die Ergebnisse zeigen, dass eine an Produktivität und Rentabilität ausgerichtete mineralische N-Düngung bei den wichtigsten Ackerkulturen aus Sicht des Boden- und Gewässerschutzes und gemessen an den heute diskutierten Richt- und Grenzwerten als absolut unkritisch einzustufen ist. Mögliche Probleme liegen eindeutig im Bereich der organischen Düngung, speziell im Einsatz wirtschaftseigener Dünger.

Literatur:

Ebertseder, Th., Gutser, R. und Hege, U.: Abschätzung "unvermeidbarer Stickstoffverluste" - Entwicklung eines benutzerfreundlichen Schätzrahmens für den landwirtschaftlichen Betrieb. Schriftliche Veröffentlichung, 2001

Finck, A.: Rapsdüngung - Bericht über deutsche Literatur, in: Beiträge zur Düngung von Winter- raps, UFOP-Schriften, Heft 9, ISBN 3-9804909-8-X, S. 9-47, 1998

Heyn, J.: Deutlicher Anstieg des Stickstoffdüngerbedarfs von Körner-Raps. VDLUFA-Schriftenreihe 55, Kongressband 2000, Teil 4, S. 97-103, 2000

Heyn, J.: Wirkung steigender N-Düngung auf Ertrag, Rentabilität und N-Saldo bei den wichtig- sten Ackerfrüchten. VDLUFA-Schriftenreihe 57, Kongressband 2001, Teil 2, S.684-691, 2001

Heyn, J. und Schaaf, H.: Hessische Richtlinien zur Ableitung von Düngeempfehlungen aus Bo- denuntersuchungen, Teil1: Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System (SBA-System). Schriftenreihe Heft 8, Hess. Dienstleistungszentrum f. Landwirtschaft, Gartenbau u. Naturschutz - Versuchs- anstalt Harleshausen -, ISBN: 3-9806860-3-5, 2001

Honermeier, B. und Gaudchau, M.: Vorfruchtwert von Winterraps. UFOP-Praxisinformation, 2001

Jacobs, G.: Ergebnisse von N-Sollwertprüfungsversuchen zu Winterweizen. VDLUFA- Schriftenreihe 61, Kongressband 2005, S. 368-375, 2006