

Beurteilung verschiedener N-Düngungsbemessungsverfahren für Braugerste (*Hordeum vulgare* L.) hinsichtlich Ertragsausschöpfung und Qualitätssicherung unter Bedingungen des Mitteldeutschen Trockengebietes

Evaluation of Different Methods for Determining N Doses to Malting Barley (*Hordeum vulgare* L.) with Respect to Yield Potential Exhaustion and Quality Protection under the Conditions of the Hercynian Dry Region of Central Germany

Carola Schuster, H.-G. Stock & W. Diepenbrock
Institut für Acker- und Pflanzenbau, Universität Halle-Wittenberg

Zusammenfassung

Zur Prüfung der Eignung einzelner Programme für eine optimale N-Düngerbemessung zu Braugerste unter den Anbaubedingungen des Mitteldeutschen Trockengebietes wurden vom Institut für Acker- und Pflanzenbau der Universität Halle-Wittenberg in der Lehr- und Versuchsstation Leipzig-Seehausen seit 1993 Feldversuche durchgeführt. Für die Festlegung der N-Düngerhöhe wurde das Verfahren „Bestandesführung Sommergerste“ (BEFUSG), das Programm „Stickstoff-Bedarfs-Analyse“ (SBA2) sowie die Methoden „Sollwert 100“ und „Rheinland-Pfalz“ ausgewählt. Diese Verfahren unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Bewertung der N_{min} -Menge im Boden und der Berücksichtigung agronomischer Bedingungen. Zur Auswertung standen 7 Versuche aus 4 Jahren nach verschiedenen Vorfrüchten zur Verfügung.

Die N-Bemessungsprogramme BEFUSG und SBA2 garantierten am ehesten eine möglichst weitgehende Ausschöpfung des Ertragspotentials bei gleichzeitiger Einhaltung eines niedrigen Rohproteingehaltes. Mit der Methode Sollwert 100 kann zwar der Qualitätsanforderung hinsichtlich des Rohproteingehaltes mit noch größerer Sicherheit entsprochen werden, gleichzeitig bleibt aber das Ertragspotential unausgeschöpft. Die Düngung nach dem Verfahren Rheinland-Pfalz ermöglicht meist die Erzielung höherer Erträge, verursacht aber gleichzeitig eine unerwünschte Steigerung des Rohproteingehaltes. Damit haben sich vor allem die beiden Bemessungsverfahren als vorteilhaft erwiesen, die mittlere N-Düngermengen empfehlen, sich auf nur eine Gabe beschränken und gegebene Anbaubedingungen berücksichtigen.

Schlüsselworte: Braugerste, N-Düngerbemessung, Ertrag, Qualitätseigenschaften

Summary

At the Institute of Agronomy and Crop Science of the University Halle-Wittenberg field experiments have been carried out since 1993 to evaluate the suitability of various programs for calculating the optimal nitrogen rates to malting barley under the growth conditions of the Hercynian dry region of Central Germany. The system 'Crop Management with Spring Barley' (Bestandesführung

Sommergerste – BEFUSG), the program 'N demand calculation' (Stickstoff-Bedarfs-Analyse – SBA2) as well as the methods 'Target Value 100' (Sollwert 100) and 'Rheinland-Pfalz' were selected for the calculation of the nitrogen fertilization. The methods differ especially with regard to the assessment of the plant available nitrogen in the soil and of the agronomical conditions. In four years seven trials were analysed after different previous crops.

The calculation programs BEFUSG and SBA2 helped to utilize a high yield potential and to maintain a low protein content. The method 'Sollwert 100' allows to better meet the demand for an optimum crude protein content, however, the yield potential is not fully exhausted. Fertilization according to the 'Rheinland-Pfalz' method leads usually to higher yields, yet it causes unwanted protein increases. Thus, especially those two programs proved well which recommended medium nitrogen doses as single application on the basis of the actual growth conditions.

Keywords: malting barley, nitrogen dosage, yield, quality

Einleitung

Aufgrund der spezifischen Qualitätsanforderungen, die an Braugerste gestellt werden, bedarf die Stickstoffdüngung besonderer Beachtung. Im Gegensatz zur Düngung aller anderen Getreidearten muß den meist widersprüchlichen Anforderungen der Einhaltung eines niedrigen Rohproteingehaltes im Korn (< 11,5%) bei gleichzeitig maximaler Ertragsausschöpfung entsprochen werden (BAETHGEN et al. 1995). Dies ist kompliziert, da in der Regel nur eine N-Düngerapplikation vor oder zur Saat erfolgt, was keine Anpassung an den Pflanzenbestand und dessen tatsächlichen Stickstoffbedarf zuläßt. Darüber hinaus werden Wachstum und Ertragsbildung der Sommergerste noch stärker als bei Wintergetreidearten durch die Witterungs- und Wachstumsbedingungen beeinflusst (BAETHGEN et al. 1995, PFEFFERKORN & KÖRSCHENS 1995). Dadurch variieren Ertrag und Qualitätsparameter der Braugerste häufig deutlicher saisonal bedingt als in Abhängigkeit von differenzierten Anbaumaßnahmen (BULMAN & SMITH 1993b).

Bei der Bemessung der optimalen Stickstoffdüngermenge ist man bemüht, so weit wie möglich den Umweltbedingungen Rechnung zu tragen, die die Stickstoffversorgung der Braugerstenbestände maßgeblich beeinflussen

können (Vorfrucht, N-Beitstellung aus dem Boden, Wasserversorgung, Bodenverhältnisse). Ein wesentlicher Faktor, der bei der Stickstoffdüngerbemessung stets berücksichtigt wird, ist der Bodenstickstoff, der pflanzenverfügbar ist bzw. wird (SCHARPF & WEHRMANN 1975, MORITZ & MÜLLER 1982, BULMAN & SMITH 1993b, BAETHGEN et al. 1995). Während die zu Vegetationsbeginn im Boden vorhandene N_{\min} -Menge relativ leicht zu erfassen ist, gestaltet sich eine möglichst exakte, quantitative Prognose der N-Nachlieferung aufgrund der Witterungsabhängigkeit nach wie vor schwierig. Aus diesem Grund wird bei der Bemessung der mineralischen Stickstoffdüngung der Einfluß der spezifischen Standortfaktoren, die wesentlich die Höhe der Mineralisation bestimmen, ausgehend von einer durchschnittlichen Witterung bewertet und berücksichtigt.

In welchem Umfang die Braugerste in der Lage ist, den im Boden vorhandenen Stickstoff aufzunehmen und in Ertrag umzusetzen, ist neben der Witterung auch von solchen Faktoren wie Gründigkeit des Bodens, Steingehalt und Aussaatzeit abhängig.

Um den genannten Zusammenhängen möglichst genau Rechnung zu tragen und in der landwirtschaftlichen Praxis anwendbare weitgehend objektive Entscheidungsgrundlagen bzw. Entscheidungshilfen zu schaffen, wurden Programme und Verfahren zur Berechnung der optimalen N-Düngung entwickelt (WEHRMANN & SCHARPF 1991, ENGEL & FRIEDRICH 1994, STURM et al. 1994). Basierend auf der in den genutzten Modellen differenzierten Vorgehensweise werden unter gleichen Anbaubedingungen abweichende N-Düngermengen empfohlen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mehrere dieser Bemessungsverfahren hinsichtlich der Anpassung an die Anbaubedingungen im Mitteldeutschen Trockengebiet und der daraus resultierenden Anwendbarkeit zu testen. Davon ausgehend soll die günstigste Vorgehensweise bei Bemessung der Braugerstedüngung charakterisiert werden. Grundlage der Untersuchungen bilden vom Institut für Acker- und Pflanzenbau der Universität Halle-Wittenberg in den Jahren 1993 bis 1997 in der Versuchsstation Leipzig-Seehausen angelegte Versuche, in denen die N-Düngung mit Hilfe von vier verschiedenen Steuerungsverfahren bemessen wurde.

Material und Methoden

Standort

Bei dem Versuchsstandort handelt es sich um einen sandigen Lehm der Bodenform Sandlößtieflehm-Staugley mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 60. Die Jahresdurchschnittstemperatur (1961–1990) beträgt 9,1 °C und im Durchschnitt (1961–1990) fallen jährlich 552 mm Niederschlag. Aufgrund der Klima- und Bodenverhältnisse ist der Standort Leipzig-Seehausen repräsentativ für vernäßte Sandlößgebiete (5–10% der Bodenfläche Deutschlands).

Sorten

Um überprüfen zu können, ob einzelne Sorten unterschiedlich auf eine differenzierte N-Düngung reagieren, wurden in den Jahren 1994–1997 die Sorten Alexis, Krona und Maresi in dem Versuch angebaut (Tab. 1). Eine Ausnahme bildet das Jahr 1993, in dem statt Maresi die Sortenmischung Hamina zum Anbau kam. In den nachfolgenden Jahren war diese Sortenmischung nicht mehr verfügbar und konnte somit nicht weiter in die Untersuchungen einbezogen werden.

Tab. 1: Vorfrüchte und Prüffaktoren der Versuche

Precrops and test factors

		Versuch I	Versuch II
Vorfrüchte	1993	Öllein	Zuckerrüben
	1995	Winterroggen	Winterweizen ¹⁾
	1996	Mais	Winterroggen
	1997	Mais	Winterroggen
Steuerungsverfahren	BEFUSG (Bestandesführung Sommergerste) SBA2 (Stickstoff-Bedarfs-Analyse) Sollwert 100 Rheinland-Pfalz		
Sorten	Alexis Krona Maresi (1993 Hamina)		

¹⁾ nicht ausgewertet (Krähenschaden)

N-Düngerbemessungsverfahren

Bei der Festlegung der zu untersuchenden Verfahren sollten zunächst die bereits in den östlichen Bundesländern genutzten Systeme Berücksichtigung finden. Darüber hinaus wurden Methoden ausgesucht, die sich hinsichtlich der Bemessungsgrundlagen und der daraus resultierenden N-Düngungsempfehlungen möglichst deutlich unterscheiden.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden die Bemessungsverfahren Bestandesführung Sommergerste (BEFUSG), Stickstoff-Bedarfs-Analyse (SBA2), Sollwert 100 und Rheinland-Pfalz ausgewählt (Tab. 1). Das in Sachsen im Rahmen des Programms zur „Umweltgerechten Landwirtschaft“ für die Bemessung der Stickstoffdüngung eingesetzte Programm BEFU war zu Versuchsbeginn nicht für Sommergerste verfügbar. Aus diesem Grund konnte das Programm nicht direkt als Versuchsvariante einbezogen werden. Die N-Düngungsempfehlungen auf der Grundlage dieses Programms wurden nachträglich berechnet und sollen in die Auswertung einbezogen werden. Um die einzelnen Bemessungsverfahren besser in ihrer Auswirkung auf die Höhe der Stickstoffdüngung einschätzen zu können, werden die einzelnen Methoden nachfolgend charakterisiert.

BEFUSG: Das PC-Programm BEFUSG wurde im Institut für Acker- und Pflanzenbau der Universität Halle-Wittenberg entwickelt (SCHUSTER 1990). Bei der Berechnung der N-Düngungsempfehlung wird zunächst von einer Basisdüngermenge ausgegangen, die entsprechend der Bodenart variiert. Die spezifischen Standortbedingungen wie N_{\min} -Gehalt, Gründigkeit des Bodens, Humusbilanz, Steinigkeit, Vorfrucht, organische Düngung der Vorfrucht, Beregnung und Aussaattermin werden durch entsprechende Zu- und Abschläge berücksichtigt. Im Unterschied zu den anderen Berechnungsverfahren wird bei der Bewertung des N_{\min} -Gehaltes von einer Normalwertspanne ausgegangen, die auf langjährigen Ergebnissen von Dauertestflächen beruht. Liegen die analysierten N_{\min} -Werte innerhalb dieses Bereiches, beeinflussen sie die Höhe der N-Düngerempfehlung nicht. Bei Über- bzw. Unterschreitung der Normalwerte werden Abzüge oder Zuschläge vorgenommen. Um den spezifischen Qualitätsanforderungen beim Braugerstenanbau gerecht werden zu können, gibt es Maximalwerte, die bei der N-Düngungsempfehlung nicht überschritten werden.

SBA2: Das von der LUFA in Sachsen-Anhalt angewendete Programm SBA2 stellt eine Anpassung des in Hessen entwickelten Programms SBA (Stickstoff-Bedarfs-Analyse) an die klimatischen Bedingungen und Bodenverhältnisse im Mitteldeutschen Trockengebiet dar (VON WULFFEN & HOLZ 1994). Bei diesem Verfahren wird von einer Grund-N-Menge von 80 kg ha⁻¹ ausgegangen. Die zu Vegetationsbeginn im Boden in der Schicht 0–60 cm enthaltene N_{min}-Menge (NO₃- + NH₄-N) wird hinsichtlich der Pflanzenverfügbarkeit mit Hilfe eines Korrekturfaktors, der für die einzelnen Bodenarten und -schichten variiert, bewertet. Zusätzlich erfolgt eine Wichtung in Abhängigkeit des Steingehaltes des Bodens. Der auf diese Weise korrigierte N_{min}-Wert wird von der Grund-N-Menge abgezogen. Eine weitere Verminderung erfolgt in Abhängigkeit von Vorfrucht, Zwischenfruchtanbau und organischer Düngung.

Sollwert 100: Die Methode Sollwert 100 (SCHARPF & WEHRMANN 1975) geht davon aus, daß 100 kg N ha⁻¹ zu Vegetationsbeginn ausreichend sind, um eine optimale Entwicklung und Ertragsbildung der Braugerste zu garantieren. Von dieser anzustrebenden N-Menge wird der Nitrat-Stickstoff, der sich im Frühjahr in der Bodenschicht 0–90 cm befindet, abgezogen. Die daraus resultierende Differenz ist die zu applizierende Stickstoffdüngermenge.

Rheinland-Pfalz: Ein wesentliches Kriterium für die N-Düngerbemessung nach dem System Rheinland-Pfalz ist die Ertragsersparnis (ANONYMOS 1991). Ist mit Erträgen um 40 bzw. 50 dt ha⁻¹ zu rechnen, wird von einer Grund-N-Menge von 160 bzw. 180 kg N ha⁻¹ ausgegangen. Von dieser N-Menge werden abgezogen: der NO₃-N-Gehalt in der Schicht 0–90 cm, 1 kg N pro Bodenpunkt des Schlagens und 1/3 des N-Gehaltes von auf dem Schlag verbliebenen Ernteresten. In dem Fall, daß mit Erträgen von 60 oder 70 dt ha⁻¹ gerechnet wird, erfolgt eine Unterteilung der N-Düngung in eine 1. und 2. Gabe. Bei der 1. Gabe wird eine Basismenge von 100 kg N ha⁻¹ um die N_{min}-Menge in 0–60 cm verringert. Ausgangswerte für die 2. N-Gabe sind 100 bzw. 120 kg N ha⁻¹. Von diesen Werten werden die NO₃-N-Menge der Schicht 60–90 cm, 1 kg N pro Bodenpunkt und 1/3 des N-Gehaltes der auf dem Feld zurückgelassenen Ernterückstände der Vorfrucht abgezogen. Aufgrund des Ertragspotentials des Versuchsstandortes von etwa 60 dt ha⁻¹ erfolgte die Berechnung der N-Düngung in jedem Jahr für diese Ertragsersparnis.

BEFU: Grundlage für die Stickstoffdüngerbemessung im Rahmen des Programms BEFU bildet eine standortabhängige Basis-N-Menge, die durch die Ertragsersparnis modifiziert wird (FÖRSTER et al. 1997). Von dieser Ausgangsstickstoffmenge wird die zu Beginn der Vegetation in 0–60 cm Bodentiefe vorhandenen N_{min}-Menge abgezogen. Um die N-Mineralisation während des Wachstums der Sommergerste zu berücksichtigen, werden Zu- und Abschläge für die Einflußfaktoren Steinigkeit des Bodens, Gründigkeit, Vorfrucht und deren organische Düngung und organische Düngung zur Frucht vorgenommen. Durch die Bewertung solcher Faktoren wie Vegetationsbeginn und Saattermin wird bei Bedarf (geringer Zeitraum für Bestandesetablierung und Bestockung) die Bestandesentwicklung gezielt gefördert.

Vorfrucht

Die Sommergerste wurde jedes Jahr nach zwei verschiedenen für den nachfolgenden Braugerstenanbau geeigneten Vorfrüchten ausgesät, um in den Einzeljahren Unterschiede sowohl in den N_{min}-Gehalten als auch der N-Nachlieferung zu erreichen. Die Vorfruchtwahl wurde weitge-

hend zufällig vorgenommen. Im Jahr 1993 erfolgte der Braugerstenanbau nach Öllein und Zuckerrüben, 1994 nach Mais und Ackerbohnen, 1995 nach Winterroggen und Winterweizen und 1996 sowie 1997 nach Mais und Winterroggen (Tab. 1). Die Angaben des Versuchsjahres 1994 sind in Tab. 1 nicht enthalten. Die Gründe werden unter dem Punkt Witterung und Wachstumsbedingungen erläutert.

Versuchsanlage

Der Versuch wurde orthogonal als vollständig randomisierte Blockanlage (A · B-Block) mit vier Wiederholungen und einer Einzelparzellengröße von 43,2 m² (12 m · 3,6 m) angelegt. Der Druschkern der Parzelle betrug 12 m² (8,0 m · 1,5 m). Bei der Auswertung wird die Wechselwirkung aus Versuchsjahr und Vorfrucht als Umweltkombination zusammengefaßt.

N_{min}-Mengen zu Vegetationsbeginn

Für die Bestimmung der N_{min}-Gehalte wurden an ca. 15 Stellen der Gesamtfläche der jeweiligen Versuche Bodenproben bis zu einer Tiefe von 90 cm (Schichten 0–30, 30–60 und 60–90 cm) entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt (RICHTER 1980). Nach Schütteln mit 1M KCL-Lösung wurde in dem Filtrat die Menge an NH₄- und NO₃-Stickstoff photometrisch (Epos-Analyzer) bestimmt.

In den Untersuchungsjahren wurden auf den Versuchsfeldern N_{min}-Gehalte zwischen 31 und 69 kg ha⁻¹ in der Bodenschicht 0–60 cm und zwischen 42 und 93 kg ha⁻¹ in 0–90 cm zu Vegetationsbeginn analysiert (Tab. 2). Die dargestellten Werte beinhalten sowohl NO₃- als auch NH₄-N. Dabei besaß der NH₄-Stickstoff nur einen Anteil von 1 bis 5 kg ha⁻¹. Die größere Menge an Bodenstickstoff lag in der oberen Bodenschicht vor. In der Schicht 60–90 cm waren in der Regel zwischen 10 und 20 kg N_{min} ha⁻¹ enthalten. Eine Ausnahme bildet nur das Jahr 1993 nach der Vorfrucht Öllein mit 40 kg N_{min} ha⁻¹ in der tieferen Bodenschicht. Insgesamt waren die Unterschiede in den N_{min}-Gehalten sowohl in Abhängigkeit von der Vorfrucht als auch von den verschiedenen Vegetationsjahren relativ gering.

Ertragskomponenten

Ährendichte (Ährenzahl pro m²): Während der Kornfüllung wurden in je vier 1-Meterstrecken pro Parzelle die Anzahl ährentragender Halme gezählt und aus den Werten die Ährenzahl pro m² ermittelt.

Kornzahl pro Ähre: Die Anzahl Körner pro Ähre wurde aus den Daten für Ährendichte pro m², Tausendkorngewicht und Kornertrag errechnet.

Tausendkorngewicht (TKG): Für die Bestimmung des Tausendkorngewichtes wurden pro Versuchsparzelle viermal 100 Körner ausgezählt und gewogen.

Rohproteingehalt: Der Rohproteingehalt des Korns wurde an Körnern ohne sichtbare Beschädigung mit Hilfe der NIT-Methode bestimmt.

Vollkornanteil: Zu Bestimmung des Vollkornanteils wurde aus jeweils 100 g Erntegut durch Siebung die Kornfraktion >2,5 mm separiert und deren Gewicht ermittelt. Dieses Gewicht wurde in das Verhältnis gesetzt zur Gesamtkornleinwaage (ohne Schwarzbesatz).

Witterung und Wachstumsbedingungen

Die Witterung 1993 war durch extreme Frühjahrstrockenheit gekennzeichnet. Eine danach einsetzende nieder-

Tab. 2: N_{\min} -Gehalte zu Vegetationsbeginn sowie berechnete und applizierte N-Düngermengen (kg N ha^{-1})
 Content of plant available nitrogen in the soil in spring, as well as calculated and applied N rates (kg N ha^{-1})

Versuchsjahr	1993	1993	1995	1996	1996	1997	1997
Vorfrucht	Öllein	Zuckerrüben	Winterroggen	Mais	Winterroggen	Mais	Winterroggen
Bodenschicht	N_{\min} ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$, kg N ha^{-1}) zu Vegetationsbeginn						
0–60 cm	53	31	62	59	69	49	54
0–90 cm	93	42	83	80	80	73	82
Methode	N-Düngung (kg ha^{-1})						
BEFUSG	60	60	50	30	40	60	60
SBA2	30	80	45	50	40	45	45
Sollwert 100	20	70	20	20	25	35	25
Rheinland-Pfalz	50 + 0	80 + 30	40 + 20	40 + 40	35 + 30	60 + 20	50 + 10
BEFU	60	60	55	55	40	60	60

schlagsreiche Wetterlage im Zeitraum Mitte Mai bis Ende August begünstigte die Kornfüllung, förderte aber auch das Auftreten von Pilzkrankheiten und erschwerte die Ernte durch verstärkten Zwiewuchs und hohe Kornfeuchten.

Sehr intensive Niederschläge nach der Aussaat 1994 führten zu Verschlammung der Versuchsflächen und äußerst inhomogenen Beständen, weshalb die Versuche nicht in die Auswertung einbezogen werden konnten.

Unterdurchschnittliche Temperaturen und ausreichende Wasserversorgung im Mai und besonders Juni 1995 bildeten günstige Bedingungen für die Ertragsbildung. Ab Anfang Juli wurde eine Bodenfeuchte von 50% nFK unterschritten, was die Kornfüllung negativ beeinflusste. In diesem Versuchsjahr wurde die Fläche nach Winterweizenvorfrucht stark durch Krähen geschädigt, so daß auch in diesem Fall die Ergebnisse nicht verwendet werden konnten.

Die Sommergerstenbestellung war 1996 erst sehr spät am 18. April möglich. Durch kühle und feuchte Witterung im Mai und Juli bestanden aber noch günstige Bedingungen für Wachstum und Kornfüllung.

Zeitiger Vegetationsbeginn und ausreichende Feuchte vor allem im Mai begünstigten 1997 das Wachstum der Sommergerste.

Statistische Auswertung

Mit Hilfe der Varianzanalyse (A · B-Block) wurde zunächst getestet, ob die Prüffaktoren einen statistisch gesicherten Einfluß auf die Prüfmerkmale in den einzelnen Umweltkombinationen ausgeübt haben. Anschließend wurden durch Mittelwertvergleich (Tukey-Test mit gestaffelten Grenzdifferenzen) signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ermittelt.

Ergebnisse

Stickstoffdüngung

Ausgehend von den N_{\min} -Mengen (Tab. 2) und den Vorfrüchten (Tab. 1) wurden in den einzelnen Jahren mit den verschiedenen Bemessungssystemen N-Düngermengen zwischen 20 und insgesamt 110 kg ha^{-1} empfohlen und appliziert (Tab. 2). Die geringsten Düngermengen wurden

stets auf der Basis des Verfahrens Sollwert 100 ausgebracht. Eine Ausnahme stellt nur der Versuch 1993 nach der Vorfrucht Zuckerrüben dar, bei dem im Programm BEFUSG die Maximalmengenbegrenzung wirksam wurde und zur geringsten N-Düngung führte. Erwartungsgemäß erfolgte in der Düngungsvariante Rheinland-Pfalz die insgesamt höchste N-Düngung. Dabei wies die Höhe der 1. N-Gabe etwa die gleiche Größenordnung wie die Empfehlungen nach BEFUSG oder SBA2 auf. Die Abweichungen der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit von den Vorfrüchten waren in den Einzeljahren mit Ausnahme 1993 relativ gering.

Sortenreaktion

Im Mittel der N-Düngungsempfehlungen und der Vorfrüchte der Versuchsjahre 1995 bis 1997 wies die Sorte Alexis den geringsten Rohproteingehalt auf (Tab. 3). Die Sorten Krona und Maresi zeigten hinsichtlich des Rohproteingehaltes keine signifikanten Unterschiede. Eine Wechselwirkung zwischen Bemessungsverfahren und Sorte konnte in keinem Jahr festgestellt werden (nicht dargestellt). Aus diesem Grund sind alle nachfolgend dargestellten Ergebnisse Mittelwerte der drei Sorten auf den einzelnen Bemessungsstufen.

Ertrag (86% Trockensubstanz)

Die Wirkung der N-Düngung auf den Ertrag (86% TS) ist in Tab. 4 dargestellt. In 5 von 7 Umweltkombinationen wurde bei einer Düngung entsprechend dem System Rheinland-Pfalz der höchste Ertrag ermittelt. Zwischen den Systemen BEFUSG, SBA2 und Rheinland-Pfalz konnten aber keine gesicherten Ertragsdifferenzen ermittelt werden. Einzige Ausnahme bildet das Jahr 1996 nach der Vorfrucht Mais, als bei einer Düngung gemäß dem Programm BEFUSG ein signifikant niedrigerer Ertrag gebildet wurde. Damit beeinflussten die Bemessungsverfahren BEFUSG, SBA2 und Rheinland-Pfalz die Ertragshöhe in gleicher Weise. Ein deutlicher Unterschied existiert in allen Jahren zwischen dem Verfahren mit dem jeweils höchsten Ertrag und dem System Sollwert 100, bei dem signifikant geringere Erträge geerntet worden sind. Nur 1993 nach Zuckerrüben konnten keinerlei Ertragsunterschiede zwischen den vier geprüften Bemessungssystemen erfaßt werden.

Tab. 3: Rohproteingehalt (%) der Sorten im Mittel der N-Bemessungen

Protein content (%) of the varieties averaging the various nitrogen determination methods

Versuchsjahr	1993	1993	1995	1996	1996	1997	1997	Mittel
Vorfrucht	Öllein	Zuckerrüben	Winterroggen	Mais	Winterroggen	Mais	Winterroggen	1995–1997
Sorte								
Alexis	11,4	11,0	12,2	10,9	10,6	10,5	11,3	11,1
Krona	12,2	11,7	12,2	11,8	11,6	11,6	12,3	11,9
Maresi	–	–	12,0	11,3	11,6	11,5	11,9	11,7
Hamina	12,5	12,0						
GD (Tukey) 5% ²⁾	0,26	0,29	¹⁾	0,36	0,41	0,54	0,38	0,53

¹⁾ nur Mittelwerte der einzelnen Varianten verfügbar²⁾ gestaffelt

Tab. 4: Ertrag und Ertragskomponenten in Abhängigkeit von der N-Bemessung im Mittel der Sorten

Yield and yield components depending on nitrogen rating averaging the tested varieties

Versuchsjahr	1993	1993	1995	1996	1996	1997	1997
Vorfrucht	Öllein	Zuckerrüben	Winterroggen	Mais	Winterroggen	Mais	Winterroggen
Methode							
Kornertrag (dt ha ⁻¹)							
BEFUSG	65,0	45,3	45,9	79,9	65,6	64,5	67,8
SBA2	63,1	47,4	48,4	83,6	65,5	63,1	66,9
Sollwert 100	61,1	47,4	43,4	76,8	61,0	62,4	65,5
Rheinland-Pfalz	63,1	47,8	45,2	84,7	68,9	67,0	70,3
GD(Tukey)5% ¹⁾	3,04	3,18	4,03	4,09	5,54	4,37	4,30
Ährendichte (Ähren m ⁻²)							
BEFUSG	857	636	629	604	517	604	711
SBA2	811	663	650	647	518	608	650
Sollwert 100	759	656	578	595	494	596	644
Rheinland-Pfalz	849	759	689	607	535	645	692
GD(Tukey)5% ¹⁾	97,9	72,6	74,1	62,0	59,3	52,3	77,3
Kornzahl pro Ähre							
BEFUSG	15,7	14,6	21,2	26,4	25,2	22,4	20,8
SBA2	15,6	14,4	22,7	25,9	24,9	21,8	22,0
Sollwert 100	15,9	14,6	21,9	25,8	24,4	21,7	21,6
Rheinland-Pfalz	14,9	13,0	16,8	27,9	25,6	22,0	22,4
GD(Tukey)5% ¹⁾	1,68	1,39	4,52	2,59	2,93	2,29	2,5
Tausendkorngewicht (g)							
BEFUSG	48,8	49,5	34,4	50,4	50,7	47,8	46,1
SBA2	50,4	49,9	34,7	50,3	51,1	48,1	47,1
Sollwert 100	51,1	49,1	34,5	50,1	50,7	48,4	47,7
Rheinland-Pfalz	50,2	48,6	31,9	50,1	51,1	47,6	45,8
GD(Tukey)5% ¹⁾	1,62	1,52	1,8	1,29	1,09	1,52	0,94

¹⁾ gestaffelt

Tab. 5: Qualitätsparameter in Abhängigkeit von der N-Bemessung

Quality depending on nitrogen rating

Versuchsjahr	1993	1993	1995	1996	1996	1997	1997
Vorfrucht	Öllein	Zuckerrüben	Winterroggen	Mais	Winterroggen	Mais	Winterroggen
Methode	Rohproteingehalt (% TS)						
BEFUSG	12,3	11,1	12,1	10,9	11,1	11,6	12,3
SBA2	12,0	11,6	12,1	11,7	11,1	10,9	11,9
Sollwert 100	11,9	11,3	11,7	10,9	10,7	10,4	11,1
Rheinland-Pfalz	12,1	12,3	12,6	11,9	12,1	12,0	12,1
GD(Tukey)5% ³⁾	0,32	0,37	¹⁾	0,46	0,53	0,70	0,49
	Vollkornanteil (%)						
BEFUSG	85	90	²⁾	97	98	99	97
SBA2	89	88		96	98	98	98
Sollwert 100	90	89		97	97	98	98
Rheinland-Pfalz	87	86		96	98	97	96
GD(Tukey)5% ³⁾	1,7	2,5		1,2	0,8	0,8	1,1

¹⁾ nur Mittelwerte der einzelnen Varianten verfügbar²⁾ wurde nicht bestimmt³⁾ gestaffelt

Ertragskomponenten

Nur 1993 nach beiden Vorfrüchten und 1995 nach Winterroggen war ein signifikanter Einfluß der N-Düngerbemessung auf die Ährendichte nachweisbar (Tab. 4). Nach Öllein 1993 und Winterroggen 1995 besaßen die entsprechend dem Verfahren Sollwert 100 gedüngten Varianten eine eindeutig geringere Ährendichte als die Varianten mit einer Düngung basierend auf dem System Rheinland-Pfalz. Im Versuchsjahr 1993 wurde nach der Vorfrucht Zuckerrüben die höchste Anzahl an Ähren pro m² bei einer Düngung gemäß dem Verfahren Rheinland-Pfalz gebildet. Unter Einbeziehung aller Umweltkombinationen deutet sich eine Zunahme der Ährendichte mit Erhöhung der Stickstoffapplikation an.

Auch die pro Ähre gebildete Zahl an Körnern wurde nur 1993 nach Zuckerrüben und 1995 nach Winterroggen signifikant durch die N-Düngung beeinflusst (Tab. 4). Unter beiden Bedingungen wurden bei einer Düngung nach dem System Rheinland-Pfalz die geringste Kornzahl pro Ähre ausgebildet. Ursache dafür ist sicher ein Kompensationseffekt, da in diesen Varianten die größte Ährendichte erreicht wurde. In allen anderen Umweltkombinationen konnte keine einheitliche Wirkungstendenz der N-Düngung auf die Kornzahl pro Ähre festgestellt werden.

Das Tausendkorngewicht wurde wesentlich stärker durch die Sorten als durch die Stickstoffdüngerbemessung bestimmt. Auch wenn sich nach Öllein 1993 sowie nach Winterroggen 1995 und 1997 statistisch gesicherte Unterschiede ergeben haben, wurde kein genereller Einfluß der N-Düngung auf das TKG deutlich (Tab. 4).

Qualität

Ein wesentlicher Qualitätsparameter der Braugerste ist der Rohproteingehalt, der unter den einzelnen Versuchsbedingungen zwischen 10,4 und 12,6% variierte (Tab. 5). Dabei konnte im Jahr 1993 nach Öllein und 1995 nach Winter-

roggen mit keiner der geprüften Düngungsstrategien die Einhaltung eines Rohproteingehaltes unter 11,5% gesichert werden. Ausnahmen bilden nur die Sorten Alexis (1993, Tab. 3) und Maresi (Einzelvarianten 1995, nicht dargestellt) mit günstigen Rohproteineigenschaften, bei denen die Rohproteingehalte den Anforderungen entsprechen. Im Jahr 1995 wurde der Rohproteingehalt kapazitätsbedingt nur variantenweise analysiert, wodurch eine varianzanalytische Auswertung nicht möglich ist. Ausgehend von den Daten für die Ertragskomponenten ist anzunehmen, daß sich die Streuung zwischen den Parzellenwerten der einzelnen Varianten nicht wesentlich von denen der anderen Untersuchungsjahre unterscheidet.

Unter allen Untersuchungsbedingungen wurde der geringste Rohproteingehalt bei einer N-Düngung nach dem Prinzip Sollwert 100 analysiert. Häufig konnte aber der Unterschied zu den Varianten BEFUSG (in 3 Umwelten) und SBA2 (in 4 Umwelten) nicht statistisch gesichert werden. Der größte Rohproteinwert wurde mit Ausnahme 1993 nach Öllein bei einer Düngung entsprechend dem System Rheinland-Pfalz bestimmt. Die Werte lagen im Mittel 1,0% höher als in der Variante Sollwert 100 und meist deutlich über der geforderten Qualitätsgrenze.

Der Vollkornanteil entsprach 1993 nur in Einzelfällen, 1996 und 1997 generell den Lieferbedingungen für Braugerste (Tab. 5). Im Jahr 1995 konnte die Bestimmung des Vollkornanteils aus Kapazitätsgründen nicht durchgeführt werden. Unterschiede im Vollkornanteil in Abhängigkeit von den N-Düngungsverfahren waren vor allem 1996 und 1997 nicht sehr deutlich ausgeprägt. In der Tendenz deutet sich aber an, daß bei einer Düngung nach dem System Rheinland-Pfalz im Vergleich zu den anderen Verfahren niedrigere Vollkornanteile erreicht wurden. Die Bemessungsstrategien BEFUSG, SBA2 und Sollwert 100 unterschieden sich in ihrer Wirkung auf den Vollkornanteil wiederum nur unwesentlich.

Diskussion

Witterungsschwankungen sind eine wesentliche Ursache für die Varianz von Ertrag und Qualität der Braugerste (VARVEL & SEVERSON 1987, KLUSAK 1989, DE RUITER & BROOKING 1996). Dies wird auch in den vorliegenden Untersuchungen deutlich, in denen die Erträge im Mittel der Sorten zwischen 43,4 (1995, Winterroggen, Sollwert 100) und 84,7 dt ha⁻¹ (1996, Mais, Rheinland-Pfalz) und die Rohproteingehalte zwischen 10,4 (1997, Mais, Sollwert 100) und 12,6% (1995, Winterroggen, Rheinland-Pfalz) variierten. Durch die Anpassung des Anbaumanagements besteht aber die Möglichkeit, die Wirkung von Umweltfaktoren zu mindern. Eine entscheidende Maßnahme in dieser Hinsicht ist die N-Düngung. Diese kann wiederum mit der Jahreswitterung in Wechselwirkung treten (VARVEL & SEVERSON 1987). Ein Beispiel dafür ist der Versuch 1993 nach der Vorfrucht Öllein, wo auch bei einer Düngung nach der Methode Sollwert 100 mit lediglich 20 kg N ha⁻¹ keine Brauqualität erzielbar war. Eine Ursache für die unbefriedigenden Qualitätseigenschaften 1993 nach Öllein könnte darin bestehen, daß durch die Bemessungsprogramme die N-Nachlieferung aus den Ernte- und Wurzelrückständen des Ölleins nicht richtig bewertet worden ist, da bisher kaum Untersuchungen darüber vorliegen. Nachteilig könnte sich auch ausgewirkt haben, daß in der Bodenschicht 60–90 cm eine N_{min}-Menge von 40 kg ha⁻¹ enthalten war (Tab. 2), deren Aufnahme durch die Pflanzen etwa im Zeitraum Blüte bis Beginn Kornfüllung angenommen werden kann (HARTMANN 1985). Innerhalb dieser Entwicklungsstadien aufgenommener Stickstoff wird vor allem für die N-Einlagerung im Korn genutzt, was zur Erhöhung der Rohproteingehalte führt (BULMAN & SMITH 1993b, c, BAETHGEN et al. 1995). Bei der Erklärung der hohen Rohproteingehalte im Jahr 1995 ist davon auszugehen, daß in den relativ dichten Beständen nach Winterroggenvorfrucht die Kornausbildung nur ungenügend gewährleistet werden konnte. Darauf deuten die geringen Tausendkorngewichte zwischen 31,9 und 34,7 g hin (Tab. 4).

Von den Normalbedingungen des Standortes mehr oder weniger abweichende Witterungseinflüsse werden auch in naher Zukunft nicht abschätzbar und bewertbar sein und müssen somit als natürliches Risiko beim Braugerstenanbau betrachtet werden. Trotzdem gilt es, durch eine optimal bemessene N-Düngung dieses Risiko möglichst gering zu halten.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß eine Unterteilung der N-Düngung verbunden mit einer gleichzeitigen Erhöhung der insgesamt applizierten N-Menge keine gesicherte Ertragszunahme bewirkte. Darüber hinaus deuten vor allem die Ergebnisse des Jahres 1993 nach der Vorfrucht Zuckerrüben darauf hin, daß unter den gegebenen Standortbedingungen selbst bei vergleichsweise geringen N_{min}-Mengen im Boden (42 kg N ha⁻¹, 0–90 cm) bei einer Düngung über 60 kg N ha⁻¹ hinaus eine Einhaltung der Qualitätsparameter kaum möglich ist. Mit diesen Befunden werden Untersuchungsergebnisse von MORITZ & MÜLLER (1982) bestätigt, die für den Braugerstenanbau im mitteldeutschen Raum eine N-Düngung von 0 bis 60 kg ha⁻¹ als optimal beurteilten. Gleichzeitig ist dies ein Hinweis dafür, daß sich der N-Bedarf der Braugerste auch durch den Einsatz ertragsstärkerer Sorten (Krona und Maresi im Vergleich zu Alexis) kaum verändert hat.

Ausgehend von der relativ geringen Ertragssteigerung von 0 bis 4,8 dt ha⁻¹ durch die Erhöhung der N-Düngerapplikation um 10 bis 50 kg N ha⁻¹ bei der Anwendung des Systems Rheinland-Pfalz im Vergleich zu den bisher in

der Region angewandten N-Bemessungsverfahren (SBA2, BEFUSG), kann angenommen werden, daß im Mitteldeutschen Trockengebiet weniger die Stickstoffversorgung den limitierenden Faktor für Ertrag und Qualität der Braugerste darstellt als vielmehr die Wasserbereitstellung und die Wachstumsbedingungen während der Kornfüllungsphase. Aus diesem Zusammenhang heraus könnte auch die geringe bzw. fehlende Wirkung der Stickstoffdüngung auf die Ertragskomponenten erklärt werden. BULMAN & SMITH (1993a) begründen ebenfalls den fehlenden Einfluß der N-Düngung auf die Ertragskomponenten in ihren Untersuchungen damit, daß der Stickstoff nicht der ertragsbegrenzende Faktor war. Insgesamt ist es kompliziert, Bewirtschaftungseffekte auf einzelne Ertragskomponenten nachzuweisen, da Kompensationsbeziehungen zwischen ihnen bestehen (BAETHGEN et al. 1995). Bei einer Stickstoffdüngung gemäß den Programmen BEFUSG und SBA2 lagen die einzelnen Ertragsparameter Ährendichte, Kornzahl pro Ähre und Tausendkorngewicht im mittleren bis hohen Bereich. Daraus kann gefolgert werden, daß bei einer Düngerbemessung mit Hilfe dieser Verfahren weniger eine spezifische Ertragskomponente besonders positiv beeinflusst wurde, sondern, daß insgesamt ein günstigeres Verhältnis aller Ertragsparameter erreicht wurde.

Wesentliches Kriterium für die N-Düngung im Braugerstenanbau ist die möglichst weitgehende Ausschöpfung des Ertragspotentials bei gleichzeitiger Sicherung der Qualitätseigenschaften. Berücksichtigt man diese Anforderungen, kann trotz der in der Tendenz höchsten Ertragsausschöpfung die Nutzung des Steuerungssystems Rheinland-Pfalz unter den Standortbedingungen von Leipzig-Seehausen nicht empfohlen werden, da der Rohproteingehalt negativ beeinflusst wurde. Im Gegensatz dazu konnte bei einer N-Düngung auf der Grundlage der Methode Sollwert 100 zwar den Qualitätsansprüchen hinsichtlich des Rohproteingehaltes entsprochen werden, die Ertragsleistung der Braugerste war jedoch deutlich geringer. Daraus ergibt sich, daß die Stickstoffversorgung zu Vegetationsbeginn nicht zu gering bemessen werden darf, um günstige Grundlagen für eine ausreichende Ährendichte und hohe Kornzahlen pro Ähre zu schaffen.

Unter den Boden- und Witterungsbedingungen des Versuchsstandortes garantierten die N-Bemessungsprogramme BEFUSG und SBA2 am ehesten, daß das Braugerstenertragspotential bei gleichzeitiger Einhaltung eines niedrigen Rohproteingehaltes so weit wie möglich ausgeschöpft wurde.

Mit Hilfe des Programms BEFU wurden nachträglich Düngungsempfehlungen ermittelt (Tab. 2), die mit Berechnungsergebnissen der Systeme BEFUSG und SBA2 vergleichbar sind. Daraus kann abgeleitet werden, daß das Programm BEFU ähnlich günstig wie BEFUSG und SBA2 für die Bemessung der N-Düngerhöhe zu Braugerste im Mitteldeutschen Trockengebiet einzuschätzen ist.

Damit haben sich vor allem die Bemessungsverfahren als vorteilhaft erwiesen, die mittlere N-Düngermengen empfehlen, sich aber auf nur eine Stickstoffapplikation zur Saat beschränken und Anbaubedingungen wie Bodenart, Vorfrucht und Versorgung des Bodens mit organischer Substanz berücksichtigen.

Literatur

- ANONYMOS, 1991: Rheinland-Pfalz. Modifizierte N_{min}-Methode, Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Mainz.
 BAETHGEN, W. E., C. B. CHRISTIANSON & A. G. LAMOTHE, 1995: Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield, and yield components of malting barley. *Field Crop Research* **44**, 87–99.

- BULMAN, P. & D. L. SMITH, 1993a: Yield and yield component response of spring barley to fertilizer nitrogen. *Agron. J.* **85**, 226–231.
- BULMAN, P. & D. L. SMITH, 1993b: Grain protein response of spring barley to high rates and post-anthesis application of fertilizer nitrogen. *Agron. J.* **85**, 1109–1113.
- BULMAN, P. & D. L. SMITH, 1993c: Accumulation and redistribution of dry matter and nitrogen by spring barley. *Agron. J.* **85**, 1114–1121.
- DE RUITER, J. M. & I. R. BROOKING, 1996: Effects of sowing date and nitrogen on dry matter and nitrogen partitioning in malting barley. *New Zealand J. of Crop and Horticulture Science*. **24**, 65–76.
- ENGEL, T. & H. FRIEDRICH, 1994: Düngung und Pflanzenschutz – kostenbewußt und umweltgerecht. *AID-Informationen* 5412, 5–15.
- FÖRSTER, F., H. ERNST & E. ALBERT, 1997: BEFU. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- HARTMAN, B., 1985: Aneignung des anorganischen Bodenstickstoffs durch Sommergerste aus verschiedenen Bodentiefen. Diss., Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Halle-Wittenberg.
- KLUSAK, H., 1989: Relationship between selected features of N metabolism and nitrogen nutrition of spring barley genotypes. *Rostlinna Vyroba* **35** (9), 949–956.
- MORITZ, D. & S. MÜLLER, 1982: Stickstoffdüngung zu Braugerste unter besonderer Berücksichtigung des Gehaltes an anorganischem (N_{an}) Stickstoff im Boden. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **26** (3), 159–164.
- PFEFFERKORN, A. & M. KÖRSCHENS, 1995: Der internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Bad Lauchstädt nach 16 Jahren. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **39**, 413–427.
- RICHTER, A., 1980: Untersuchungen zur Bestimmung des anorganischen Bodenstickstoffs und zur Repräsentativität der dabei erzielten Meßwerte. Diss., Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Halle-Wittenberg.
- SCHARPF, H. C. & J. WEHRMANN, 1975: Die Bedeutung des Mineralstoffvorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen. *Landwirtschaftliche Forschung Sonderheft* **32/I**, 100.
- SCHUSTER, C., 1990: Ergebnisse des Großtestes mit dem BC-Programm Stickstoffdüngung Sommergerste. *Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss.* **294**, 325–333.
- STURM, H., A. BUCHNER & W. ZERULLA, 1994: Gezielter düngen. DLG Verlag, Frankfurt/Main.
- VARVEL, G. E. & R. K. SEVERSON, 1987: Evaluation of cultivar and nitrogen management options for malting barley. *Agron. J.* **79**, 459–463.
- VON WULFFEN, U. & F. HOLZ, 1994: Berechnung der ersten N-Düngergabe anhand der N_{min} -Gehalte und des Düngungsberatungsmodells SBA (Stickstoff-Bedarfs-Analyse). Erste Erfahrungen über die Anwendbarkeit des Verfahrens in Sachsen-Anhalt. *VDLUFA-Schriftenreihe* **38**, 211–214.
- WEHRMANN, J. & H. C. SCHARPF, 1991: Fachgerechte Stickstoffdüngung. *AID-Informationen* 1017.

Eingegangen am 23. März 1998;
angenommen am 03. Juli 1998

Anschrift der Verfasser:

Dr. Carola Schuster, Prof. Dr. Hans-Georg Stock, Prof. Dr. Wulf Diepenbrock, Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Ludwig-Wucherer-Straße 2, D-06099 Halle