



Extensivierung der Stickstoffdüngung im Getreidebau

Boy FBIL, Institut für Pflanzenwissenschaften, Gruppe Ackerbau und Pflanzenzüchtung (Prof. P. Stamp), ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

Die Extensivierung der Stickstoffdüngung reduziert den Ertrag und die Proteinkonzentration von Getreide. Extensivierung ist auf regionaler Ebene machbar, aber wegen der Zunahme der Weltbevölkerung kein global anwendbares Konzept. Die sich anbahnenden Welternährungsprobleme können nur partiell durch Pflanzenzüchtung gelöst werden. Insbesondere droht eine Proteinlücke. Da ohne Stickstoff kein Protein gebildet werden kann, wird die Bedeutung des Bodens als Speicher und Lieferant von Stickstoff zunehmen.

Unter ungünstigen Bedingungen kann eine intensive Düngung von Stickstoff (N) eine Vielzahl von Umwelt- und Gesundheitsproblemen verursachen. Die potentiellen Nachteile hoher N-Düngung beschränken sich nicht auf synthetische Dünger, sondern sie treten grundsätzlich auch bei organischer N-Düngung auf, also bei der Verwendung von Hofdüngern, Kompost, Klärschlamm und beim intensiven Anbau von Leguminosen. Die mit hoher N-Düngung assoziierten Umwelt- und Gesundheitsprobleme könnten Regierungen dazu veranlassen, die Düngung von N durch gesetzliche Regelungen stark einzuschränken. Da organische N-Dünger grundsätzlich nicht anders zu bewerten sind als Mineraldünger, würden solche Beschränkungen konsequenterweise alle Formen der N-Düngung gleichermaßen betreffen müssen.

Stickstoff beeinflusst Ertrag und Qualität

Im folgenden sollen die Folgen einer solchen Massnahme für den Ertrag und die Qualität von Weizen, der weltweit wichtigsten Kulturart, erörtert werden. Bei Weizen ist das Protein der wichtigste wertgebende Inhaltsstoff, weil die Proteinkonzentration im Korn die ernährungsphysiologische Qualität und die Backqualität massgeblich beeinflusst. Daher werden zunächst die grundsätzlichen Beziehungen zwischen N-Verfügbarkeit, Kornertrag, Proteinерtrag und Proteinkonzentration näher betrachtet (Abb. 1). Die ungewöhnliche Kurve für die Proteinkonzentration erklärt sich aus der Tatsache, dass die Kornproteinkonzentration als das Verhältnis des Proteinерtrages (= Protein-

menge im Korn auf Flächenbasis) zum Kornertrag definiert ist. Wenn eine Düngung von N sich stark ertragssteigernd auswirkt, kann die Proteinkonzentration im Korn aufgrund eines Verdünnungseffektes sinken (Piper-Steenbjerg-Effekt), umgekehrt kann eine Reduktion der N-Düngung einen Anstieg der Proteinkonzentration herbeiführen. Aus Abbildung 1 lässt sich nun ableiten, dass eine Senkung der N-Verfügbarkeit von «optimal für den Kornertrag» auf ein deutlich niedrigeres Niveau gleichzeitig Kornertrag und Proteinkonzentration senken wird. Dabei ist die Proteinkonzentration stärker als der Ertrag betroffen. Ein von uns in der Westschweiz durchgeführter Feldversuch bestätigt diese Vorhersage: Infolge der Reduktion der N-Düngung von 140 kg N/ha (=Ausgangssituation) auf 40 kg N/ha (=Szenario 1) sank der Kornertrag um 16 %, die Proteinkonzentration aber um 21 % (Tab. 1).

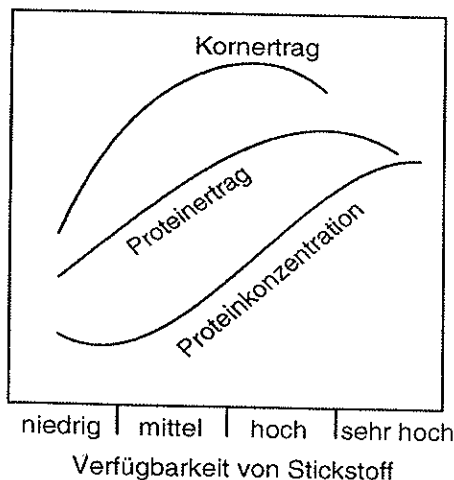


Abb. 1. Beziehung zwischen N-Verfügbarkeit und Kornertrag, Kornproteinерtrag und Kornproteinkonzentration.

Kann die Züchtung helfen?

Die negativen Folgen der Extensivierung könnten theoretisch durch den Anbau besserer Sorten ausgeglichen werden. Die in der Vergangenheit erreichten genetischen Ertragszuwächse sind beeindruckend, und es gibt keinerlei Anzeichen für einen verlangsamten Zuchtfortschritt in jüngerer Zeit. Daher denke ich, dass in wenigen Jahren Sorten zur Verfügung stehen werden, die bei reduzierter N-Düngung den gleichen Ertrag erzielen können wie die heutigen Sorten bei vergleichsweise hoher Düngung. Wie sind nun aber die Chancen der Züchtung auf hohe Proteinkonzentrationen zu beurteilen? Eine notwendige Voraussetzung für den Zuchtfortschritt ist die Existenz genetischer Variabilität. Bei Weizen gibt es eine enorme genotypische Spannbreite in der Proteinkonzentration. So fand man zum Beispiel in den Körnern von Weizenherkünften (*Triticum dicocoides*) aus dem Nahen Osten Proteinkonzentrationen von über 27 %, während die Proteinkonzentrationen bei den hierzulande zugelassenen *T. aestivum*-Sorten zumeist nicht einmal halb so hoch sind. Der Züchtung auf Protein stellt sich jedoch ein gravierendes Hindernis entgegen: Zwischen Proteinkonzentration und Kornertrag besteht eine inverse Beziehung. Dies bedeutet, dass sehr hohe Proteinkonzentrationen immer nur bei Sorten mit sehr niedrigen Kornerträgen gefunden werden, während ertragreiche Sorten nie hohe Proteinkonzentrationen aufweisen (Abb. 2). Höhe und Verteilung der N-Düngung ändern nichts an diesem Sachverhalt (Bänziger *et al.* 1991), der auch bei Triticale nachgewiesen wurde (Fossati *et al.*, 1993). Ähnliche Beziehungen scheinen auch bei Mineralstoffen zu bestehen (Feil und Fossati 1995). Die negative Korrelation zwischen Ertrag und Proteinkonzentration in aktuellen Sortimenten lässt vermuten, dass alte, also ertragschwache Sorten zumeist relativ hohe Proteinkonzentrationen aufweisen. Dies wurde in mehreren Studien, in denen alte und neue Sorten

miteinander verglichen wurden, nachgewiesen (Feil 1992). Weshalb senkt die Züchtung auf Ertrag die Proteinkonzentration? Bei der Züchtung auf Ertrag wird im wesentlichen nur die Menge der Kohlenhydrate im Korn erhöht, während die Proteinmenge im Korn kaum verändert wird. Da sich die Proteinkonzentration aus dem Verhältnis zwischen Proteinergtrag und Kornertrag ergibt (s. Abb. 1), sinkt die Proteinkonzentration durch den Zuwachs an Kornertrag infolge eines Verdünnungseffektes ab (vgl. Szenario 2 in Tab. 1). Wenn dies vermieden werden soll, muss gleichzeitig auf Ertrag und Protein gezüchtet werden.

Stickstoff limitiert die Proteinbildung

Die Bildung von Protein ist energetisch sehr viel aufwendiger als die Bildung von Stärke. Daher werden gelegentlich bioenergetische Begrenzungen als Grund für die inverse Beziehung zwischen Ertrag und Proteinkonzentration angegeben. Es gibt jedoch einige gewichtige Argumente gegen diese Ansicht (Bänziger *et al.* 1994), so dass an dieser Stelle nicht weiter auf diese interessante Hypothese eingegangen werden soll. Protein besteht aus Aminosäuren; Aminosäuremoleküle enthalten ein bis zwei N-Atome. Daraus folgt: Ohne N kann kein Protein gebildet werden. Somit werden die Erfolgsaussichten der Züchtung auf Protein nicht nur durch genetische Faktoren, sondern auch durch die Verfügbarkeit von N im System Boden-Pflanze determiniert. Verbesserte Sorten können das für die Bildung von Kornprotein benötigte N aus drei grossen

Tab. 1. Effekt der Extensivierung (=Reduktion der N-Düngung) auf Kornertrag und Kornproteinkonzentration bei aktuellen Sommerweizensorten (Szenario 1), ertragreichen Neuzüchtungen (Szenario 2) und ertragreichen Neuzüchtungen mit hohen Proteinträgen (Szenario 3)

N-Düngung/ Sortenwahl	Kornertrag (t/ha)	Kornprotein (%)
Ausgangssituation^a		
140 kg N/ha mit aktuellen Sorten	6,9	14,4
Szenario 1^a		
40 kg N/ha mit aktuellen Sorten	5,9	11,4
Szenario 2^b		
40 kg N/ha mit zukünftigen Hohertragsorten	6,9	9,6
Szenario 3^c		
40 kg N/ha mit zukünftigen Hochprotein-Hohertragsorten	6,9	12,0

^a Die Daten sind Mittelwerte von 11 Sorten/Linien und zwei Versuchsjahren (Bänziger 1992).

^b Kornertrag wie bei 140 kg N/ha Düngung; Kornproteinertrag wie im Szenario 1.

^c Kornertrag wie bei 140 kg N/ha Düngung; der Kornproteinertrag ist gegenüber Szenario 2 um 171 kg/ha (30 kg N x 5,7) erhöht.

N-Pools (Stroh-N, Boden-N, «verlorenes» N) beziehen. Unter unseren Klimabedingungen und bei den zurzeit angebaute Sorten sind knapp 20 % der gesamten N-Menge der reifen Pflanzen im Stroh lokalisiert. Während der Reife findet man noch gewisse Restmengen an mineralischem N (Rest-N_{min}) im Boden; bei niedriger bis moderater Düngung bewegen sich die Werte in der Regel zwischen 20 bis 40 kg N/ha. In N-Düngungsversuchen wird häufig beobachtet, dass nur etwa 2/3 des Dünger-N von den Pflanzen aufgenommen wird. Wenn das nicht verwertete Dünger-N nicht als Nitrat oder Ammonium nach der Ernte im Boden nachgewiesen werden kann, muss das System Boden-Pflanze pflanzenverfügbares N «verloren» haben. N-Verluste können auch auf ungedüngten Flächen auftreten, nur sind sie dort nicht so offensichtlich. Dem Boden kann pflanzenverfügbares N durch diverse Prozesse abhanden kommen: Nitratauswaschung, Verflüchtigung von Ammoniak, Denitrifikation, Immobilisation von Ammonium in den Zwischenschichten von Tonmineralen, mikrobielle Immobilisation von Nitrat und Ammonium. Die Pflanzen können ebenfalls N verlieren, und zwar durch Ammoniakverflüchtigung, Blattverluste, Auswaschung von N-haltigen Verbindungen aus Blättern im Regen und Ausscheidung von N in die Rhizosphäre. Das Ausmass der N-

Verluste aus dem System Boden-Pflanze ist stark umweltabhängig und wegen der Vielzahl der beteiligten Prozesse, aber zum Teil auch aus technischen Gründen, nur schwer zu quantifizieren. Wie unsere Untersuchungen gezeigt haben, sind etwa 25 kg N/ha im Stroh gebunden; die Rest-N_{min}-Menge im Boden ist ebenfalls mit ungefähr 25 kg N/ha zu beziffern. Wenn wir davon ausgehen, dass die Verluste aus dem System Boden-Pflanze 50 kg N/ha betragen, stehen für die zusätzliche Proteinbildung gesamthaft noch ungefähr 100 kg/ha zur Verfügung. Dies ist ein oberer Grenzwert; wieviel davon von verbesserten Sorten tatsächlich nutzbar ist, ist unbekannt. Es ist nicht vorstellbar, dass Hochproteinsorten das Stroh vollständig an N zu entleeren vermögen. Zudem dürften N-Verluste durch mikrobielle Immobilisation wohl kaum zu vermeiden sein. Ferner bestehen berechnete Zweifel hinsichtlich der Verfügbarkeit des Rest-N_{min}. Unter diesen Umständen ist eine 30 %ige Ausbeutung der N-Pools bereits als grosser züchterischer Erfolg zu bewerten. Nachteilig für die Züchtung auf Protein ist sicher, dass offensichtlich viele physiologische Merkmale züchterisch bearbeitet werden müssen. Unklarheit besteht auch hinsichtlich der Bedeutung zweier bisher nicht erwähnter N-Quellen für die N-Versorgung von Weizenbeständen. Weizen kann einige wenige kg N/Jahr aus der Assoziation mit diazotrophen Bakterien gewinnen. Ferner besteht zumindest theoretisch die Möglichkeit, dass Getreide aktiv die Mineralisation von organischer Substanz in der Rhizosphäre und damit die Freisetzung von pflanzenverfügbarem N stimulieren kann. Da wir nicht wissen, ob die Nutzung dieser potentiellen N-Quellen züchterisch verbessert werden kann, werden sie in den nun folgenden Überlegungen nicht berücksichtigt. Wenn durch die Züchtung auf Protein zusätzlich 30 kg N/ha aus den drei oben erwähnten N-Pools in Kornprotein konvertiert werden, steigt die Proteinkonzentration auf beachtliche 12 % (vgl. Szenario 3 in Tab. 1). Damit ist die durch den genetischen Ertragsfortschritt hervorgerufene Senkung der Proteinkonzentration wieder kompensiert. Bei nur 40 kg/ha Dünger-N erreichen die hypothetischen Hochprotein-Hohertragsorten jedoch nicht annähernd die Proteinkonzentration, die Normalsorten bei 140 kg N/ha erzielen. Dafür müssten die oben erwähnten N-Pools fast vollständig ausgebeutet werden, was kaum möglich sein dürfte.

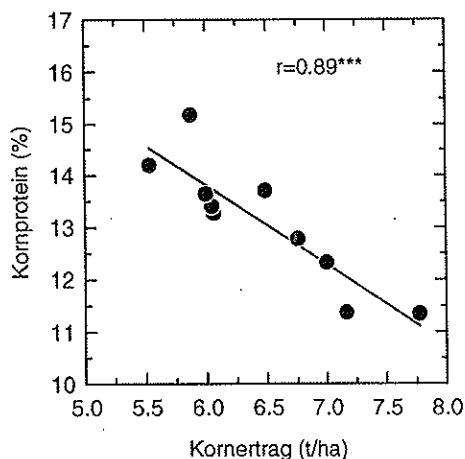


Abb. 2. Beziehung zwischen Kornertrag und Kornproteinkonzentration in einem aus elf Sorten/Linien bestehendem Sommerweizensortiment. Die Daten sind Mittelwerte von vier N-Düngungsvarianten und zwei Versuchsjahren (Bänziger und Feil, unveröffentlicht).

Langzeiteffekte reduzierter Stickstoffdüngung

Die eher moderaten extensivierungsbedingten Ertragsseinbussen in Tabelle 1 lassen vermuten, dass die Bauern die N-Düngung ohne gravierende Einkommensseinbussen deutlich reduzieren können. Dies ist aber nur auf kurze Sicht richtig; langfristig muss leider mit massiven Ertragsdepressionen gerechnet werden. Der in Abbildung 3 dargestellte Langzeiteffekt eines völligen Verzichts auf N-Düngung ist ein extremes Beispiel, aber dieser Trend wird im Grunde schon bei einer nur leicht reduzierten N-Düngung (N-Soll minus 15 %) andeutungsweise sichtbar. Insbesondere wird deutlich, dass bei extensiver Wirtschaftsweise die Erträge aller Kulturarten kontinuierlich abnehmen. Weshalb müssen wir offenbar zwischen Kurz- und Langzeiteffekten der Intensivierung unterscheiden? Die Ursache ist die negative N-Bilanz. Bei reduzierter N-Düngung wird nämlich mehr N vom Feld exportiert (in Form von Protein im Erntegut) als importiert (durch Düngung). Wenn über viele Jahre hin die N-Bilanz eines Feldes stark negativ ist, wird die N-Nachlieferung des Bodens aus der Mineralisation der organischen Substanz sukzessive abnehmen. Das Ergebnis sind kontinuierlich sinkende Erträge. Im Szenario 1 (Tab. 1) fanden wir eine einfache N-Bilanz von -76 kg N/ha, während diese bei Düngung von 140 kg N/ha (= Ausgangssituation) -35 kg N/ha betrug. Die im Stroh enthaltenen N-Mengen blieben in dieser Rechnung unberücksichtigt. Die negative N-Bilanz von 76 kg/ha lässt vermuten, dass bei langfristiger Düngung von nur 40 kg N/ha die Erträge langsam abnehmen werden. Wie sich aus Abbildung 1 ableiten lässt, gilt dies auch für die Kornproteinkonzentration bis ein Fast-Plateau erreicht ist. Die durch die negative N-Bilanz herbeigeführte Reduktion der Bodenfruchtbarkeit wird durch den Anbau von Hochproteinsorten beschleunigt, denn diese verschlechtern die N-Bilanz deutlich, weil mehr N in Form von Protein vom Feld exportiert wird.

Ich halte es für durchaus möglich, dass der zukünftige Zuchtfortschritt im Kornertrag ausreichend ist, um die extensivierungsbedingten Ertragsdepressionen wieder auszugleichen. Der Anbau von Hohertragsorten führt jedoch aufgrund der oben beschriebenen inversen Beziehung zwischen Ertrag und Protein zu massiven Senkungen der Kornproteinkonzentration.

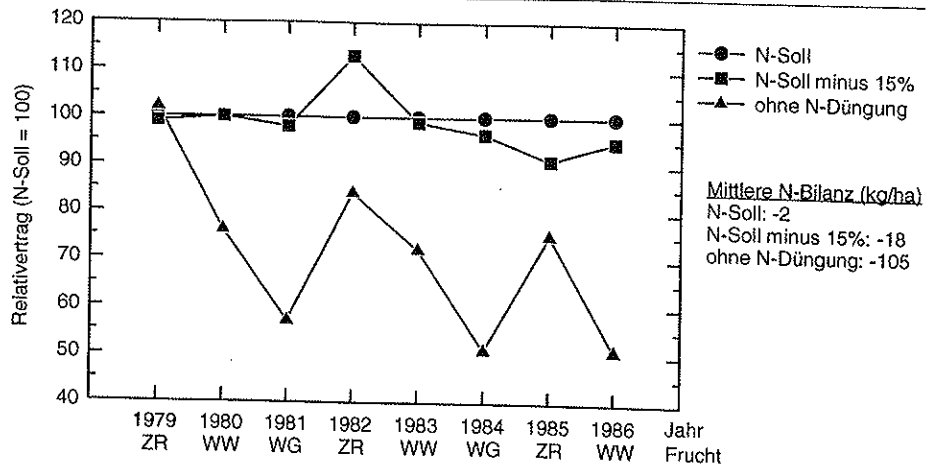


Abb. 3. Langzeiteffekt einer variierten N-Düngung auf die Ertragsleistung verschiedener Feldfrüchte. ZR = Zuckerrüben; WW = Winterweizen; WG = Wintergerste. Nach Knittel und Zerulla (1987).

on. Die Abnahme der Proteinkonzentration kann durch gezielte Züchtung auf Protein nur bedingt kompensiert werden, da wie oben demonstriert wurde - die Grösse der N-Pools limitiert ist. Dies trifft insbesondere auf extensive Landbausysteme zu, weil bei ihnen die N-Reserven im Stroh und die N-Verluste aus dem System Boden-Pflanze naturgemäss gering sind.

Extensivierung in Industrieländern machbar

Es muss also damit gerechnet werden, dass eine gesetzlich bedingte Reduktion der N-Düngung die Proteinkonzentration im Weizenmehl senkt. Niedrigere Proteinkonzentrationen sind für den Verbraucher in den westlichen Industrieländern durchaus zumutbar, denn aufgrund des hohen Konsums tierischer Produkte ist in der Regel eine ausreichende Proteinversorgung gewährleistet. Für akzeptable halte ich ebenfalls die verschlechterte Backqualität, denn der Verbraucher erwirbt ein Nahrungsmittel mit einer hohen ökologischen Qualität (Feil und Stamp 1993). Wie erwähnt, werden die Backeigenschaften eines Mehls stark von der Proteinkonzentration beeinflusst. Jedoch ist auch die Qualität des Proteins von Bedeutung. Die sogenannte Kleberqualität lässt sich durch Züchtung weiter verbessern, so dass auch Mehle mit aus heutiger Sicht unzureichenden Proteinkonzentrationen noch gut backbar sein könnten. Extensivierungsbedingte Einkommensverluste der Bauern lassen sich durch Direktzahlungen und etwas höhere Produktpreise wieder kompensieren. Allfällig auftretende Versorgungslücken können durch Importe von billigem, aber qualitativ hochwertigem Weltmarktweizen geschlossen werden; die dann fließenden

Zolleinnahmen könnten für Direktzahlungen an die Landwirte verwendet werden. Da in den hochentwickelten Industriegesellschaften nur ein geringer Teil des Einkommens für Nahrungsmittel ausgegeben wird, erachte ich etwas höhere Produktpreise für zumutbar. Insgesamt scheinen also die mit einer Senkung der N-Düngung verbundenen Probleme grundsätzlich lösbar zu sein, zumal die Züchtung dazu beitragen wird, die extensivierungsbedingten Ertragsseinbussen abzuschwächen.

Die Grenzen der Extensivierung

Nach den Schätzungen der Vereinten Nationen wird die Weltbevölkerung bis zum Jahre 2025 um etwa 50 % wachsen (mittleres Szenario). Dadurch dürfte der Bedarf an Nahrungsmitteln in einem Zeitraum von nur 30 Jahren um ungefähr 50 % zunehmen. Gleichzeitig lassen sich die Anbauflächen kaum noch ausdehnen. Somit müssen die durchschnittlichen Flächenerträge bis zum Jahre 2025 um etwa 50 % steigen, um eine gleichbleibende Versorgung der Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln zu gewährleisten. Man mag gegen diese Prognosen unter anderem einwenden, dass sie nur bei unveränderten Ernährungsgewohnheiten zutreffen. Jedoch wurde in dieser Schätzung noch nicht der allfällige Flächenbedarf von nachwachsenden Rohstoffen berücksichtigt. Die notwendigen Ertragszuwächse lassen sich grundsätzlich durch eine verbesserte Produktionstechnik und den Anbau ertragreicherer Sorten erreichen. Auf den meisten ackerbaulich genutzten Standorten ist N der am meisten limitierende Faktor für den Ertrag. Hinter dem Begriff «Verbesserte Produktionstechnik» verbirgt sich daher in erster Linie

das Bemühen, die Verfügbarkeit von N im Agro-Ökosystem zu erhöhen; weitere Ertragssteigerungen sind oft durch den vermehrten Einsatz von Pestiziden zu erreichen. Aus ökologischer Sicht ist sicherlich die zweite Option, die Nutzung des Zuchtfortschritts, zu bevorzugen. In vielen Ländern wurden in den vergangenen Jahrzehnten grosse Zuchtfortschritte im Kornertrag erzielt; genetische Ertragszuwächse von 50 % sind keine Seltenheit. Dies berechtigt zur Hoffnung, dass die Züchtung in beträchtlichem Umfang zur Lösung des Welternährungsproblems beitragen wird. Der Mensch lebt aber nicht nur von Kohlenhydraten, sondern er benötigt weitere Inhaltsstoffe, wie zum Beispiel Aminosäuren, Vitamine, Mineralstoffe usw. Wie bereits erwähnt, erfordert die Bildung von Aminosäuren beziehungsweise Protein-N; in Agro-Ökosystemen, in denen wenig pflanzenverfügbares N vorhanden ist, sind daher die Möglichkeiten der Züchtung auf Protein *a priori* begrenzt. Um die drohende Proteinlücke abzuwenden, könnten verschiedene Massnahmen ergriffen werden. Dazu zählen der vermehrte Anbau von Leguminosen, die Entwicklung von neuartigen Getreidesorten mit der Fähigkeit, Luft-N zu binden, die Vermeidung von N-Verlusten durch pflanzenbauliche Massnahmen (Optimierung der Höhe und Verteilung der N-Düngung, Erosionsschutz durch Mulchsaatsysteme, Reduktion der Nitratauswaschung durch permanente Begrünung) und schliesslich die Intensivierung der mineralischen N-Düngung. Infolge des steigenden Futter- und Nahrungsmittelverbrauchs wird die Menge der Abfälle aus der Tierhaltung und der menschlichen Fäkalien deutlich zunehmen. Somit werden künftig grosse Mengen an organischen N-Düngern anfallen, die in der Getreideproduktion eingesetzt werden können.

Unabhängig davon, wie die Proteinerträge gesteigert werden, ist damit zu rechnen, dass die Bedeutung des Bodens als Speicher und Lieferant von N zunehmen wird. Damit wird auch die Gefahr wachsen, dass N aus dem System Boden-Pflanze in die Umwelt entweicht. Wegen der steigenden Nachfrage nach Nahrungsmitteln werden heute vermehrt nicht bewirtschaftete Grenzstandorte als Ackerland genutzt. Der Beitrag dieser Flächen zur Lösung des Welternährungsproblems ist marginal, aber wilden Pflanzen und Tieren wird wertvoller Lebensraum entzogen. Auf globaler Ebene wird sich also der Zielkonflikt zwischen der Produktion von ausreichenden Mengen an bezahlbarer und qualitativ

hochwertiger Nahrung einerseits und dem Umweltschutz andererseits verschärfen. Die langfristige Erhaltung unserer Lebensgrundlagen sollten wir nicht allein den Kräften des Marktes und dem Zufall überlassen. Daher sind insbesondere die wohlhabenden Industrieländer verpflichtet, trotz der abnehmenden ökonomischen Relevanz der Landwirtschaft Forschung im Spannungsfeld Ernährungssicherung/Umweltschutz in einem Umfang zu fördern, der der Dimension der sich anbahnenden Probleme angemessen ist.

LITERATUR

- Bänziger M., 1992. Nitrogen efficiency of spring wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Dissertation an ETH Zürich.
- Bänziger M., Feil B. and Stamp P., 1994. Competition between nitrogen accumulation and grain growth for carbohydrates during grain-filling of wheat. *Crop Sci.* 34, 440-446.
- Bänziger M., Feil B., Schmid J.E. and Stamp P., 1991. Relationship between grain yield and grain nitrogen concentration of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* 20, 284-292.
- Feil B., 1992. Breeding progress in small grain cereals - A comparison of old and modern cultivars. *Plant Breeding* 108, 1-11.
- Feil B. and Stamp P., 1993. Sustainable agriculture and product quality: A case study for selected crops. *Food Rev. Int.* 9, 361-388.
- Feil B. and Fossati D., 1995. Mineral composition of triticale grains as related to grain yield and grain protein. *Crop Sci.* 35, 1426-1431.
- Fossati D., Fossati A. and Feil B., 1993. Relationship between grain yield and grain nitrogen concentration in winter triticale. *Euphytica* 71, 115-123.
- Knittel H. and Zerulla W., 1987. Einfluss der N-Düngung auf Ertragsentwicklung landwirtschaftlicher Kulturen und Veränderung des mineralischen N-Gehaltes im Boden bei achtjährigen Dauerversuchen. *J. Agron. Crop Sci.* 159, 251-259.

RÉSUMÉ

Réduction de la fumure azotée en production céréalière

La prise de conscience des effets négatifs de l'emploi massif d'engrais azotés sur l'environnement et la santé humaine a renforcé l'intérêt porté aux systèmes de production agricole à faible apport d'azote. Cependant, la réduction de la fumure azotée provoque une diminution des rendements en grains et de la teneur en protéines à l'intérieur des grains des céréales. Une sélection végétale dirigée vers l'obtention de lignées à haut rendement pourrait aider à contrebalancer la perte de rendement, mais une sélection

basée uniquement sur ce critère risque de réduire la teneur en protéines du grain. Dans les systèmes de production agricole à faible apport d'azote, la disponibilité de cet élément nutritif est un facteur limitant l'accumulation des protéines dans le grain. Ceci restreint les possibilités de sélectionner en direction d'un plus haut niveau de protéines dans le grain. Produire des céréales en apportant de faibles quantités d'azote est économiquement faisable dans les régions où l'extensification est suffisamment subventionnée, mais cette option n'est pas viable à une échelle mondiale à cause de l'accroissement rapide de la population. La sélection végétale ne peut résoudre que partiellement les problèmes posés par le besoin en nourriture croissant de l'humanité. Il existe un risque particulier de manque de protéines disponibles et le rôle joué par le sol en tant que réservoir et fournisseur d'azote va prendre de l'importance. La recherche agronomique devrait donc à l'avenir s'efforcer d'atténuer le conflit existant entre la nécessité de satisfaire les besoins nutritionnels et celle de protéger l'environnement.

SUMMARY

Reducing the use of nitrogen fertilizer in the production of cereals

Public concern about the detrimental effects of heavy dressings of nitrogen fertilizer on the environment and human health has increased the interest in farming systems with low nitrogen input. However, reducing the input of nitrogen causes grain yield and the concentration of grain protein in cereals to decline. Developing higher yielding cultivars may help to offset reductions in grain yield, but one-sided breeding for grain yield adversely affects the grain protein concentration. Since the availability of nitrogen is a limiting factor for the production of grain protein in low nitrogen input farming systems, the possibilities of breeding for higher levels of grain protein are restricted. Growing cereals at low rates of nitrogen application is feasible in regions where extensification is sufficiently subsidized. This is, however, not a viable option on a global scale because of the rapid growth of the world's population. The food supply problems can be solved only partially by plant breeding; there is the threat of a protein gap. Since plants cannot produce protein without nitrogen, the importance of the soil as a reservoir and supplier of nitrogen will increase. Future agricultural research should, therefore, focus primarily on alleviating the conflict between the need to maintain the food supply and the need to protect the environment.

KEY WORDS: breeding, extensification, grain protein, nitrogen fertilization, wheat