



Doctoral Thesis

Stickstoffeffizienz von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) während der frühen Vegetationsphase in Abhängigkeit von der Stickstoffverfügbarkeit und der Saatstärke

Author(s):

Göhlich, Frank

Publication Date:

1996

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001717210> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 11801

**Stickstoffeffizienz von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.)
während der frühen Vegetationsphase in Abhängigkeit von der
Stickstoffverfügbarkeit und der Saatstärke**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Naturwissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

FRANK GÖHLICH

Dipl.-Ing. agr., Universität Kiel
geboren am 5. Dezember 1962
in Essen

Bundesrepublik Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. P. Stamp

Prof. Dr. E. Frossard

PD Dr. B. Feil

Zürich 1996

1 ZUSAMMENFASSUNG

Im Anbau von Sommerweizen werden grosse Mengen N-Dünger in der frühen Vegetationsphase eingesetzt, um die Anlage und Entwicklung bestimmter Ertragskomponenten positiv zu beeinflussen. Zu diesem Zeitpunkt ist die N-Aufnahme und N-Assimilationskapazität der Bestände noch begrenzt, so dass der Dünger-N unter Umständen mehrere Wochen im Boden verbleibt bevor er vollständig aufgenommen werden kann. Insbesondere auf Standorten mit hohen Frühjahrsniederschlägen kann das NO_3^- , das in der Regel die wichtigste pflanzenverfügbare N-Form darstellt, leicht ausgewaschen werden. Je nach Standortbedingungen kommt aber auch die Denitrifikation als weitere N-Verlustquelle in Frage. Zusätzlich kann ein Teil des N durch Mikroorganismen immobilisiert oder durch Tonminerale fixiert werden, und damit ist dieser N vorübergehend nicht pflanzenverfügbar. Die Auswirkungen einer erhöhten N-Versorgung auf die N-Aufnahme im Verlauf der Vegetation und damit auf den Gehalt an mineralischem N im Boden wurde bisher jedoch kaum untersucht

In der vorliegenden Arbeit wurde daher geprüft, ob sich durch eine Erhöhung der Saatkichte eine Steigerung der N-Aufnahme in Sommerweizenbeständen während der frühen Vegetationsphase erzielen lässt, und ob hierdurch die N-Verluste in diesem Vegetationsabschnitt reduziert werden können. Diese Hypothese wurde bei verschiedenen N-Regimes geprüft.

In zwei Feldversuchen in den Jahren 1993 und 1994 wurde die N-Aufnahme und N-Assimilation von zwei Sommerweizensorten, ALBIS und MUNK, in Abhängigkeit von den Faktoren N-Düngung an fünf Terminen untersucht. Die N-Düngung variierte sowohl in der Höhe (0, 100 und 200 kg N ha⁻¹) als auch im Applikationszeitpunkt ((i) 200 kg N ha⁻¹ zur Saat, (ii) 100 kg N ha⁻¹ zur Saat und 100 kg N ha⁻¹ zu Schossbeginn, (iii) 50 bzw. 100 kg N ha⁻¹ zur Saat und 50 bzw. 100 kg N ha⁻¹ zum Ährenschieben). Die Sorte ALBIS wurde bei Aussaatstärken von 200, 400 und 600 keimfähigen Körnern m⁻², MUNK nur bei 400 Körnern m⁻² geprüft. Neben der N-Aufnahme und der N-Assimilation wurden die Gehalte an mineralischem N (N_{min}) im Boden bestimmt; wegen des engen Zusammenhangs

zwischen N- und C-Stoffwechsel wurde die Bildung von wasserlöslichen Kohlenhydraten (WSC) in der oberirdischen Biomasse betrachtet.

Eine Erhöhung der N-Düngung führte zu einem Anstieg der Spross-N-Masse, der auf einer Steigerung der Spross-N-Konzentration und der Spross-TS beruhte. Gleichzeitig stiegen mit einer verbesserten N-Versorgung aber auch die N_{\min} -Gehalte im Boden (0-100 cm Tiefe) und damit die Gefahr von Dünger-N-Verlusten in der frühen Vegetationsphase. In dieser Hinsicht brachte die Aufteilung der N-Applikation gewisse Vorteile. Durch eine Teilung der 200 kg N-Düngung in eine Saat- und Schoss- bzw. Ährendüngung anstatt einer einmaligen N-Gabe zum Zeitpunkt der Saat waren die Bestände bei der zweiten Dünger-Applikation bereits in der Lage, grössere N-Mengen aufzunehmen. Hierdurch konnte das Risiko von Dünger-N-Verlusten reduziert werden. Die Aufteilung der N-Düngung beeinflusste die N-Akkumulation und den Kornertrag kaum; bereits zum Zeitpunkt des Ährenschiebens erreichte die Variante „Saat- + Schossdüngung“ die gleiche N-Masse wie die Variante „Saatdüngung“.

Am Ende der Vegetationszeit war der Boden mit durchschnittlich 28 kg N ha⁻¹ in der Bodenschicht von 0 - 100 cm fast vollständig an mineralischem N entleert; die Varianten mit 200 kg N ha⁻¹ wiesen aber dennoch signifikant höhere N_{\min} -Gehalte auf als die Verfahren, die mit 0 bzw. 100 kg N ha⁻¹ gedüngt wurden. Im Versuchsjahr 1994 waren die N_{\min} -Werte bei der Variante ohne Teilung der N-Düngung deutlich niedriger als bei den anderen beiden Verfahren.

Nur in der frühen Vegetationsphase führte die Erhöhung der Saatedichte zu einer höheren N-Aufnahme und zu niedrigeren N_{\min} -Gehalten des Bodens. Vermutlich entwickelte sich bei hoher Saatedichte schneller ein dichtes Wurzelsystem als in den Beständen mit niedriger Saatedichte. Die Unterschiede zwischen den Saatstärken fielen um so grösser aus, je besser die N-Versorgung der Bestände war. Im Verlauf der Vegetation kam es aber zu einer Angleichung der Sprossbiomasse der Bestände, so dass der Einfluss der Saatstärke auf die N-Aufnahme an Bedeutung verlor.

Die Verbesserung der N-Versorgung führte während der gesamten Vegetationsphase zu einer Zunahme der NO_3^- -N-Konzentration und Abnahme der WSC-Konzentration in der oberirdischen Biomasse der Weizenbestände. Bei höherer N-Düngung stieg mit der Biomasse auch die NO_3^- -N-Masse pro Hektar an, während für die WSC-Masse kaum Unterschiede bestanden. Dies deutet daraufhin, dass die Konkurrenz um Reduktionsäquivalente und C-Skelette bei einer Steigerung der N-Versorgung unter Feldbedingungen von geringer Bedeutung für die Verfügbarkeit von WSC ist. Der zunehmende Bedarf an Energie und C-Skeletten für die N-Assimilation wurde offensichtlich durch eine erhöhte Photosyntheseleistung ausgeglichen, da bekanntermassen Photosyntheserate und Blattflächendauer durch eine erhöhte N-Versorgung verbessert werden.

Ein Einfluss der Saattiefe auf die WSC- und die NO_3^- -Konzentration bestand nur bis zum Beginn des Schossens. Während die WSC-Konzentration mit steigender Saattiefe zunahm, sank die NO_3^- -N-Konzentration deutlich ab. Eine Ausnahme bildeten die Bestände, die mit 200 kg N ha^{-1} versorgt waren; hier war der Boden- NO_3^- -Vorrat wahrscheinlich nicht limitierend, so dass selbst bei hoher Saattiefe soviel NO_3^- im Spross angeliefert wurde, dass die NO_3^- -N-Konzentration im Spross anstieg. Durch die vermehrte Biomasseproduktion nahmen aber grundsätzlich NO_3^- -N-Masse (mit Ausnahme der Nullvariante) und WSC-Masse mit steigender Saattiefe zu.

Die N-Aufnahme-Effizienz $\left[\frac{\text{Spross-N-Masse} - \text{Spross-N-Masse der Nullvariante}}{\text{N-Düngung}} \times 100 \right]$ und die Effizienz der Umsetzung von Dünger-N in Korn-N $\left[\frac{\text{Korn-N-Masse} - \text{Korn-N-Masse der Nullvariante}}{\text{N-Düngung}} \times 100 \right]$ zeigten eine deutliche Abhängigkeit von N-Düngung und Saattiefe. Eine Erhöhung der N-Düngung führte in allen Entwicklungsstadien zu einer Abnahme der N-Ausnutzung, während die Erhöhung der Saattiefe insbesondere in der frühen Vegetationsphase zu einer Verbesserung der N-Ausnutzung beitrug. Zum Zeitpunkt der Reife lag die Aufnahme-Effizienz zwischen 45 % bei einmaliger N-Gabe von 200 kg N ha^{-1} zur Saat und 60 % bei 100 kg N ha^{-1} Gesamtdüngung, appliziert zur Saat und zum Ährenschieben.

Die Effizienz der Umsetzung des Dünger-N in Korn-N nahm ebenfalls mit steigender N-Düngung ab; die Erhöhung der Saatstärke von 200 auf 400 Körner m⁻² bewirkte zum Teil eine deutliche Verbesserung der Effizienz der Düngerausnutzung. Eine weitere Erhöhung der Saatstärke von 400 auf 600 Körner m⁻² brachte jedoch keine weiteren Vorteile.

Der N-Ernteindex (NHI) [Korn-N-Masse / Korn- und Stroh-N-Masse], ein Indikator für die Effizienz der N-Verwertung bewegte sich zwischen 0.81 bei der N-Variante 100 kg N ha⁻¹ zur Saat und 100 kg N ha⁻¹ zum Ährenschieben und 0.85 bei der Nulldüngungsvariante und lag damit in dem Bereich, der für mitteleuropäische Verhältnisse als üblich angesehen wird.

Die vorliegenden Resultate weisen darauf hin, dass sowohl die Aufteilung der N-Düngung als auch die Erhöhung der Saatedichte geeignete Massnahmen zu sein scheinen, um die Gefahr von N-Verlusten in der frühen Vegetationsphase zu reduzieren. Der Grund hierfür ist, dass in beiden Fällen die Dünger-N-Menge im Boden in der Phase, in der das Verlustrisiko am höchsten ist, relativ niedrig gehalten wird. Es ist allerdings zu beachten, dass insbesondere die Erhöhung der Saatedichte auch mit Nachteilen verbunden sein kann (höhere Saatgutkosten sowie erhöhte Lagergefahr und steigende Krankheitsanfälligkeit von dichten Pflanzenbeständen).

Die beiden geprüften Sorten ALBIS und MUNK unterschieden sich in der N-Aufnahme in der frühen Entwicklungsphase nur geringfügig; erst zum Zeitpunkt des Ährenschiebens zeigte MUNK bei Vorhandensein von ausreichend pflanzenverfügbarem N eine deutlich höhere N-Aufnahme als ALBIS. Trotzdem konnten weder bei der N-Aufnahme-Effizienz noch bei Effizienz der Umsetzung von Dünger-N in Korn-N wesentliche Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt werden.

Da zudem nur zwei Sorten geprüft wurden, lässt sich wenig über die Möglichkeiten der Reduktion der N-Verluste durch die Sortenwahl aussagen. Insgesamt liegt der Anteil der N-Aufnahme in der frühen Vegetationsphase (Auflaufen der Pflanzen bis Beginn der Schossphase) bei immerhin 40 % der

gesamten N-Aufnahme zum Zeitpunkt der Reife. Somit könnte eine Selektion auf hohe N-Aufnahme in der frühen Wachstumsphase einen erheblichen Beitrag zur Verminderung der N-Verluste und zur Erhöhung der N-Masse leisten.

SUMMARY

The cultivation of spring wheat requires large amounts of N fertilizer during early growth stages to support the initiation and development of certain yield components. N uptake and N assimilation of the plants are, however, limited during the early vegetation period. As a result, fertilizer N may remain in the soil for several weeks before it is taken up by the plants. Therefore, the following problem may occur during spring at locations with high precipitation: NO_3^- , the prevalent form of plant available N in the soil, may be leached to the ground water. Depending on the environmental conditions denitrification may be another source of N losses. Moreover, a certain amount of N fertilizer can temporarily be not available to the plants because of microbial immobilization or fixation by clay minerals.

The effect of an increased N supply on N uptake and thus on the mineral N content of the soil during the vegetation period has not yet been fully investigated.

The aim of the present study was to determine whether the N uptake of spring wheat in the early vegetation period can be increased by enhancing the seeding rate, and thus contribute to the reduction of N losses. This hypothesis was tested under various N regimes.

In two field experiments, conducted in 1993 and 1994, N uptake and N assimilation of two spring wheat genotypes, ALBIS and MUNK, were investigated under five N regimes varying in rate (0, 100 and 200 kg N ha⁻¹) and timing of N application ((i) 200 kg N ha⁻¹ at planting, (ii) 100 kg N ha⁻¹ at planting and 100 kg N ha⁻¹ at the beginning of stem elongation, (iii) 50 or 100 kg N ha⁻¹ at planting and 50 or 100 kg N ha⁻¹ at ear emergence). The seeding rates were 200, 400, and 600 kernels m⁻² for ALBIS and 400 kernels m⁻² for MUNK. Apart from N uptake and N assimilation, investigations of the mineral N content (N_{min}) of the soil were conducted. Moreover, the production of water soluble carbohydrates (WSC) was examined because of the relationship between C and N metabolism.

Increasing the rate of N application raised the N content of the shoot as a result of the higher N concentration and the higher dry matter of the shoot. At the same time, the mineral N content of the soil (0-100 cm depth) and the risk of fertilizer N losses increased. The amount of mineral N in the soil in the early growing season was reduced by two N applications (planting and stem elongation or planting and ear emergence) instead of one application at planting. The risk of N losses was reduced because, in the split treatments, the second N application was carried out when the shoots were already able to take up large amounts of N rapidly. Total N accumulation and grain yield were not significantly influenced by the N splitting. The N regimes with N application at planting and at stem elongation resulted in the same N content at ear emergence as the N regime with only one N application at planting.

At maturity, the soil was almost void of N, the average N_{\min} content of the soil layer from 0 to 100 cm being 28 kg N ha^{-1} . The N_{\min} content of the 200 kg N ha^{-1} treatments was significantly higher than that under the 0 or 100 kg N ha^{-1} N regimes. In 1994 the N_{\min} content of the 200 kg N ha^{-1} regime with one N application only was markedly higher than that under the two N regimes with two N applications.

Increasing the seeding rate caused an increase in N uptake, the N_{\min} content of the soil decreased only in the early vegetation period. This may be attributed to the fact that dense stands probably develop a denser root system than stands with low seeding rates. The differences between the seeding rates were greater, the better the supply of N to the plants was.

Improving the N supply caused the $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of the shoot to rise and the WSC concentration to decline during the whole vegetation period. As a result of the enhanced N fertilization, biomass and $\text{NO}_3\text{-N}$ content increased, while the WSC content remained unaffected. The competition for energy and C skeletons seemed to be of minor importance under field conditions. The high demand for energy and C skeletons for N assimilation was compensated by the higher photosynthetic capacity of the canopy which is due to the fact that the

rate of photosynthesis as well as the leaf area duration increase with increasing N supply.

The seeding rate effects on the NO_3^- -N and WSC concentrations were observed until stem elongation. While the WSC concentration increased during this period, the NO_3^- -N concentration decreased noticeably, with the exception of the shoot stands which received 200 kg N ha^{-1} . In this treatment, the soil N reserves were probably not the limiting factor for the N uptake, so that even at high seeding rates, N supply was sufficient to increase the NO_3^- -N concentration in the shoot.

The contents of NO_3^- -N and WSC increased with increasing seeding rates, i.e. with increasing biomass production.

The N uptake efficiency [$(\text{shoot N content} - \text{shoot N content at zero N fertilization}) / \text{N fertilization}) \times 100$] and the conversion efficiency of fertilizer N in grain N [$(\text{grain N content} - \text{grain N content at zero N fertilization}) / \text{N fertilization}) \times 100$] were strongly dependent on the level of N fertilization and the seeding rate. Increasing the N fertilization reduced the N uptake efficiency, while increasing the seeding rate improved the N uptake efficiency, especially at the early stages of development. At maturity, the N uptake efficiency ranged from 45 % with one N application of 200 kg N ha^{-1} to 60 % with 50 kg N ha^{-1} applied at seeding and 50 kg N ha^{-1} at ear emergence. Cultivar variation was small. The conversion of fertilizer N to grain N also decreased with increasing N supply. Raising the seeding rate from 200 to 400 kernels m^{-2} caused a significant improvement in the conversion efficiency, while increasing the seeding rate from 400 to 600 kernels m^{-2} had no significant effect on the conversion efficiency.

The N harvest index (NHI) [$\text{grain N content} / \text{grain N content} + \text{straw N content}$], an indicator of the N utilization efficiency, ranged from 0.81 with 100 kg N ha^{-1} applied at seeding and 100 kg N ha^{-1} at ear emergence to 0.85 with the zero N fertilization regime. Thus, our results agree well with those obtained in other experiments carried out in central Europe.

These results indicate that splitting the N fertilization and enhancing the seeding rate reduce the amount of mineral N. Thus, both measures alleviate the risk of N losses in the early vegetation period. On the other hand, high plant densities are also associated with higher costs for seed, increased risk of lodging, and higher liability to diseases.

Differences between the genotypes ALBIS and MUNK were small during the early vegetation period; at ear emergence only, the N uptake of MUNK was higher than that of ALBIS when sufficient plant-available N was present. Nevertheless, neither the N uptake efficiency, nor the conversion efficiency of fertilizer N in grain N differed noticeably. Moreover, only two genotypes were investigated in our experiments. Therefore, it is inappropriate to draw conclusions on the feasibility of reducing N losses by genetic means. However, since roughly 40 % of the total plant N at maturity is taken up until stem elongation, selecting for a high N uptake capacity at early developmental stages may contribute to the reduction of N losses and the enhancement of the grain N yield and concentration.