

**Verbesserung der Stickstoff (N)-Effizienz im Ökologischen Landbau -
Bedeutung der N-Aufnahme- und N-Verwertungseffizienz
bei Triticale, Weizen und Roggen**

**Improvement of nitrogen (N) use efficiency in organic farming systems –
Influence of N uptake and N utilization efficiency in triticale, wheat, and rye**

E. M. Thiem¹

Keywords: plant breeding, nitrogen-use efficiency, triticale, wheat, rye

Schlagwörter: Pflanzenzüchtung, Stickstoffeffizienz, Triticale, Weizen, Roggen

Abstract:

Organic farming systems are characterized by reduced nitrogen supply. Nitrogen (N) is one of the most important yield limiting factors and an essential component for proteins. For organic farming cereal varieties with high N use efficiency are required. The main components of N use efficiency are N uptake and N utilization efficiency. Triticale has shown to be very suitable for organic farming due to its tolerance to marginal conditions and high competition against weeds. Little is known about N use efficiency and its components in triticale. The aims of the study were to i) analyze the influence of N uptake and N utilization efficiency for improved N efficiency, ii) estimate quantitative genetic parameters for N uptake and N utilization efficiency, and iii) compare the findings for triticale with its parents wheat and rye. A total of 36 triticale, nine wheat and nine rye genotypes were tested in two locations with two N levels each, according to the rules for organic farming. The material was not pre-selected for N use efficiency. Significant genotypic variation was found for N use efficiency and its components N uptake and N utilization efficiency for triticale. So an important prerequisite for breeding for improved N use efficiency is met. The correlations between N use efficiency and its both components were high for all three cereals. N uptake and N utilization efficiency showed no significant association with each other. As a consequence these traits can be improved independently.

Einleitung und Zielsetzung:

Die niedrige Versorgung mit Stickstoff (N) kann als eines der Kernprobleme im Ökologischen Landbau angesehen werden. Als Folge finden sich unter ökologischen Anbaubedingungen nicht nur geringere Erträge, sondern auch geringere Proteingehalte im Korn. Ursache für die geringere Produktivität kann neben der Menge an mineralisiertem Stickstoff auch der schwer kalkulierbare Verlauf der Mineralisation sein, der nicht zwangsläufig dem Pflanzenbedarf entspricht. Die geringere N-Versorgung ist besonders problematisch für Vieh haltende Betriebe, da die innerbetriebliche Proteinversorgung der Tiere oft nicht gewährleistet ist. Dies führt im ökologischen Landbau zu einer besonderen Nachfrage nach Eiweißlieferanten aus heimischer Produktion. Triticale wurde mit dem Ziel entwickelt, die positiven Eigenschaften seiner Eltern zu kombinieren, und zwar die Kornqualität und Ertragsfähigkeit des Weizens und die Anpruchslosigkeit des Roggens. Diese Getreideart vereint einen hohen Ertrag mit relativ geringen Ansprüchen und guter Unkrautkonkurrenzskraft. Für den Ökologischen Landbau ist Triticale daher sehr gut geeignet. Eine gezielte Züchtung von Triticalesorten, welche den zur Verfügung stehenden Stickstoff effizienter nutzen, kann zur Stei-

¹Landessaatzuchtanstalt, Universität Hohenheim, Fruwirthstr. 21, 70593 Stuttgart, Deutschland, Elisabeth.Thiem@uni-hohenheim.de

gerung der Produktivität des Ökologischen Landbaus beitragen und die Proteinversorgung verbessern.

Unter N-Effizienz wird im Folgenden die Fähigkeit eines Genotyps verstanden, bei geringem N-Angebot einen überdurchschnittlichen Kornertrag zu erzielen (SATTELMACHER et al. 1994). Nach einem Konzept von MOLL et al. (1982) kann die N-Effizienz in die Komponenten N-Aufnahme- und N-Verwertungseffizienz unterteilt werden. Die N-Aufnahme-Effizienz ergibt sich aus dem N-Ertrag der oberirdischen Pflanzenteile. Die N-Verwertungseffizienz stellt ein Maß für die Fähigkeit einer Pflanze dar, mit dem aufgenommenen Stickstoff einen möglichst hohen Kornertrag zu erzielen (ENGELS & MARSCHNER 1995). Für Triticale liegen bisher keine Kenntnisse darüber vor, welche Bedeutung diese beiden Komponenten für den Gesamtkomplex N-Effizienz haben. Zudem fehlen Befunde hinsichtlich der genotypischen Variation im Triticale-Genpool, die eine wichtige Voraussetzung für die züchterische Verbesserung dieser beiden Merkmale darstellen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, i) die Bedeutung der N-Aufnahme- und der N-Verwertungseffizienz für den Gesamtkomplex N-Effizienz unter den besonderen Bedingungen des Ökologischen Landbaus zu untersuchen, ii) das Ausmaß der genotypischen Variation zu schätzen und iii) die Ergebnisse von Triticale, Weizen und Roggen zu vergleichen.

Methoden:

Es wurden 36 Triticale- und jeweils neun Weizen- und Roggen-Genotypen untersucht. Dabei handelte es sich um die Weizensorten Batis, Bussard, Capo, Empire, Ludwig, Naturstar, Pegassos, Wenga und Zentos. Bei Roggen wurden sowohl Populationsorten (Amilo, Danko, Recrut, Walet, Matador, Boresto) als auch Hybridsorten (Askari, Rasant, Treviso) geprüft. Alle Genotypen waren nicht auf verbesserte N-Effizienz vorselektiert. Die Versuche wurden im Jahr 2005 an zwei ökologisch diversen Standorten (Keinhohenheim bei Stuttgart, Achern bei Offenburg) durchgeführt, die nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet werden. Um die unterschiedlichen N-Versorgungsniveaus im ökologischen Landbau wider zu spiegeln, wurden an beiden Standort jeweils zwei N-Stufen angelegt. Die niedrige N-Stufe (NL) erhielt keine N-Düngung, die hohe N-Stufe (NH) wurde mit 110 kg N je ha in Form von Hornmehl versorgt. Während der Vegetationsperiode wurden Bodenproben entnommen und N_{\min} -Untersuchungen durchgeführt. Die Parzellengröße betrug fünf m^2 . Die gesamte oberirdische Biomasse wurde an zwei Terminen (Blüte, Reife) geerntet. Zur Reife erfolgte eine Trennung in Korn und Stroh. Der N-Gehalt der drei Pflanzenfraktionen wurde mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) gemessen. Es wurden folgende Merkmale bestimmt: Kornertrag [als Maß für die N-Effizienz, $g\ m^{-2}$], N-Aufnahme [N-Ertrag der oberirdischen Biomasse zur Reife, $g\ N\ m^{-2}$], N-Verwertung [Quotient aus Kornertrag und N-Aufnahme, $g\ TM\ g^{-1}\ N$], Korn-N-Gehalt [%] und Korn-N-Ertrag [$g\ N\ m^{-2}$].

Ergebnisse und Diskussion:

Die Schätzwerte der genotypischen Varianz für den Kornertrag und die N-Aufnahme waren bei Triticale auf beiden N-Stufen signifikant, die N-Verwertung zeigte nur auf der NL-Stufe Signifikanz (Tab. 1). Auch OETTLER (1996) fand signifikante genotypische Unterschiede für den Kornertrag auf zwei N-Stufen unter konventionellen Anbaubedingungen. Für alle drei Merkmale wurden durchweg hochsignifikante Interaktionen zwischen den Genotypen und den Orten nachgewiesen. Bei Weizen und Roggen war die genotypische Varianz nicht für alle Merkmale signifikant, was auf die geringe Anzahl der Sorten zurückgeführt werden kann. Die Schätzwerte für die Heritabilitäten zeigten bei Triticale auf der NL-Stufe höhere Werte als auf der NH-Stufe. Bei Weizen und Roggen zeigte sich kein eindeutiges Bild.

Im Mittel zeigten Triticale und Roggen auf beiden N-Stufen höhere Leistungen für die Merkmale Kornertrag, N-Aufnahme und N-Verwertung als Weizen (Tab. 2). Die hohe mittlere Leistung des Roggens war sehr stark von den Hybridsorten beeinflusst.

Tab. 1: Schätzwerte der Varianzkomponenten und Heritabilitäten (h^2) für Triticale (N=36), Weizen (N=9) und Roggen (N=9) für Kornertrag, N-Aufnahme und N-Verwertung über zwei Orte getrennt für die niedrige (NL) und die hohe (NH) N-Stufe.

Merkmal	NL				NH			
	G [†]	GxO [†]	Fehler	h^2	G	GxO	Fehler	h^2
Triticale (N=36)								
Kornertrag	2577,25**	1813,02**	863,91	0,66	1286,71+	2870,20**	877,33	0,41
N-Aufnahme	0,60*	0,91**	0,64	0,44	65,34**	61,36**	34,25	0,26
N-Verwertung	2,64*	4,37**	0,81	0,51	0,90	3,45**	1,19	0,28
Weizen (N=9)								
Kornertrag	780,08	1407,07	223,39	0,49	3073,85+	2037,51*	491,88	0,71
N-Aufnahme	0,23	0,72*	0,12	0,36	1,84**	0,21	0,35	0,87
N-Verwertung	3,60*	0,85	1,08	0,79	3,21	4,68**	0,31	0,56
Roggen (N=9)								
Kornertrag	4021,11**	900,39+	442,74	0,86	2131,23+	1734,53*	617,80	0,64
N-Aufnahme	0,06	2,10*	0,22	0,05	0,39	1,16	0,47	0,32
N-Verwertung	3,22+	3,06*	0,33	0,65	1,51	1,64+	0,29	0,61

+, *, ** Signifikant bei $P < 0,1$; 0,05 bzw. 0,01. † G=Genotyp, O=Ort.

Untersuchungen von KAUL & AUFHAMMER (2000) an jeweils zwei Triticale-, Weizen- und Roggengenotypen ließen dagegen eine Überlegenheit des Weizens erkennen. Übereinstimmend zeigten alle drei Getreidearten auf der NL-Stufe geringere Werte für die N-Aufnahme und höhere Werte für die N-Verwertung als auf der NH-Stufe. Zwar erreichte der Weizen im Mittel die höchsten N-Gehalte im Korn, zeigte sich jedoch bezüglich des Korn-N-Ertrages sowohl Triticale als auch Roggen unterlegen. Auf der NH-Stufe wurde im Vergleich zur ungedüngten Variante eine sehr starke Verunkrautung beobachtet (Daten nicht gezeigt), die die geringen Unterschiede zwischen den N-Stufen erklären könnte.

Tab. 2: Mittelwerte von Triticale (N=36), Weizen (N=9) und Roggen (N=9) über zwei Orte getrennt für die niedrige (NL) und die hohe (NH) N-Stufe.

Merkmal	Triticale (N=36)		Weizen (N=9)		Roggen (N=9)	
	NL	NH	NL	NH	NL	NH
Kornertrag [g m ⁻²]	587	572	412	416	606	620
N-Aufnahme [g N m ⁻²]	14,4	15,0	11,2	12,4	14,9	16,0
N-Verwertung [g TM g ⁻¹ N]	41,5	38,9	37,9	34,4	41,6	39,2
Korn-N-Gehalt [%]	1,84	1,94	1,97	2,10	1,89	1,95
Korn-N-Ertrag [g N m ⁻²]	10,9	11,2	8,2	8,7	11,5	12,1

Die Korrelationen zwischen dem Kornertrag, als Maß für die N-Effizienz, und der N-Aufnahme waren für alle drei Getreidearten auf beiden N-Stufen hoch (Abb. 1). Die Beziehung zwischen dem Kornertrag und der N-Verwertung war für Triticale mit $r_p=0,67$ ($P < 0,01$) auf der NL-Stufe und $r_p=0,72$ ($P < 0,01$) auf der NH-Stufe etwas geringer als für Weizen und Roggen. Für alle der Getreidearten wurden keine signifikanten Korrelationen zwischen den Komponenten der N-Effizienz, N-Aufnahme und N-Verwertung, beobachtet (Daten nicht gezeigt). Bei Triticale lagen die Korrelationen zwischen den N-Stufen für den Kornertrag mit $r_p=0,70$ ($P < 0,01$) auf einem ähnlichen Niveau wie in einer vorangegangenen Untersuchung (THIEMT et al., 2005). Diese Beziehung erreichte für die N-Aufnahme geringere Werte ($r_p=0,54$; $P < 0,01$) als für die N-Verwertung ($r_p=0,80$; $P < 0,01$).

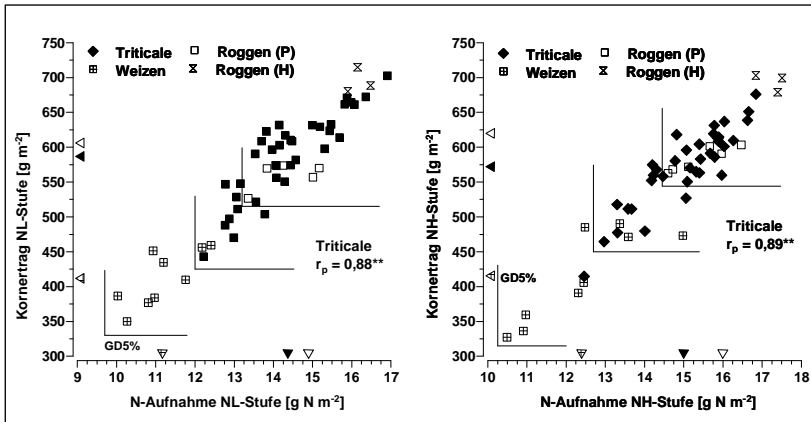


Abb. 1: Beziehungen zwischen dem Korntrag und der N-Aufnahme auf der niedrigen N-Stufe (NL) (links) und der hohen (NH) N-Stufe (rechts) von Triticale (N=36), Weizen (N=9) und Roggen (N=9) aus der Serie über zwei Orte (r_p = Koeffizient der phänotypischen Korrelation; ** signifikant bei $P < 0,01$; GD5% Grenzdifferenz bei $P < 0,05$; P=Populationsorte, H=Hybridsorte; Δ Mittelwert).

Schlussfolgerungen:

Mit dem Nachweis signifikanter genetischer Variation für die N-Aufnahme- und N-Verwertungseffizienz ist eine wichtige Voraussetzung für die züchterische Verbesserung des Gesamtkomplexes N-Effizienz bei Triticale erfüllt. Beide Komponenten zeigen eine enge Beziehung zum Korntrag, als Maß für die N-Effizienz, und können unabhängig voneinander verbessert werden.

Danksagung:

Das vorgestellte Projekt wurde durch das „Bundesprogramm Ökologischer Landbau“ des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) gefördert.

Literatur:

- Engels C., Marschner H. (1995): Plant uptake and utilization of nitrogen. In: P.E. Bacon (Hrsg.) Nitrogen fertilization in the environment. Marcel Dekker Inc., New York, S. 41-81.
- Kaul H.P., Aufhammer W. (2000): Stickstoff-Effizienz von Triticale verglichen mit Weizen und Roggen. Vortr. Pflanzenzüchtg. 49:99-109.
- Moll R. H., Kamprath E. J., Jackson W. A. (1982): Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74:562-564.
- Oettler G. (1996): Variation and covariation of agronomic traits and quality in Triticale at low nitrogen input. Plant Breeding 115:445-450.
- Sattelmacher B., Horst W. J., Becker H. C. (1994): Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency under four nitrogen rates. Z Pflanzenernähr Bodenk 157:215-224.
- Thiem E. M., Merditač V., Hahn V., Miedaner T. (2005): Züchtungsforschung für den Ökologischen Landbau an der Landessaatzuchtanstalt Hohenheim – Roggen, Triticale und Sonnenblumen. In: Heß J., Rahmann G.: Ende der Nische – Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2005, S. 245-248.