

Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan

**Untersuchungen zu Sortenunterschieden in der
Aufnahme und Verwertung von Stickstoff bei Winterweizen
(*Triticum aestivum* L., cv. Batis und cv. Toronto)**

Florian Diekmann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für
Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur
Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. G. Wenzel

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. G. Fischbeck, emeritiert
2. Univ.-Prof. Dr. U. Schmidhalter

Die Dissertation wurde am 07.08.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung
und Umwelt am 28.10.2002 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung und Zielsetzung | 1 |
| 2 | Literaturübersicht | 3 |
| 3 | Material und Methoden | 12 |
| 3.1 | Pflanzenmaterial | 12 |
| 3.2 | Versuchsstation Roggenstein..... | 12 |
| 3.3 | Versuchsanlage und Durchführung | 15 |
| 3.4 | Statistische Auswertung..... | 19 |
| 4 | Ergebnisse | 20 |
| 4.1 | Bestandesentwicklung und Zusammensetzung der oberirdischen Biomasse | 20 |
| 4.1.1 | Entwicklung der oberirdischen Biomasse | 20 |
| 4.1.2 | Veränderungen der N-Konzentration und Verlauf der N-Aufnahme..... | 26 |
| 4.1.3 | Veränderungen der NO ₃ ⁻ -N-Konzentration und Verlauf der NO ₃ ⁻ -N-Akkumulation | 35 |
| 4.1.4 | Veränderungen der Konzentration und Verlauf der Akkumulation wasserlöslicher Kohlenhydrate (WLK)..... | 39 |
| 4.1.5 | Veränderungen der Nitratreduktaseaktivität (NRA) | 44 |
| 4.1.6 | Entwicklung der Bestandesdichte | 46 |
| 4.2 | Ertrag und Ertragsstruktur | 49 |
| 4.2.1 | Korn- und Strohertrag sowie Ernteindex..... | 49 |
| 4.2.2 | Ertragsstruktur | 54 |
| 4.2.3 | Ertragsstruktur von Einzelpflanzen | 58 |
| 4.3 | N-Aufnahme und N-Verwertung durch Korn und Stroh | 62 |
| 4.3.1 | N-Entzüge durch Korn und Stroh..... | 62 |
| 4.3.2 | N-Ausnutzung und Effizienz der N-Verwertung | 66 |
| 5 | Diskussion | 72 |
| 6 | Zusammenfassung | 97 |
| 7 | Literatur | 99 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Sprosstrockenmasse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000..... | 20 |
| Abb. 2: Spross-N-Aufnahme und Spross-N-Konzentration in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999..... | 28 |
| Abb. 3: Spross-N-Aufnahme und Spross-N-Konzentration in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 2000..... | 30 |
| Abb. 4: NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999..... | 37 |
| Abb. 5: NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 2000..... | 38 |
| Abb. 6: WLK-Konzentration und WLK-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999..... | 41 |
| Abb. 7: WLK-Konzentration und WLK-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 2000..... | 44 |
| Abb. 8: Nitratreduktaseaktivität in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000..... | 44 |
| Abb. 9: Triebzahlen in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000..... | 48 |
| Abb. 10: Kornertrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000 | 51 |
| Abb. 11: Strohertrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000..... | 53 |
| Abb. 12: Korn-N-Ertrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000 | 63 |
| Abb. 13: Stroh-N-Ertrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000..... | 65 |
| Abb. 14: N-Ausnutzung durch das Korn in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000..... | 69 |
| Abb. 15: N-Ernteindex in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000 | 71 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Merkmale der untersuchten Winterweizensorten Batis und Toronto nach Beschreibender Sortenliste | 12 |
| Tab. 2: Bodenchemische Kennwerte der Versuchsfläche | 13 |
| Tab. 3: Witterungsdaten der Vegetationsperioden 1999 und 2000 | 13 |
| Tab. 4: Witterungsdaten der Vegetationsperioden 1999 und 2000 bezogen auf wichtige Entwicklungsabschnitte des Winterweizens | 14 |
| Tab. 5: Varianten, Höhe und Verteilung der N-Düngung sowie Düngungstermin und N-Menge [kg ha^{-1}] | 15 |
| Tab. 6: Probenahmetermine für Zwischenernten der oberirdischen Biomasse | 16 |
| Tab. 7: Sprosstrockenmasse [dt ha^{-1}] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 21 |
| Tab. 8: Sprosstrockenmasse [dt ha^{-1}] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 22 |
| Tab. 9: Tägliche Trockenmasseproduktion [$\text{dt ha}^{-1} \text{d}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 24 |
| Tab. 10: Tägliche Trockenmasseproduktion [$\text{dt ha}^{-1} \text{d}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 24 |
| Tab. 11: Spross-N-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 26 |
| Tab. 12: Spross-N-Aufnahme [kg ha^{-1}] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 27 |
| Tab. 13: Spross-N-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 29 |
| Tab. 14: Spross-N-Aufnahme [kg ha^{-1}] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 31 |
| Tab. 15: Tägliche Spross-N-Aufnahme [$\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 33 |
| Tab. 16: Tägliche Spross-N-Aufnahme [$\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 34 |

| | |
|---|----|
| Tab. 17: Spross-NO ₃ ⁻ -N-Konzentration [% von N] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 35 |
| Tab. 18: Spross-NO ₃ ⁻ -N-Masse [kg ha ⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 36 |
| Tab. 19: Spross-NO ₃ ⁻ -N-Konzentration [% von N] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 37 |
| Tab. 20: Spross-NO ₃ ⁻ -N-Masse [kg ha ⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 39 |
| Tab. 21: Spross-WLK-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 40 |
| Tab. 22: Spross-WLK-Masse [kg ha ⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 41 |
| Tab. 23: Spross-WLK-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 42 |
| Tab. 24: Spross-WLK-Masse [kg ha ⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 43 |
| Tab. 25: Nitratreduktaseaktivität [$\mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ FM h}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 45 |
| Tab. 26: Nitratreduktaseaktivität [$\mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ FM h}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 46 |
| Tab. 27: Triebzahlen [Triebe m ⁻²] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 47 |
| Tab. 28: Triebzahlen [Triebe m ⁻²] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 48 |
| Tab. 29: Kornertag [dt ha ⁻¹ , 86 % TS], Strohertrag [dt ha ⁻¹] und Ernteindex in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 50 |
| Tab. 30: Kornertag [dt ha ⁻¹ , 86 % TS], Strohertrag [dt ha ⁻¹] und Ernteindex in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 52 |

| | |
|--|----|
| Tab. 31: Ährenzahl [Ähren m ⁻²], Kornzahl [Körner Ähre ⁻¹], Korndichte [Körner x 10 ³ m ⁻²], Einzelährenertrag (EAE) [g Ähre ⁻¹] und Tausendkornmasse (TKM) [g, 86 % TS] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 56 |
| Tab. 32: Ährenzahl [Ähren m ⁻²], Kornzahl [Körner Ähre ⁻¹], Korndichte [Körner x 10 ³ m ⁻²], Einzelährenertrag (EAE) [g Ähre ⁻¹] und Tausendkornmasse (TKM) [g, 86 % TS] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 58 |
| Tab. 33: Reduzierte Triebe [%], angelegte Ährchen [Ährchen Ähre ⁻¹], fertile Ährchen [Ährchen Ähre ⁻¹], reduzierte Ährchen [%], fertile Einzelblüten [Blüten Ährchen ⁻¹] und Blütenzahl [Blüten Ähre ⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 59 |
| Tab. 34: Reduzierte Triebe [%], angelegte Ährchen [Ährchen Ähre ⁻¹], fertile Ährchen [Ährchen Ähre ⁻¹], reduzierte Ährchen [%], fertile Einzelblüten [Blüten Ährchen ⁻¹] und Blütenzahl [Blüten Ähre ⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 61 |
| Tab. 35: N-Konzentration [%] und N-Ertrag [kg ha ⁻¹] von Korn und Stroh in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 64 |
| Tab. 36: N-Konzentration [%] und N-Ertrag [kg ha ⁻¹] von Korn und Stroh in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 66 |
| Tab. 37: N-Ausnutzung durch Spross und Korn [kg N kg ⁻¹ N], Effizienz der N-Verwertung durch Biomasse (N-Verwertung Spross) und Kornertrag (N-Verwertung Korn) [kg kg ⁻¹ N] und N-Ernteindex sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999 | 68 |
| Tab. 38: N-Ausnutzung durch Spross und Korn [kg N kg ⁻¹ N], Effizienz der N-Verwertung durch Biomasse (N-Verwertung Spross) und Kornertrag (N-Verwertung Korn) [kg kg ⁻¹ N] und N-Ernteindex sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000 | 70 |

Abkürzungen

| | |
|------------------------------|--|
| °N | Grad nördlicher Breite |
| Abw. | Abweichung |
| Bat | Batis |
| BSA | Rinderserumalbumin |
| C | Kohlenstoff |
| cv. | cultivar |
| CaCl ₂ | Calciumchlorid |
| CAL | Calcium-Acetat-Lactat |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| dt ha ⁻¹ | Dezitonnen je Hektar |
| DTT | Dithiothreithol |
| EAE | Einzelährenertrag |
| EC | Code für Entwicklungsstadium des Getreides |
| FAD | Flavinadenindinukleotid |
| FM | Frischmasse |
| Ges. | Gesamt-N-Menge |
| h | Stunde |
| HCl | Salzsäure |
| HEPES | N-(2-hydroxyethyl)piperazin-N'-(2-ethan-sulfonsäure) |
| HI | Ernteindex |
| Kap. | Kapitel |
| KNO ₃ | Kaliumnitrat |
| MgCl ₂ | Magnesiumchlorid |
| N | Stickstoff |
| NAD(P)H | Nicotinamid-adenin-dinucleotid-(phosphat) |
| NH ₄ ⁺ | Ammonium |
| NHI | Stickstoff-Ernteindex |
| NN | Normal Null |
| NO ₂ ⁻ | Nitrit |
| NO ₃ ⁻ | Nitrat |
| NR | Nitratreduktase |

| | |
|---------|--|
| NRA | Nitratreduktaseaktivität |
| ns | nicht signifikant |
| p | Irrtumswahrscheinlichkeit |
| PAR | photosynthetisch aktive Strahlung |
| PMS | Phenazin-methosulfat |
| PVPP | Polyvinyl-polypyrrolidon |
| Rubisco | Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase/Oxygenase |
| Tab. | Tabelle |
| TKM | Tausendkornmasse |
| TM | Trockenmasse |
| Tor | Toronto |
| TS | Trockensubstanz |
| u.a. | unter anderem |
| VB | Vegetationsbeginn |
| WLK | wasserlösliche Kohlenhydrate |
| z.B. | zum Beispiel |

1 Einleitung und Zielsetzung

Zwischen dem Kornertrag und der Kornprotein-Konzentration von Winterweizen besteht in der Regel eine negative Beziehung. Hohertragsorten weisen häufig eine relativ niedrige Kornprotein-Konzentration auf, während umgekehrt Hochproteinsorten oftmals nur ein geringeres Ertragsniveau erreichen. Die physiologischen Ursachen hierfür sind bislang nicht eindeutig geklärt. Da auch bei unterschiedlicher Handhabung der N-Düngung häufig ähnliche Mengen an Kornprotein akkumulieren, werden sortenbedingte Differenzierungen in der Aufnahme und Verwertung von N häufig einem Verdünnungseffekt durch unterschiedliche Kornertragsleistungen zugeordnet. Allerdings akkumulieren moderne Hochleistungssorten unter sonst gleichen Anbaubedingungen häufig eine höhere Proteinmenge in ihren Körnern, wobei die Ursachen hierfür meist ungeklärt bleiben.

FISCHBECK und DENNERT (1998) führten auf der Versuchsstation Roggenstein der TU München mehrjährige Feldversuche mit den beiden Winterweizensorten Batis und Toronto durch, bei denen der Einfluss eines in Höhe und Verteilung variierten N-Angebotes untersucht wurde. Beide Sorten zeigten markante Unterschiede in der Aufnahme und Verwertung von N, die bereits während der Jugendentwicklung der Pflanzen sichtbar wurden. Neben regelmäßigen Sortenunterschieden wurden dabei auch signifikante Wechselwirkungen Sorte x N-Düngung nachgewiesen, die mit einfachen Annahmen zur negativen Beziehung zwischen Kornertrag und Kornprotein-Konzentration nicht übereinstimmen. Batis wies in allen Versuchsjahren signifikant höhere Erträge als Toronto auf, außerdem ergaben sich, vor allem bei hohem N-Angebot während später Vegetationsstadien, deutliche Differenzierungen in der Kornprotein-Konzentration. Sortenbedingt höhere Kornprotein-Konzentrationen von Toronto beruhten dabei weniger auf Steigerungen der Kornertragsleistung als auf der Zunahme der N-Akkumulation in Korn und Stroh (FISCHBECK und DENNERT, 1998).

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, einen Beitrag zur weiteren Aufklärung der Unterschiede in der N-Aufnahme und N-Verwertung von Batis und Toronto zu leisten. In einem zweijährigen Feldversuch wurden hierzu neben dem Verlauf der N-Aufnahme und N-Assimilation auch damit in Zusammenhang stehende Prozesse des Kohlenstoff-Haushalts beider Sorten untersucht. Des Weiteren wurde die sortenunterschiedliche Anlage und Ausbildung der Ertragsstrukturkomponenten in Abhängigkeit des N-Angebotes verfolgt.

Anknüpfend an die Ergebnisse von FISCHBECK und DENNERT (1998) standen folgende Fragen im Mittelpunkt der Untersuchung:

- Worauf lassen sich die im Jugendstadium feststellbaren Sortenunterschiede in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse zurückführen und welche Auswirkungen hat die unterschiedlich gehandhabte N-Düngung im weiteren Entwicklungsverlauf?
- In welchen Entwicklungsstadien werden die Regulationsphänomene, die der sortenunterschiedlichen Verwertung hoher N-Spätgaben zu Grunde liegen, erkennbar?
- Worauf beruhen die sortentypischen Abstufungen in der Ertragsstruktur, die sich unter dem Einfluss unterschiedlich gehandhabter N-Düngung entwickeln?

2 Literaturübersicht

N-Aufnahme und N-Assimilation

Stickstoff gehört neben Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff zu den mengenmäßig wichtigsten elementaren Bestandteilen der Pflanzen und zu den Faktoren, die das Pflanzenwachstum in Mitteleuropa am stärksten limitieren (MARSCHNER, 1995). Der Verlauf der N-Akkumulation in der Weizenpflanze wird bestimmt durch die Prozesse der N-Aufnahme und der N-Assimilation. Bevor NO_3^- in organischen Verbindungen eingebaut werden kann, ist eine Reduktion zu NH_4^+ erforderlich. Dieser von der Nitratreduktase (NR) und Nitritreduktase katalysierte Prozess ist energetisch aufwendig (RAVEN, 1985; BLOOM et al., 1989; PATE und LAYZELL, 1990) und wird entsprechend gut von der Pflanze reguliert (KLEINHOFs und WARNER, 1990). Die Mechanismen der NO_3^- -Assimilation sind in der Literatur umfassend beschrieben (GUTSCHIK, 1981; SCHRADER und THOMAS, 1981; CAMPBELL und KINGHORN, 1990; SOLOMONSON und BARBER, 1990; CRAWFORD et al., 1992; HOFF et al., 1992; LEE et al., 1992; WARNER und KLEINHOFs, 1992; HOFF et al., 1994; HUPPE und TURPIN, 1994; CRAWFORD, 1995; ENGELS und MARSCHNER, 1995; FERNANDES und ROSSIELLO, 1995; MARSCHNER, 1995; VON WIRÉN et al., 1997).

Für die NO_3^- -Assimilation sind neben Reduktionsäquivalenten aus der Photosynthese (RAVEN, 1985; BLOOM et al., 1989; PATE und LAYZELL, 1990) auch C-Gerüste als Bausteine für die Synthese von Aminosäuren erforderlich (BEEVERS und HAGEMAN, 1969; ASLAM und HUFFACKER, 1984; RUNGE, 1984; CAMPBELL und SMARELLI, 1986; JACKSON et al., 1986). Das tatsächliche Ausmaß der Konkurrenz zwischen NO_3^- - und CO_2 -Assimilation um Reduktionsäquivalente ist unklar (BLOOM et al., 1989; DE LA TORRE et al., 1991; ENGELS und MARSCHNER, 1995). Am geringsten fällt die Konkurrenz aber normalerweise zur Mittagszeit aus, wenn bei hoher Lichtintensität und voller Photosyntheseleistung Reduktionsäquivalente und C-Gerüste im Überschuss zur Verfügung stehen und die Prozesse der N-Assimilation keine energetischen Kosten für die Pflanze verursachen (GUTSCHIK, 1981; SCHRADER und THOMAS, 1981; PATE, 1983; REED et al., 1983; PATE und LAYZELL, 1990). Ein großer Teil des reduzierten N wird in Form von Rubisco im Blattapparat zwischengespeichert (EVANS, 1983; LAWLOR et al., 1988). Da mit steigender N-Düngung auch die Rubisco-Konzentration zunimmt (WUEST und CASSMAN, 1992), erhöht zusätzlich assimilierter N durch eine höhere Photosyntheserate

(EVANS, 1983; SINCLAIR und HORIE, 1989) und längere Blattflächendauer die Photosyntheseleistung des Bestandes, wodurch die energetischen Kosten der N-Assimilation wieder ausgeglichen werden können (BÄNZIGER, 1992; FEIL, 1998).

In der Bodenlösung enthaltenes NO_3^- gelangt mittels Massenfluss und Diffusion zur Wurzeloberfläche (MARSCHNER, 1995). Während der Massenfluss durch die NO_3^- -Konzentration der Bodenlösung und der Transpirationsrate bestimmt wird, ist die Diffusion vor allem von der Durchwurzelungsintensität und dem Bodenwassergehalt abhängig. Da ein beträchtlicher Teil des aufgenommenen NO_3^- durch Diffusion zur Wurzeloberfläche gelangen kann (STREBEL et al., 1980; BARRACLOUGH, 1986; STREBEL und DUYNISVELD, 1989; KAGE, 1997), begünstigt der schnelle Aufbau eines dichten und gleichmäßigen Wurzelsystems die NO_3^- -Aufnahme, wenn der Transport zur Wurzel limitierend für die NO_3^- -Verfügbarkeit wird (KAGE, 1997). WIESLER und HORST (1994) fanden in Untersuchungen verschiedener Maissorten einen Zusammenhang zwischen Wurzellängendichte und N-Aufnahmeleistung. Die Ausnutzung von Dünger-N ist insbesondere in frühen Vegetationsstadien häufig unsicher, da neben der geringen Sprossbiomasse, die die Aufnahme- und Assimilationskapazität der Pflanzen für NO_3^- begrenzt (GEISLER und MAARUFI, 1975; HEYLAND und KNOPF, 1980; FISCHBECK et al., 1992a), vor allem niedrige Bodentemperaturen das Wurzelwachstum junger Weizenpflanzen erheblich einschränken können (HUANG et al., 1991).

Die Reduktion des aufgenommenen NO_3^- erfolgt entweder direkt am Ort der Aufnahme in den Wurzeln oder nach Verlagerung in den Spross hauptsächlich in den Blättern. Der Anteil von Wurzel und Spross an der gesamten NO_3^- -Reduktion ist artspezifisch bestimmt (PATE und LAYZELL, 1990; ANDREWS et al., 1992) und darüber hinaus vor allem vom NO_3^- -Angebot abhängig. Mit steigender externer NO_3^- -Konzentration wird die Assimilationskapazität der Wurzel schnell überschritten, während der Sprossanteil an der Gesamtreduktion immer weiter ansteigt (ANDREWS et al., 1992). Hohe Temperaturen begünstigen die NO_3^- -Reduktion in den Wurzeln, während bei niedrigen Temperaturen ein Teil des N-Bedarfs der Wurzel durch Rückverlagerung aus dem Spross gedeckt werden muss (THEODORIDES und PEARSON, 1982). Die Verlagerung von NO_3^- in den Spross wird durch eine gleichzeitige Aufnahme ausreichender Mengen Kationen begünstigt (ENGELS und MARSCHNER, 1995). Die intrazelluläre NO_3^- -Konzentration ergibt sich aus der Bilanz von NO_3^- -Aufnahme und -Reduktion (QUILLERÈ et al., 1994). Eine Akkumulation von NO_3^- in nennenswerter Menge erfolgt, wenn der Bedarf an reduziertem N für maximales

Pflanzenwachstum überschritten wird (ZHEN und LEIGH, 1990; JUSTES et al., 1994). In diesem Fall erfolgt eine Speicherung des aufgenommenen NO_3^- vor allem in den Vakuolen des Blattapparates ohne unmittelbare Reduktion (GRANSTEDT und HUFFAKER, 1982). NO_3^- kann dort je nach Pflanzenart Bedeutung für die Kationen-Anionen-Bilanz und die Osmoregulation haben (MARTINOIA et al., 1981) und bei sinkender externer Konzentration dem Stoffwechsel zur Verfügung gestellt werden und somit als NO_3^- -Reserve fungieren (CLARKSON, 1986). Bei einer Verringerung des Kohlenhydratangebotes nimmt die NO_3^- -Reduktion häufig stärker ab als die NO_3^- -Aufnahme (HANISCH et al., 1981; ASLAM und HUFFACKER, 1984; JACKSON et al., 1986; LAUERER, 1996). Eine Akkumulation von NO_3^- kann folglich auch bei geringer Lichtintensität und sinkendem Gehalt an reduziertem N erfolgen (BLOM-ZANDSTRA und LAMPE, 1985). Mangelnde Verfügbarkeit von Reduktionsäquivalenten am Ort der NO_3^- -Reduktion können ebenfalls die Effizienz der Assimilation beeinträchtigen, ebenso wie eine räumliche Trennung von NO_3^- -Speicherung und NO_3^- -Reduktion (ENGELS und MARSCHNER, 1995; MARSCHNER, 1995).

Da die NO_3^- -Aufnahme ein energieaufwendiger Prozess ist und etwa 10 % der Gesamtkosten der N-Ernährung beansprucht (RAVEN, 1985; BLOOM et al., 1993), wurde bereits frühzeitig von einer bedarfsgerechten Regulation ausgegangen, die insbesondere durch den N-Status und die Wachstumsrate der Pflanze beeinflusst wird (BEN-ZIONI et al., 1971; GREENWOOD, 1978; KIRKBY und ARMSTRONG, 1980; RODGERS und BARNEIX, 1988; IMSANDE und TOURAINÉ, 1994; TOURAINÉ et al., 1994; ENGELS und MARSCHNER, 1995). Nach BEN-ZIONI (1971) wird die NO_3^- -Aufnahme der Pflanze durch den Umfang der NO_3^- -Reduktion im Spross reguliert. Unter N-Mangel werden wenige Stunden nach Zugabe von NO_3^- steigende Aufnahmeraten festgestellt (DODDEMA und OTTEN, 1979; MACKOWN und MCCLURE, 1988; SIDDIQI et al., 1989; HOLE et al., 1990), während NH_4^+ keine Induktion des Aufnahmesystems bewirkt (JACKSON et al., 1972). Abnehmende NO_3^- -Aufnahmeraten nach längerer Anwesenheit von NO_3^- weisen auf einen negativen Rückkopplungsmechanismus zur Regulation der NO_3^- -Aufnahme hin (SIDDIQI et al., 1989). Als Signal für die Regulation der NO_3^- -Aufnahme wurde zunächst NO_3^- selbst angenommen (WARNER und HUFFAKER, 1989). Allerdings hemmen auch höhere cytosolische Konzentrationen von NO_2^- , NH_4^+ und Aminosäuren die Netto- NO_3^- -Aufnahme (DODDEMA und OTTEN, 1979; LEE et al., 1992; KING et al., 1993; ASLAM et al., 1996). Die Untersuchungen von SIMPSON et al. (1982) und LAINÉ et al. (1995) zeigten, dass das Signal, das die NO_3^- -Aufnahme reguliert, nicht von der Wurzel selber

stammen muss. Auch NO_3^- und Produkte des NO_3^- -Metabolismus aus dem Spross können als Signal für den N-Status der Pflanze dienen (MULLER und TOURAINÉ, 1992; KING et al., 1993). So werden als Regulatoren für die NO_3^- -Aufnahme Exportprodukte (organische Säuren und Aminosäuren) aus dem Blatt angenommen (MULLER und TOURAINÉ, 1992; IMSANDE und TOURAINÉ, 1994). Nach einem Modell von COOPER und CLARKSON (1989) steuert die Menge des Amino-N im Transportpool der Gesamtpflanze die N-Aufnahme der Wurzel, wobei dieser Mechanismus vor allem während der Kornfüllung und intensiver Proteolyse in den Blättern von Bedeutung ist (IMSANDE und TOURAINÉ, 1994). Seit langem wird diskutiert, dass organische Säuren als Signalstoffe den Zustand des N-Metabolismus des Blattes in die Wurzel weiterleiten und durch eine hohe Malattransportrate zur Wurzel die NO_3^- -Aufnahme stimuliert werden könnte (BEN-ZIONI et al., 1971; KIRKBY und ARMSTRONG, 1980; TOURAINÉ et al., 1992). Hierdurch würde ebenfalls eine Koppelung der NO_3^- -Aufnahme in den Wurzeln mit der NO_3^- -Reduktion im Spross erreicht.

In unmittelbarem Zusammenhang mit den Prozessen der Aufnahme und Assimilation von NO_3^- steht die CO_2 -Assimilation (LE VAN QUY et al., 1991; LAWLOR, 1994; KAISER, 1997). Hierbei kommt u.a. den wasserlöslichen Kohlenhydraten (WLK) eine besondere Bedeutung zu, da sie als hauptsächliche Kohlenhydratreserven in der vegetativen Pflanze kurzfristig für Stoffwechselprozesse zur Verfügung stehen (MCCAIG und CLARKE, 1982; SIMPSON et al., 1983; THOME und KÜHBAUCH, 1985). WLK werden für den Aufbau von Zellwandbestandteilen und anderen unlöslichen C-Verbindungen verwendet (ELLEN, 1990). Ein weiterer Teil akkumuliert in den vegetativen Pflanzenteilen und steht in Zeiten, in denen der Bedarf an Assimilaten durch die aktuelle Photosynthese, z.B. bei beginnender Seneszenz, nicht gedeckt werden kann, in Form von Reduktionsäquivalente und C-Gerüsten für das Wachstum der Pflanze zur Verfügung (SPIERTZ und ELLEN, 1978; BLACKLOW und INCOLL, 1981; ELLEN, 1990; SCHNYDER, 1993). Hierbei sind neben dem Einfluss der Jahreswitterung auch genotypische Unterschiede nachgewiesen worden (ELLEN, 1990; DAVIDSON und CHEVALIER, 1992; BLUM, 1998). In den vegetativen Pflanzenteilen gespeicherte WLK können auch direkt zur Kornertragsbildung beitragen. Dieser Anteil schwankt in Abhängigkeit der Wachstumsbedingungen in weiten Bereichen (WARDLAW und PORTER, 1967; MCCAIG und CLARKE, 1982; MEHRHOFF, 1990; GEBBING et al., 1999) und ist nicht nur abhängig von der Menge der Assimilatmobilisierung, sondern auch

von der Effizienz, mit der Assimilate in den wachsenden Körnern eingelagert werden (GEBBING et al., 1999).

Effizienz der N-Aufnahme und N-Verwertung

Genotypische Unterschiede in der N-Effizienz sind bei Weizen auf morphologische und physiologische Differenzierungen der N-Aufnahme und N-Verwertung zurückzuführen. Hierzu liegen zahlreiche Untersuchungen vor (AUSTIN et al., 1977b; COX et al., 1985a; COX et al., 1985b; COX et al., 1986; FEIL, 1987; VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; FOWLER et al., 1990; HEITHOLT et al., 1990; POMMER, 1990; MAY et al., 1991; PAPAPOSTA und GAGIANAS, 1991; BÄNZIGER, 1992; BENINATI und BUSCH, 1992; BERTHOLDSSON und STOY, 1995a; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b; MCKENDRY et al., 1995; GÖHLICH, 1996; SIELING und HANUS, 1997; EL BASSAM, 1998; FEIL und BÄNZIGER, 1999; LE GOUIS et al., 2000).

Die Effizienz mit der Pflanzen angebotenen N in die oberirdische Biomasse aufnehmen und für die Ertragsbildung verwerten, setzt sich aus den beiden Teilkomponenten „N-uptake-efficiency“ (MOLL et al., 1982) und der „N-utilization-efficiency“ (MOLL et al., 1982) zusammen und kann vereinfacht in die Begriffe N-Aufnahmeeffizienz und N-Verwertungseffizienz (CZAUDERNA, 1992; SATTELMACHER et al., 1994) eingeteilt werden. Während die „N-uptake-efficiency“ dem in der Düngungsliteratur üblichen Begriff der N-Ausnutzung entspricht und auf den N-Gehalt der oberirdischen Biomasse bezogen wird, gibt die „N-utilization-efficiency“ das Verhältnis von Ertrag zu aufgenommener N-Menge an und besteht nach MOLL et al. (1982) aus zwei weiteren Komponenten, dem Verhältnis aus Ertrag und N-Menge im Korn und dem Anteil der N-Menge im Korn bezogen auf die gesamte aufgenommene N-Menge, was dem häufig verwendeten N-Ernteindex entspricht.

Von besonderer Bedeutung für Sortendifferenzierungen in der N-Ausnutzung sind u.a. die Größe und Morphologie des Wurzelsystems, die Intensität der NO_3^- -Aufnahme (BEN-ZIONI et al., 1971; SATTELMACHER et al., 1994) und die Dauer der Wurzelaktivität (SPIERTZ et al., 1984). Aufgrund der hohen Mobilität von NO_3^- in der Bodenlösung wird im Allgemeinen von einer geringen Wurzellängendichte ausgegangen, die zur Deckung des N-Bedarfs notwendig ist (KUHLMANN et al., 1989). Daher werden Sortenunterschieden im Wurzelwachstum häufig nur eine untergeordnete Bedeutung für Differenzierungen der NO_3^- -Aufnahme beigemessen, wenn der Boden während der Schossphase bereits relativ gut

durchwurzelt ist (FEIL, 1998). Dennoch konnte in einigen Untersuchungen ein Zusammenhang zwischen der sortenspezifischen Wurzelausdehnung und der NO_3^- -Entleerung der Bodenlösung (WIESLER, 1991; WIESLER und HORST, 1994) bzw. der N-Akkumulation in der oberirdischen Biomasse (POMMER, 1990) nachgewiesen werden. Auch andere Autoren vermuten Zusammenhänge zwischen Differenzierungen des Wurzelsystems von Weizen und genotypischen Unterschieden in der N-Ausnutzung (BRAUN und FISCHBECK, 1975; COX et al., 1985b; LE GOUIS et al., 2000). So kann die schnelle Ausbildung eines tiefreichenden Wurzelwachstums besonders in frühen Vegetationsstadien zur schnelleren Aufnahme des pflanzenverfügbaren N-Angebotes beitragen (FISCHER, 1981), während Genotypen mit höherer Wurzelmasse in der Lage sein könnten, NO_3^- insbesondere bei absinkender NO_3^- -Konzentration der Bodenlösung in späteren Vegetationsphasen effizienter zu erschließen (COX et al., 1985b). Daneben sind auch genotypische Unterschiede in der Aktivität des Wurzelsystems gezeigt worden (RAO et al., 1977). GRIFFITHS und ROBINSON (1992) diskutierten auch die Möglichkeit der aktiven Beteiligung des Wurzelsystems an der Erschließung von N-Reserven des Bodens. CREGAN und VAN BERKUM (1984) konnten eine Beziehung zwischen genotypischen Unterschieden in der N-Verwertungseffizienz und Unterschieden in der Protease-Aktivität in den Blättern nachweisen, aufgezeigt wurde aber auch ein Zusammenhang mit Differenzierungen der „Sink“-Aktivität der Körner (TSAI et al., 1984). Eine weitere mögliche Ursache stellen Verluste von bereits durch die Pflanzen aufgenommenem N dar, die von unter- wie oberirdischen Pflanzenteilen ausgehen können (WEILAND und TA, 1992; VOS et al., 1993). N-Verluste des Sprosses können auf Auswaschung von N-haltigen Verbindungen über Regentropfen, Blattfall oder aber gasförmigen Emissionen zurückgeführt werden (WETSELAAR und FARQUHAR, 1980). Hierfür sind verschiedentlich genotypische Unterschiede nachgewiesen worden (CHEVALIER und SCHRADER, 1977; STUTTE und DA SILVA, 1981; HUSTED et al., 1996; WEBER, 2001).

Konzentration und Ertrag von Kornprotein

Eine wichtige Determinante der Weizenproduktion ist die N-Konzentration und die daraus hervorgehende Rohproteinkonzentration des Korns (DRAPER und STEWART, 1980). Die Korn-N-Konzentration ergibt sich aus dem Verhältnis der während der Kornfüllung akkumulierten Menge an N und der Einlagerung von Kohlenhydraten und anderer Inhaltsstoffe in die wachsenden Körner (BERTHOLDSSON und STOY, 1995b), wobei die Regulation beider Prozesse weitgehend unabhängig voneinander erfolgt (JENNER et al.,

1991). Dennoch besteht zwischen Kornertrag und Korn-N-Konzentration häufig eine negative Beziehung (FEIL, 1998), deren physiologische Ursache unklar ist (GOODING und DAVIES, 1997). Da in der Regel Kornertrag und Spross-N-Masse (DESAI und BHATIA, 1978; COX et al., 1985b; PACCAUD et al., 1985; FEIL, 1987) bzw. Korn-N-Masse (FOWLER et al., 1990; HEITHOLT et al., 1990; SPANAKAKIS und VIEDT, 1990; SIMMONDS, 1995) positiv korreliert sind und auch bei differenzierter Handhabung der N-Düngung (BERTHOLDSSON und STOY, 1995b) häufig vergleichbare N-Massen in den Körnern akkumulieren, wird die Ursache der negativen Korrelation zwischen Kornertrag und Korn-N-Konzentration häufig einem Verdünnungseffekt zugeschrieben (KIBITE und EVANS, 1984).

Genotypische Unterschiede in der Korn-N-Konzentration können zum einen auf Differenzierungen der Produktion von Kohlenhydraten (SINGHAL et al., 1989; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b) sowie der Effizienz der Verlagerung von Kohlenhydraten in die wachsenden Körner beruhen (MAY et al., 1991; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b). Zum anderen wird die N-Akkumulation im Korn vor allem durch die „Sink“-Aktivität der Körner oder durch das „Source“-Angebot der Pflanze determiniert (PÉREZ et al., 1989). Mögliche Differenzierungen ergeben sich somit aus der unterschiedlichen N-Aufnahme aus dem Boden (DESAI und BHATIA, 1978; JOHNSON et al., 1978; COX et al., 1985b; LOFFLER et al., 1985; PACCAUD et al., 1985; VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; DHUGGA und WAINES, 1989) und aus Unterschieden in der N-Translokation (AUSTIN et al., 1977b; LOFFLER et al., 1985; COX et al., 1986; VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; DHUGGA und WAINES, 1989; MAY et al., 1991; PAPAKOSTA, 1994; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b). Da ein großer Teil der vorblütlichen N-Reserven am Photosyntheseapparat beteiligt ist, kann eine hohe und früh einsetzende N-Translokation auch mit einem Rückgang der aktuellen Photosyntheseaktivität assoziiert sein (GREGORY et al., 1981). In vielen Untersuchungen ergaben sich aber keine konsistenten Zusammenhänge zwischen der Korn-N-Konzentration und den genannten Merkmalen (VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; HEITHOLT et al., 1990; BARNEIX et al., 1992). Im Allgemeinen erhöht sich mit Zunahme der N-Akkumulation in der Biomasse der Korn-N-Ertrag (AUSTIN et al., 1977b; DESAI und BHATIA, 1978; COX et al., 1985b). Dabei wird die genotypische Variabilität des Korn-N-Ertrages stärker durch Differenzierungen in der N-Akkumulation als durch die der N-Remobilisation bestimmt (BÄNZIGER, 1992). Unterschiede im Korn-N-Ertrag konnten

u.a. auf Differenzierungen sowohl der vor- als auch der nachblütlichen N-Aufnahme zurückgeführt werden. Dabei wurden zwischen der N-Aufnahme bis zur Blüte und dem Korn-N-Ertrag in einigen Untersuchungen hohe Korrelationen gefunden (VAN SANFORD und MACKOWN, 1987), während in anderen nur schwache Zusammenhänge nachgewiesen werden konnten (COX et al., 1985b). Die Weizenpflanze ist zwar in der Lage, auch in späten Vegetationsphasen noch hohe Mengen N aufzunehmen (FISCHBECK et al., 1992a; FISCHBECK et al., 1997a), wodurch sich in der Regel auch der Proteinertrag signifikant erhöht (MORRIS und PAULSEN, 1985; VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; DHUGGA und WAINES, 1989; FISCHBECK et al., 1997b). Der absolute Beitrag der nachblütlichen N-Aufnahme zum N-Ertrag ist aber im Allgemeinen relativ gering, da bereits zur Blüte zwischen 70 und 90 % des zur Reife in der Weizenpflanze akkumulierten N aufgenommen werden (AUSTIN et al., 1977b; SIMMONS und MOSS, 1978; CREGAN und VAN BERKUM, 1984; LOFFLER et al., 1985; VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; HEITHOLT et al., 1990; BERTHOLDSSON und STOY, 1995a). Nur unter sehr günstigen Bedingungen kann die nach der Blüte aufgenommene N-Menge einen deutlich höheren Anteil erreichen (SPIERTZ und ELLEN, 1978; GREGORY et al., 1981). Als mögliche Ursachen für Limitierungen der nachblütlichen N-Aufnahme wurden neben energetischen Gründen (BHATIA und RABSON, 1976; AUSTIN et al., 1977b), Beschränkungen der N-Aufnahmekapazitäten von Spross (KRAMER, 1979) und Körnern (DHUGGA und WAINES, 1989) sowie einer verstärkten Seneszenz des Wurzelsystems (SIMMONS und MOSS, 1978) auch die begrenzte Verfügbarkeit von N während später Vegetationsphasen (AUSTIN et al., 1977b; COX et al., 1985b; BÄNZIGER, 1992) diskutiert.

Vor allem unter Bedingungen eines hohen N-Angebotes wird die Akkumulation von N in der oberirdischen Biomasse in der Regel stärker von der Biomasseproduktion als von der N-Konzentration beeinflusst (AUSTIN et al., 1977b; DESAI und BHATIA, 1978; COX et al., 1985b; DAY et al., 1985; PACCAUD et al., 1985; VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; HEITHOLT et al., 1990; MAY et al., 1991; BÄNZIGER, 1992; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b; EHDAIE und WAINES, 2001). Genotypische Unterschiede in der NO_3^- -Aufnahmerate (BEN-ZIONI et al., 1971) sind daher eng mit der Wachstumsrate der Pflanzen korreliert (RODGERS und BARNEIX, 1988). Vor allem in älteren Untersuchungen wurden allerdings auch genotypische Unterschiede in der Aktivität der Nitratreduktase (NRA) nachgewiesen (HAGEMAN et al., 1961; ZIESERL et al., 1963; HARPER und PAULSEN, 1967; CROY und HAGEMAN, 1970; RAO und CROY, 1972; DECKARD et al., 1973;

EILRICH und HAGEMAN, 1973; HERNANDEZ et al., 1974; DALLING et al., 1975; JOHNSON et al., 1976; DECKARD et al., 1977; GALLAGHER et al., 1983; RAVEN, 1985; RODGERS und BARNEIX, 1988). Ausgangspunkt dieser Untersuchungen war die Annahme, dass unter Bedingungen optimaler Photosyntheseleistungen die NRA den limitierenden Schritt in der NO_3^- -Assimilation darstellt (EILRICH und HAGEMAN, 1973) und demzufolge eine erhöhte NRA in Verbindung mit Verbesserungen von Kornertrag und N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse stehen könnte (HEWITT, 1979). Obwohl in einzelnen Fällen Beziehungen zwischen der Höhe der NRA und der Menge an Kornprotein aufgezeigt werden konnten (CROY und HAGEMAN, 1970; DALLING et al., 1975; DECKARD et al., 1977; HAGEMAN, 1979; GALLAGHER et al., 1983), haben die Bemühungen der Selektion überlegener Genotypen auf Grundlage einer höheren NRA zu keinen eindeutigen Ergebnissen geführt (CREGAN und VAN BERKUM, 1984; HEITHOLT et al., 1990). Insbesondere in späten Vegetationsphasen wird die Akkumulation von reduziertem N weniger von der NRA als von der NO_3^- -Versorgung und der Assimilationkapazität der Pflanze limitiert (SIMMONS und MOSS, 1978).

In den von FISCHBECK und DENNERT (1998) durchgeführten Versuchen mit den Winterweizensorten Batis und Toronto zeigten sich bereits während der Jugendentwicklung genotypische Unterschiede in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse, denen eine schnellere Verlagerung des verfügbaren N-Angebotes in die oberirdische Biomasse von Toronto zugrunde lag. Als mögliche Ursachen wurden genotypische Unterschiede in der NRA (DECKARD et al., 1977) sowie Differenzierungen in der Entwicklung (WIESLER und HORST, 1994) oder Aktivität (GRIFFITHS und ROBINSON, 1992) des Wurzelsystems diskutiert. Unterschiede in der Verwertung des aufgenommenen N zeigten sich zum einen in der sortenunterschiedlichen Ausbildung der Ertragskomponenten, die möglicherweise auf Unterschieden in der Regulation der Anlage von Ertragsorganen (KASPERBAUER und KARLEN, 1986) oder der sich anschließenden Reduktionsprozessen (HARMS, 1982) beruhen. Zum anderen bestanden deutliche genotypische Unterschiede in der N-Akkumulation des Korns, die möglicherweise mit Unterschieden in der Regulation des C/N-Stoffwechsels (BÄNZIGER, 1992) oder mit Differenzierungen von N-Verlusten während der Kornfüllungsphase (MANNHEIM et al., 1997) in Zusammenhang stehen. Auf Grundlage der aus diesen Vorversuchen bekannten Sortenunterschieden in der Aufnahme und Verwertung von N wurden erweiterte Untersuchungen mit den Sorten Batis und Toronto durchgeführt.

3 Material und Methoden

3.1 Pflanzenmaterial

Die Versuche wurden mit den Winterweizensorten Batis und Toronto durchgeführt, die bereits in eine frühere Versuchsserie am Standort Roggenstein einbezogen waren (FISCHBECK und DENNERT, 1998). Die der Beschreibenden Sortenliste (BUNDESSORTENAMT, 1998) entnommenen Einstufungen für ausgewählte Merkmale der Morphologie und Ertragsstruktur sind in Tab. 1 wiedergegeben. Batis weist bei geringerem N-Angebot eine höhere N-Effizienz als vergleichbare mitgeprüfte Sorten auf (BUNDESSORTENAMT, 1998).

Tab. 1: Merkmale der untersuchten Winterweizensorten nach Beschreibender Sortenliste

| Merkmal | Batis | Toronto |
|------------------|--------------------|-----------------|
| Ährenschieben | mittel | mittel |
| Reife | mittel | mittel |
| Pflanzenlänge | mittel bis lang | kurz bis mittel |
| Bestandesdichte | mittel bis hoch | hoch |
| Kornzahl je Ähre | niedrig bis mittel | mittel |
| Tausendkornmasse | hoch | mittel |
| Kornertrag | hoch | mittel bis hoch |
| Qualitätsgruppe | A | A |
| Rohproteingehalt | mittel | sehr hoch |

3.2 Versuchsstation Roggenstein

Die Feldversuche wurden in den Jahren 1998/1999 und 1999/2000 auf der Versuchsstation Roggenstein der Technischen Universität München durchgeführt. Die Versuchsstation liegt nordwestlich von München (48,2 °N) im Landkreis Fürstentfeldbruck auf einer Höhe von 510 m über NN.

Standort

Bei der Versuchsfläche handelte es sich um eine Parabraunerde auf ebener Altmoräne des Loisachgletschers. Der Boden war mit 56 Bodenpunkten bewertet und bestand aus ca. 20 % Ton, 40 % Schluff und 40 % Sand. Mit zunehmender Tiefe nahm die Tonfraktion geringfügig zu, die Schluff und Sandfraktion dagegen ab. Die Profiltiefe betrug 60 bis 80 cm. Die N_{\min} -Werte lagen zu Vegetationsbeginn im Versuchsjahr 1999 bei $16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ NO}_3^- \text{-N}$ und im Versuchsjahr 2000 bei $24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ NO}_3^- \text{-N}$ (0 - 60 cm). Weitere bodenchemischen Kennwerte sind in Tab. 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Bodenchemische Kennwerte der Versuchsfläche

| Tiefe [cm] | Ges.-C [%] | Ges.-N [%] | C : N | pH-Wert (CAL) | P ₂ O ₅ [mg 100 g ⁻¹ Boden] | K ₂ O |
|------------|------------|------------|-------|---------------|--|------------------|
| 0 – 30 | 1,31 | 0,13 | 10,1 | 6,1 | 12 | 24 |
| 30 – 60 | 0,61 | 0,07 | 8,7 | | | |

Witterung

Die Lage der Versuchsstation Roggenstein ist durch stark schwankende Witterungsabläufe im Voralpenraum gekennzeichnet. Roggenstein weist im langjährigen Mittel (1985-2000) einen Jahresniederschlag von 820 mm und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 7,6 °C auf. Die Jahresniederschläge schwanken zwischen 646 mm und 945 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur liegt zwischen 6,8 °C und 9,3 °C. Zwischen Mai und Juli fallen im Monatsdurchschnitt 97 mm Niederschlag bei einer mittleren Temperatur von 14,9 °C. Die Witterungsdaten der Vegetationsperioden 1999 und 2000 sowie das langjährige Mittel sind in Tab. 3 enthalten, während Tab. 4 den Witterungsverlauf bezogen auf wichtige Entwicklungsstadien wiedergibt. Die Temperatur- und Niederschlagswerte sind von der Wetterstation Roggenstein des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern aufgezeichnet worden, während die Strahlungswerte von der Wetterstation Weihenstephan des Deutschen Wetterdienstes stammen.

Tab. 3: Witterungsdaten der Vegetationsperioden 1999 und 2000

| | | März | April | Mai | Juni | Juli |
|--|---------------|------|-------|------|------|------|
| Mittlere Tagestemperatur > 0 °C [°C] | 1999 | 4,9 | 8,0 | 13,7 | 14,6 | 17,8 |
| | 2000 | 5,0 | 9,5 | 14,0 | 16,9 | 15,3 |
| | langj. Mittel | 3,1 | 7,2 | 11,9 | 15,0 | 16,7 |
| Mittlere Tageshöchsttemperatur > 0 °C [°C] | 1999 | 10,0 | 13,2 | 18,8 | 20,1 | 23,7 |
| | 2000 | 9,2 | 15,6 | 20,0 | 23,6 | 21,2 |
| | langj. Mittel | 9,1 | 12,5 | 17,3 | 20,3 | 22,4 |
| Mittlere Tagestiefsttemperatur > 0 °C [°C] | 1999 | 1,8 | 3,6 | 8,7 | 9,1 | 12,0 |
| | 2000 | 2,7 | 4,8 | 8,2 | 9,8 | 10,5 |
| | langj. Mittel | 1,3 | 2,6 | 6,7 | 9,9 | 11,4 |
| Temperatursumme > 0 °C [°C] | 1999 | 153 | 239 | 425 | 438 | 551 |
| | 2000 | 149 | 284 | 435 | 506 | 474 |
| | langj. Mittel | 136 | 226 | 389 | 460 | 521 |
| Niederschlagssumme [mm] | 1999 | 62 | 84 | 149 | 104 | 91 |
| | 2000 | 116 | 42 | 132 | 47 | 115 |
| | langj. Mittel | 54 | 64 | 83 | 107 | 117 |
| Summe PAR [MJ m ⁻²] | 1999 | 89 | 125 | 152 | 169 | 181 |
| | 2000 | 75 | 124 | 167 | 203 | 161 |
| | langj. Mittel | 87 | 118 | 153 | 159 | 164 |

Tab. 4: Witterungsdaten der Vegetationsperioden 1999 und 2000 bezogen auf wichtige Entwicklungsabschnitte des Winterweizens

| | Saat - EC 30 | EC 30 - EC 32 | EC 32 - EC 37 | EC 37 - EC 49 | EC 49 - EC 61 | EC 61 - EC 75 | EC 75 - EC 92 |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Anzahl Tage: | | | | | | | |
| 1999 | 193 | 14 | 15 | 6 | 9 | 20 | 36 |
| 2000 | 195 | 14 | 12 | 10 | 10 | 15 | 42 |
| Temperatursumme > 0 °C [°C]: | | | | | | | |
| 1999 | 695 | 178 | 187 | 118 | 131 | 288 | 644 |
| 2000 | 748 | 195 | 182 | 128 | 145 | 262 | 647 |
| Mittlere Tagestemperatur > 0 °C [°C]: | | | | | | | |
| 1999 | 5,3 | 7,2 | 8,8 | 19,6 | 14,5 | 14,4 | 17,9 |
| 2000 | 5,3 | 13,9 | 16,5 | 12,8 | 14,5 | 17,4 | 15,4 |
| Mittlere Tagestiefsttemperatur > 0 °C [°C]: | | | | | | | |
| 1999 | 2,7 | 3,7 | 5,1 | 12,2 | 9,9 | 8,5 | 11,8 |
| 2000 | 3,1 | 7,7 | 9,9 | 7,1 | 8,2 | 10,1 | 10,2 |
| Mittlere Tageshöchsttemperatur > 0 °C [°C]: | | | | | | | |
| 1999 | 8,6 | 12,3 | 13,9 | 26,1 | 19,7 | 19,9 | 24,1 |
| 2000 | 8,3 | 20,9 | 22,9 | 18,1 | 21,0 | 24,4 | 21,4 |
| Niederschlagssumme [mm]: | | | | | | | |
| 1999 | 502 | 35 | 112 | 1 | 62 | 43 | 92 |
| 2000 | 456 | 22 | 28 | 46 | 63 | 12 | 125 |
| Summe PAR [MJ m ⁻²): | | | | | | | |
| 1999 | 357 | 72 | 66 | 42 | 59 | 110 | 212 |
| 2000 | 394 | 67 | 67 | 54 | 52 | 112 | 225 |

Der Vegetationsbeginn im Versuchsjahr 1999 war auf Mitte März zu datieren. Die Pflanzen wiesen bei Eintritt in die Vegetationsperiode zwischen einem und zwei Bestockungstriebe auf. Während der Bestockungsphase herrschten leicht überdurchschnittliche Temperaturen und Niederschläge vor. Die Mitte April einsetzende kühle und niederschlagsreiche Witterung führte zu einem etwas verzögerten Schossbeginn. Warme und trockene Witterung zu Beginn der Schossphase sorgte dafür, dass die Bestände dennoch zur durchschnittlichen Zeit das Stadium EC 32 erreichten. Der Monat Mai war im weiteren Verlauf durch überdurchschnittliche Niederschlagsmengen und in der letzte Dekade durch hohe Temperaturen gekennzeichnet. Unter diesen Bedingungen erreichten die Bestände den Beginn des Ährenschiebens etwa eine Woche früher. Im Monat Juni herrschte ein durchschnittlicher Witterungsverlauf vor. Der Beginn der Blüte setzte am 10.06.1999 ein. Hohe Temperaturen bei ausreichender Wasserversorgung sorgten für günstige Bedingungen während der Kornfüllung. Die PAR wies während der Vegetationsperiode einen leicht überdurchschnittlichen Verlauf auf.

Im Versuchsjahr 2000 sorgten milde Temperaturen im Monat Februar für einen frühen Beginn der Vegetationsperiode. Beim Eintritt in die Vegetationsphase Anfang März wiesen die Bestände bereits zwei bis drei Bestockungstriebe auf. Die Bestockungsphase war durch eine überdurchschnittliche Niederschlagssumme gekennzeichnet. Die zu Schossbeginn einsetzende warme und weitgehend niederschlagsfreie Witterung förderte die vegetative Pflanzenentwicklung und die Nachlieferung an bodenbürtigem N, so dass das Stadium EC 32 zehn Tage früher als im Jahr 1999 erreicht wurde. Die günstige Witterung setzte sich im Monat Mai fort und die Bestände wiesen zu Beginn des Ährenschiebens einen Vegetationsvorsprung von etwa zwei Wochen auf. Der Beginn der Blüte war auf den 05.06.2000 zu datieren. Hohe Temperaturen und geringe Niederschläge kennzeichneten die Phase bis zur Milchreife. Sich anschließende kühlere Temperaturen bei ausreichender Niederschlagsmenge führten insgesamt zu sehr günstigen Bedingungen für die Kornfüllung. Begünstigt wurde die Vegetationsperiode 2000 zusätzlich durch einen überdurchschnittlichen Verlauf der PAR.

3.3 Versuchsanlage und Durchführung

Die Versuche wurden als Spaltanlage mit zwei Winterweizensorten und differenzierter N-Düngung angelegt. In vierfacher Wiederholung wurde auf den Großteilstücken der Faktor N-Düngung und auf den Kleinteilstücken der Faktor Sorte geprüft. Neben einer ungedüngten Kontrolle (N0/0/0/0) wurden vier N-Düngungsstufen mit ansteigendem N-Zufuhr von 60 bis 240 kg ha⁻¹ N geprüft, wobei jeweils zwei, bzw. im Fall der höchsten N-Düngung von 240 kg ha⁻¹ N, drei Varianten unterschiedlicher N-Teilgaben geprüft wurden (Tab. 5).

Tab. 5: Varianten, Höhe und Verteilung der N-Düngung sowie Düngungstermin und N-Menge [kg ha⁻¹]

| Behandlung | N-Menge (Ges.) | Entwicklungsstadium (Düngungstermin) | | | |
|---------------|-------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | VB ¹ (15.03.99) (08.03.00) | EC 30 (27.04.99) (21.04.00) | EC 32 (11.05.99) (05.05.00) | EC 49 (01.06.99) (26.05.00) |
| N0/0/0/0 | 0 | - | - | - | - |
| N60/0/0/0 | 60 | 60 | - | - | - |
| N0/60/0/0 | 60 | - | 60 | - | - |
| N30/30/30/30 | 120 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| N30/0/60/30 | 120 | 30 | - | 60 | 30 |
| N40/40/50/60 | 190 | 40 | 40 | 50 | 60 |
| N40/0/60/80 | 180 | 40 | - | 60 | 80 |
| N40/40/80/80 | 240 | 40 | 40 | 80 | 80 |
| N40/30/60/110 | 240 | 40 | 30 | 60 | 110 |
| N80/40/40/80 | 240 | 80 | 40 | 40 | 80 |

¹ Vegetationsbeginn

Die Parzellengröße betrug 30 m² (1999) bzw. 24 m² (2000), wobei je Prüfglied und Wiederholung zwei benachbarte Parzellen angelegt wurden. Jeweils eine der beiden Parzellen diente der Entnahme von Boden- und Pflanzenproben während der Vegetationsperiode, während die andere der Bestimmung des Kornertrages zur Reife diente. Als Kernstück standen in jeder Parzelle 15 m² (1999) bzw. 12 m² (2000) für Probennahme bzw. Ernte zur Verfügung. Der Dünger-N wurde in allen Fällen als Kalkammonsalpeter (KAS) (27 % N) ausgebracht. In den vergangenen 20 Jahren erhielt die Versuchsfläche außer den eingearbeiteten Ernterückständen keine organische Düngung. Vorfrucht war in beiden Jahren Winterraps. Die Aussaat erfolgte am 17.10.1998 bzw. 10.10.1999 unter günstigen Bedingungen mit einer Saatstärke von 300 Körnern m⁻². Bestandesführung und Pflanzenschutz wurden optimal durchgeführt und verhinderten in jedem Versuchsjahr negative Einflüsse der Ertragsbildung durch Unkrautkonkurrenz, Lager oder Krankheits- und Schädlingsbefall.

Pflanzenuntersuchungen

Im Vegetationsverlauf erfolgten zu ausgewählten Entwicklungsstadien Zwischenernten der oberirdischen Biomasse (Tab. 6). Die Terminierung richtete sich nach dem Versuchsmittel. Dabei wies die Bonitur der Entwicklungsstadien, die nach TOTTMAN (1987) vorgenommen wurde, nur geringe Unterschiede (± 1 d) zwischen den Sorten auf. Der Versuch wurde zu jedem Termin innerhalb eines Tages beprobt.

Tab. 6: Probenahmeterminale für Zwischenernten der oberirdischen Biomasse

| Entwicklungsstadium | EC-Code | Tage nach Aussaat ¹ | | Datum | |
|---------------------------|---------|--------------------------------|------|--------|--------|
| | | 1999 | 2000 | 1999 | 2000 |
| Schossbeginn | EC 30 | 193 | 195 | 27.04. | 21.04. |
| Zwei-Knoten-Stadium | EC 32 | 207 | 209 | 11.05. | 05.05. |
| Spitzen des Fahnenblattes | EC 37 | 222 | 221 | 26.05. | 16.05. |
| Beginn Ährenschieben | EC 49 | 228 | 231 | 01.06. | 26.05. |
| Blühbeginn | EC 61 | 237 | 241 | 10.06. | 05.06. |
| Mittlere Milchreife | EC 75 | 257 | 256 | 30.06. | 20.06. |
| Totreife | EC 92 | 293 | 298 | 05.08. | 01.08. |

¹17.10.1998 (1999) bzw. 10.10.1999 (2000)

Zu jedem Probenahmetermin wurden aus den Probenparzellen Schnittproben der oberirdischen Biomasse von jeweils 4 m einer Saatreihe (0,46 m²) entnommen. Für die Bestimmung der Trockenmasse wurde das gewonnene Pflanzenmaterial gewogen, grob gehäckselt und eine Teilprobe zur Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes bis zur Gewichtskonstanz mindestens 48 h bei 60 °C getrocknet und anschließend zurückgewogen. Eine weitere

Teilprobe wurde anschließend in einer Wiley-Mühle (Fa. BRABENDER) pulverfein vermahlen und bis zur weiteren Analyse in Polydosen aufbewahrt. Die Kornerträge wurden mit einem Parzellenmähdrescher (Fa. WINTERSTEIGER) an den ungestörten Ernteparzellen ermittelt. Nach Ermittlung des Parzellenrohertrages wurde eine Teilprobe gereinigt und für die Bestimmung der Kornfeuchte bis zur Gewichtskonstanz mindestens 48 h bei 60 °C getrocknet. Die auf dem Feld ermittelten Parzellenerträge wurden anschließend um die Kornfeuchte korrigiert. Die Tausendkornmasse wurde mit einem Kornzählgerät an der gereinigten und getrockneten Unterprobe der Ernteparzelle erhoben. Die weiteren Komponenten der Ertragsstruktur wurden an einer Schnittprobe von 0,23 m² der Probenahmeparzelle ermittelt. Hierzu wurde das Erntegut in Korn und Stroh aufgetrennt. In ausgewählten Varianten wurden an den Zwischenernten weitere Merkmale der Einzelährenstruktur erfasst. Hierzu wurden jeweils 12 repräsentative Ähren ausgewählt.

Insgesamt wurden folgende Merkmale bestimmt:

Anzahl der Triebe m⁻² bzw. Anzahl der ährentragenden Halme m⁻²

Kornzahl Ähre⁻¹

Kornzahl m⁻² (Korndichte)

Einzelährenertrag

Anzahl angelegter Ährchen Ähre⁻¹

Anzahl steriler Ährchen Ähre⁻¹

Anzahl fertiler Blüten Ährchen⁻¹

Anzahl fertiler Blüten Ähre⁻¹

Um Anhaltspunkte für die Durchwurzelung der Bodenschicht zu Beginn der Schossphase zu erhalten, wurden ausgewählte Düngungsvarianten mit Hilfe der Bohrkernmethode (BÖHM, 1979) untersucht. Mit einem Stechzylinder von 25 cm Länge und 7 cm Durchmesser wurden in zwölfacher Wiederholung Bohrkern in jeweils zwei Tiefen (0-25 cm und 25-50 cm) gewonnen. Jeder Bohrkern wurde dreimal gebrochen und die Durchwurzelungsintensität über die Auszählung der sichtbaren Wurzeln ermittelt.

Chemische Analysen

Der **Gesamtstickstoff** in der oberirdischen Biomasse wurde nach einem modifizierten Kjeldahl-Verfahren bestimmt, das im Pflanzenmaterial enthaltenes NO₃⁻-N nicht einschließt. Hierzu wurden 0,5 g des getrockneten Probenmaterials mit einer halben Kjeldahl-Tablette und 7,5 ml HCl versetzt und aufgeschlossen. Die Aufschlusszeit betrug 1 - 7 h bei 100 °C, 2 h bei

200 °C und 3 h bei 360 °C. Nach Auffüllen mit H₂O bis zur Eichmarke der Glaskolben wurde die Lösung filtriert. Der im Filtrat vorliegende N wurde anschließend photometrisch in einem Continuous-Flow-Verfahren (Fa. SKALAR) bestimmt (HAUNZ, 1990).

Für die Bestimmung der **Nitratreduktaseaktivität** (NRA) wurden aus den Probepartikeln ausgewählter Varianten Blattproben entnommen. Aus jeder Parzelle wurden 10 Primärblätter entnommen, unmittelbar in flüssigen Stickstoff gebracht und bis zur weiteren Analyse bei - 80 °C gelagert. Von jeder Parzelle wurden zwei Parallelproben genommen. Die Probenahme erfolgte jeweils zum gleichen Zeitpunkt. Für die Analyse wurde das Blattmaterial in flüssigem Stickstoff homogenisiert und ein Aliquot mit (kaltem) Extraktionspuffer [100 mM Hepes (pH 8,0), 5 mM DTT, 10 µM FAD, 20 mM MgCl₂, 1 mM CaCl₂, 1 mM Pefabloc, 50 µM Leupeptin, 50 µM Cantharidin, 0,2 % BSA, 0,1 % Casein und 1 % PVPP] im Verhältnis 1 g : 2 ml versetzt. Nach dem Auftauen wurde der Extrakt zentrifugiert (14500 g, 10 min, 4 °C) und der Überstand abgenommen. Durch Zugabe von 200 µl des extrahierten Pflanzenmaterials zu 800 µl Reaktionspuffer [50 mM Hepes (pH 7,6), 5 mM DTT, 10 µM FAD, 10 mM MgCl₂, 1 mM CaCl₂, 1 mM Pefabloc und 50 µM Leupeptin] wurde die Reaktion zur Bestimmung der NRA gestartet. Pro Ansatz wurden 5 mM KNO₃ und 0,2 mM NADH als Substrate der NR zugegeben. Die Proben wurden anschließend bei 25 °C im Heizblock inkubiert. Nach 5 min wurde die Reaktion mit 125 µl 0,5 M Zinkacetat gestoppt. Im Extrakt noch vorhandenes NADH wurde mit 10 µl PMS (Phenazinmetasulfat) oxidiert, um die spätere Absorptionsmessung nicht zu stören. Nach 10 min wurden die Ansätze zentrifugiert (14500 g, 3 min, Raumtemperatur) und 100 µl vom Überstand abgenommen. Der Nachweis des während der Reaktion entstandenen Nitrits erfolgte kalorimetrisch mit Sulfanilamid und N-Naphthylethylendiamid. Jeder Probe wurden hierzu 75 µl Sulfanilamid (1 % (w/v) in 3 M HCl) und 75 µl N-Naphthylethylendiamid (0,02 % (w/v)) zugegeben. Nach 20 min Reaktionszeit entstand ein rot-violetter Diazokomplex, dessen Extinktion bei 540 nm gemessen wurde. Zur Eichung wurde den Proben (Reaktionsansatz ohne Extrakt) KNO₂ zugegeben und anschließend mit einer Einpunkteichung die Konzentration an gebildetem Nitrit und damit die NRA errechnet. Zur Bestimmung des bereits zum Zeitpunkt der Probennahme vorhandenen Nitrits wurde 200 µl Extrakt zu folgendem Ansatz gegeben: 50 mM Hepes (pH 7,6), 5 mM DTT, 10 µM FAD, 10 mM MgCl₂ und 125 µl Zinkacetat. Durch das vorgelegte Zinkacetat wurde jede Enzymreaktion unterbunden, so dass im nachfolgenden Nitritnachweis nur das bereits im Extrakt enthaltene Nitrit detektiert wurde. Die NRA wurde als Nitritbildungsrate [$\mu\text{mol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ FM h}^{-1}$] angegeben (GLAAB, 1996).

Zur Bestimmung des **NO₃⁻-Stickstoffs** im Pflanzenmaterial wurde 1 g der getrockneten Probe in 80 ml H₂O suspendiert, 30 min bei 95 °C erhitzt und filtriert. Zur Bestimmung des NO₃⁻-N im Boden (N_{min}) zu Vegetationsbeginn und Ernte wurden 90 g des gefrorenen Bodens im Verhältnis 1 : 2 mit H₂O 1 h geschüttelt und filtriert. Der jeweils im Filtrat vorliegende NO₃⁻-N wurde anschließend photometrisch in einem Continuous-Flow-Verfahren (Fa. SKALAR) bestimmt (FUNK, 1993).

Für die Bestimmung der in der Trockenmasse enthaltenen **wasserlöslichen Kohlenhydrate** (WLK) wurden 20 mg des getrockneten Probenmaterials mit 2 ml H₂O versetzt. Anschließend wurden die Proben für 10 min bei 90 °C erhitzt, 45 min geschüttelt und zentrifugiert (10 min, 15000 g). Der Überstand wurde abgenommen und die WLK-Konzentration photometrisch in einem Continuous-Flow-Verfahren bestimmt (GEBBING et al., 1998).

3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS für Windows (Version 10.0). Mit varianzanalytischen Methoden wurde geprüft, ob signifikante Merkmalsunterschiede in Abhängigkeit der Behandlungen (Sorte und N-Düngung) auftraten. Zeigte der F-Test signifikante Varianzeffekte, wurden Unterschiede zwischen Mittelwerten mit Hilfe des Tukey-Tests mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,05$ auf Signifikanz geprüft. In den Tabellen des Ergebnisteils sind jeweils die Irrtumswahrscheinlichkeiten (p) für die Hauptwirkungen (Sorte und N-Düngung) sowie die Wechselwirkung (Sorte x N-Düngung) angegeben. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikant voneinander verschiedene Mittelwerte, während Kleinbuchstaben mit * signifikante Sortenunterschiede auf der jeweiligen N-Stufe kennzeichnen.

Im Mittelpunkt der Auswertungen stand die Aufklärung von Sortenunterschieden in der Aufnahme und Verwertung von N und insbesondere möglicher Wechselwirkungen Sorte x N-Düngung. Da zwischen den Versuchsjahren deutliche Unterschiede im Witterungsverlauf auftraten (Tab. 3 und Tab. 4) und vor allem die Ergebnisse des zweiten Versuchsjahres markante Abweichungen gegenüber der vorhergehenden Versuchsserie (FISCHBECK und DENNERT, 1998) aufwiesen, wurden die Feldversuche für beide Versuchsjahre getrennt ausgewertet.

4 Ergebnisse

4.1 Bestandesentwicklung und Zusammensetzung der oberirdischen Biomasse

4.1.1 Entwicklung der oberirdischen Biomasse

Signifikante Sortenunterschiede in der Entwicklung der Sprossstrockenmasse (Tab. 7 und Tab. 8, Abb. 1) waren in beiden Versuchsjahren festzustellen. Im Versuchsjahr 1999 wies Batis im Mittel der Varianten bis zum Ährenschieben eine signifikant höhere Trockenmasse als Toronto auf. Mit den hohen Trockenmassezuwächsen ab dem Stadium EC 32 verringerten sich die Sortenunterschiede allerdings deutlich. Die spätere Schossphase des ersten Versuchsjahres war aufgrund der ungewöhnlich hohen Niederschläge durch einen ungünstigen Witterungsverlauf gekennzeichnet (Tab. 3 und Tab. 4). Die Verbesserung des N-Angebotes nach der N-Spätdüngung in EC 49 konnte unter den Bedingungen des ersten Versuchsjahres von Toronto deutlich besser genutzt werden als von Batis. Zur Blüte hatte Toronto den Wachstumsrückstand aufgeholt und wies sogar einen signifikant höheren Trockenmasseertrag auf. Nach der Blüte waren keine gesicherten Sortenunterschiede mehr nachzuweisen (Tab. 7).

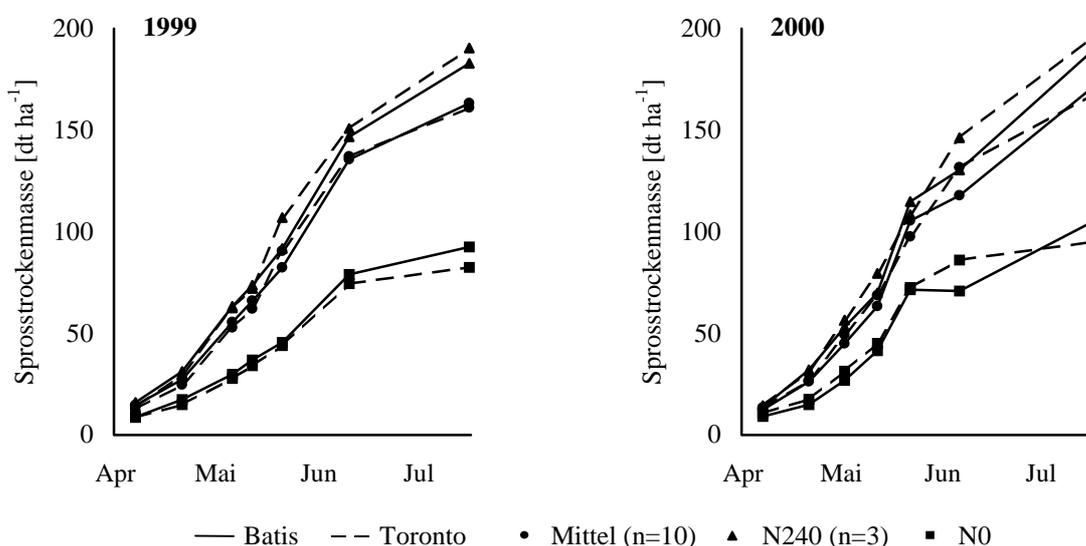


Abb. 1: Sprossstrockenmasse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Tab. 7: Sprossrockenmasse [dt ha⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|---------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 8,9 a | 17,4 a* | 29,9 a | 36,9 a | 45,6 a | 79,0 a | 92,5 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 18,0 c* | 30,8 b* | 63,1 c | 63,1 bc | 84,9 bc | 150,9 b | 150,8 bc |
| | N0/60/0/0 | 60 | 10,4 ab | 17,7 a | 45,3 bc | 58,2 b | 74,0 b | 119,5 b* | 144,3 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 15,6 c | 27,4 b | 57,8 bc* | 70,5 bc* | 81,4 bc | 145,8 b | 164,3 cde |
| | N30/0/60/30 | 120 | 15,2 bc | 29,4 b* | 51,3 bc | 67,3 bc | 82,1 bc | 133,0 b | 170,1 de |
| | N40/40/50/60 | 190 | 15,1 bc | 31,0 b* | 61,2 c | 72,8 bc* | 96,4 c | 146,4 b | 185,2 ef* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 14,7 bc | 25,5 b | 56,6 bc | 70,3 bc | 82,9 bc | 141,5 b | 175,7 def |
| | N40/40/80/80 | 240 | 14,4 bc | 30,6 b | 57,3 b | 68,2 bc | 89,9 bc* | 145,7 b | 181,8 ef |
| | N40/30/60/110 | 240 | 16,8 c | 30,0 b | 63,8 c | 77,7 c | 90,0 bc* | 148,5 b | 175,8 de* |
| N80/40/40/80 | 240 | 16,8 c | 33,3 b | 68,8 c | 75,2 bc | 95,6 c* | 146,1 b | 191,1 f | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 8,7 a | 14,9 a* | 27,8 a | 34,1 a | 43,9 a | 74,5 a | 82,5 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 14,2 b* | 26,6 cd* | 57,2 de | 63,8 b | 94,5 bc | 133,5 b | 144,8 b |
| | N0/60/0/0 | 60 | 8,9 a | 16,1 a | 40,3 b | 52,6 b | 77,2 b | 127,2 b* | 142,8 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 13,3 ab | 24,9 c | 50,9 c* | 59,3 bc* | 89,4 bc | 148,7 b | 155,4 bc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 13,3 ab | 22,2 bc* | 48,7 c | 61,9 bc | 86,4 bc | 133,9 b | 155,8 bc |
| | N40/40/50/60 | 190 | 14,1 b | 27,8 cd* | 59,2 c | 66,2 bc* | 100,4 bc | 145,8 b | 179,0 cd* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 14,1 b | 24,9 c | 55,6 d | 67,1 bc | 92,9 bc | 154,5 b | 178,1 cd |
| | N40/40/80/80 | 240 | 13,3 ab | 27,2 cd | 57,7 de | 69,5 bc | 107,8 c* | 146,6 b | 189,2 d |
| | N40/30/60/110 | 240 | 13,9 b | 29,2 cd | 58,3 e | 71,3 c | 102,9 c* | 148,4 b | 189,6 d* |
| N80/40/40/80 | 240 | 13,5 ab | 32,9 c | 71,5 f | 75,4 c | 110,1 c* | 157,3 b | 192,4 d | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 8,8 a | 16,1 a | 28,9 a | 35,5 a | 44,8 a | 76,7 a | 87,5 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 16,1 b | 28,7 b | 60,2 d | 63,5 bc | 89,7 bcd | 142,2 bc | 147,8 b |
| | N0/60/0/0 | 60 | 9,6 a | 16,9 a | 42,8 b | 55,4 b | 75,6 b | 123,3 b | 143,5 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 14,5 b | 26,1 b | 54,3 cd | 64,9 bc | 85,4 bc | 147,2 bc | 159,9 bc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 14,2 b | 25,8 b | 50,0 c | 64,6 bc | 84,3 bc | 133,5 bc | 162,9 bcd |
| | N40/40/50/60 | 190 | 14,6 b | 29,4 bc | 60,2 d | 69,5 bc | 98,4 cd | 146,1 bc | 182,1 cd |
| | N40/0/60/80 | 180 | 14,4 b | 25,2 b | 56,1 cd | 68,7 bc | 87,9 bcd | 148,0 bc | 176,9 cd |
| | N40/40/80/80 | 240 | 13,9 b | 28,9 bc | 57,5 cd | 68,9 bc | 98,9 cd | 146,1 bc | 185,5 cd |
| | N40/30/60/110 | 240 | 15,4 b | 29,6 bc | 61,0 d | 74,5 c | 96,4 cd | 148,4 bc | 182,7 cd |
| N80/40/40/80 | 240 | 15,2 b | 33,1 c | 70,2 e | 75,3 c | 102,8 d | 151,7 c | 191,8 d | |
| Bat | Mittel | | 14,6 a | 27,3 a | 55,5 a | 66,0 a | 82,3 b | 135,6 a | 163,2 a |
| Tor | Mittel | | 12,7 b | 24,7 b | 52,7 b | 62,1 b | 90,6 a | 137,0 a | 161,0 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 6,2 | + 4,8 | + 2,5 | + 2,9 | - 4,7 | - 0,5 | - 0,7 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | - 7,3 | - 4,8 | - 2,6 | - 3,1 | + 4,6 | + 0,5 | + 0,7 |
| Mittel | Mittel | | 13,7 | 26,0 | 54,1 | 64,1 | 86,4 | 136,3 | 162,1 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | 0,002 | 0,001 | <0,001 | 0,540 | 0,378 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,065 | 0,010 | 0,251 | 0,197 | 0,106 | 0,203 | 0,066 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Während der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) bestand eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung ($p = 0,065$ in EC 30) (Tab. 7). Mit Erhöhung der N-Düngung war bei beiden Sorten unabhängig vom Entwicklungsstadium eine Zunahme der Trockenmasse verbunden. Batis profitierte unter den Bedingungen dieses Versuchsjahres von einer zunehmenden N-Versorgung zunächst stärker als Toronto. Dieser Vorteil verringerte

sich aber im weiteren Vegetationsverlauf. Bereits nach Abschluss der Schossphase war erkennbar, dass Toronto vor allem ein hohes N-Angebot in späteren Entwicklungsstadien erkennbar besser für die Bildung von Sprosstrockenmasse nutzen konnte als Batis (Tab. 7 und Abb. 1).

Tab. 8: Sprosstrockenmasse [dt ha⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|--------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 9,1 a | 14,9 a | 26,9 a | 41,4 a | 71,6 a | 70,8 a | 106,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 15,2 b* | 29,4 b | 45,9 bc | 65,8 ab | 111,1 ab | 112,5 b | 155,2 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 9,6 a | 18,5 ab | 38,7 ab | 58,9 ab | 86,6 ab | 113,9 b | 154,2 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 12,5 ab | 24,5 abc | 43,5 abc | 62,8 ab | 108,8 ab | 122,9 b | 171,6 b |
| | N30/0/60/30 | 120 | 11,5 ab | 24,8 abc | 42,3 abc | 60,5 ab | 99,3 ab* | 116,3 b | 185,2 b |
| | N40/40/50/60 | 190 | 13,7 ab | 27,1 bc | 50,9 bc | 68,0 ab | 110,5 ab | 128,5 b* | 199,7 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 12,2 ab | 27,2 bc | 42,5 bc | 65,8 ab | 122,2 b | 121,6 b | 183,3 b* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 12,7 ab | 31,8 c* | 53,2 bc | 69,2 ab* | 110,8 ab | 126,5 b* | 185,5 b |
| | N40/30/60/110 | 240 | 12,4 ab | 28,2 bc | 48,5 bc | 69,2 ab | 111,7 ab | 126,8 b | 187,0 b |
| N80/40/40/80 | 240 | 15,7 b | 36,1 c | 57,5 c | 71,2 b | 122,1 b | 137,8 b | 200,7 b | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 10,8 ab | 17,5 a | 31,5 a | 45,1 a | 72,6 a | 86,0 a | 95,3 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 13,7 ab* | 28,2 ab | 52,8 b | 66,7 ab | 105,2 ab | 117,3 ab | 143,1 b |
| | N0/60/0/0 | 60 | 9,2 a | 19,3 ab | 45,3 ab | 62,5 ab | 88,4 ab | 125,7 ab | 141,9 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 13,8 ab | 24,6 ab | 49,3 ab* | 69,6 ab | 103,1 ab | 134,2 b | 177,4 b |
| | N30/0/60/30 | 120 | 13,3 ab | 23,7 ab | 41,5 ab | 64,2 ab | 88,2 ab* | 128,6 ab | 176,0 bc |
| | N40/40/50/60 | 190 | 14,5 ab | 31,3 ab | 55,6 b | 69,5 ab | 94,9 ab | 149,9 b* | 193,0 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | 14,7 ab | 28,7 ab | 47,2 ab | 70,7 ab | 97,3 ab | 136,4 b | 168,4 c* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 13,9 ab | 28,4 ab* | 55,5 b | 78,4 b | 108,3 ab | 154,0 b* | 184,6 bc |
| | N40/30/60/110 | 240 | 13,8 ab | 32,8 b | 52,9 b | 74,2 ab | 100,5 ab | 138,1 b | 205,0 c |
| N80/40/40/80 | 240 | 15,7 b | 33,0 b | 61,2 b | 85,9 b* | 116,5 b | 146,4 b | 202,8 c | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 9,9 a | 16,2 a | 29,2 a | 43,3 a | 72,1 a | 78,4 a | 100,7 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 14,4 ab | 28,8 bc | 49,3 bc | 66,3 b | 108,2 b | 114,9 b | 149,2 b |
| | N0/60/0/0 | 60 | 9,4 a | 18,9 ab | 42,0 b | 60,7 ab | 87,5 ab | 119,8 bc | 148,0 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 13,2 ab | 24,5 abc | 46,4 bc | 66,2 b | 106,0 b | 128,6 bc | 174,5 c |
| | N30/0/60/30 | 120 | 12,4 ab | 24,3 abc | 41,9 b | 62,4 ab | 93,7 ab | 122,4 bc | 180,6 c |
| | N40/40/50/60 | 190 | 14,1 ab | 29,2 abc | 53,2 bc | 68,7 b | 102,7 ab | 139,2 bc | 196,4 c |
| | N40/0/60/80 | 180 | 13,4 ab | 28,0 bc | 44,8 bc | 68,3 b | 109,7 b | 129,0 bc | 175,8 c |
| | N40/40/80/80 | 240 | 13,3 ab | 30,1 c | 54,4 bc | 73,8 b | 109,5 b | 140,3 c | 185,1 c |
| | N40/30/60/110 | 240 | 13,1 ab | 30,5 c | 50,7 bc | 71,7 b | 106,1 b | 132,5 bc | 196,0 c |
| N80/40/40/80 | 240 | 15,7 b | 34,6 c | 59,3 c | 78,5 b | 119,3 b | 142,1 c | 201,8 c | |
| Bat | Mittel | | 12,5 a | 26,2 a | 45,0 a | 63,3 a | 105,5 b | 117,8 a | 172,8 a |
| Tor | Mittel | | 13,3 b | 26,8 a | 49,3 b | 68,7 b | 97,5 a | 131,7 b | 168,7 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 3,1 | - 1,1 | - 4,4 | - 4,0 | + 3,8 | - 5,5 | + 1,2 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 3,0 | + 1,1 | + 4,5 | + 3,9 | - 3,9 | + 5,3 | - 1,2 |
| Mittel | Mittel | | 12,9 | 26,5 | 47,1 | 66,0 | 101,5 | 124,7 | 170,8 |
| Sorte (S) | | | 0,002 | 0,454 | <0,001 | 0,002 | 0,004 | <0,001 | 0,028 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,051 | 0,133 | 0,804 | 0,739 | 0,443 | 0,917 | 0,351 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Das Versuchsjahr 2000 war durch einen frühen Beginn der Vegetationsperiode gekennzeichnet. Höhere Temperatursummen (Tab. 3 und Tab. 4) und günstige Bedingungen für die N-Mineralisierung begünstigten die Frühjahrsentwicklung der Pflanzen. Toronto profitierte von diesen Bedingungen erkennbar stärker als Batis und wies zu den meisten Terminen im Mittel eine signifikant höhere Trockenmasse als Batis auf. Eine Erhöhung des N-Angebotes führte unabhängig vom Entwicklungsstadium bei beiden Sorten zu steigenden Trockenmasseerträgen. Eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung war nur zu Beginn der Schossphase (EC 30) gesichert. Der Sortenunterschied nahm mit steigender N-Versorgung zu (Tab. 8). Nach dem Ährenschieben konnte Batis seinen Wachstumsrückstand vorübergehend aufholen und erreichte zur Blüte eine signifikant höhere Trockenmasse als Toronto. Nach der Blüte waren wiederum signifikante Unterschiede in der Trockenmasse zugunsten von Toronto festzustellen, die sich aber im letzten Abschnitt bis zur Reife weitgehend nivellierten. Wie im ersten Versuchsjahr wies Batis zur Reife einen geringfügig höheren Trockenmasseertrag auf, der in diesem Versuchsjahr auch statistisch gesichert war (Tab. 8 und Abb. 1).

Die Sortenunterschiede in der Entwicklung der Sprosstrockenmasse lassen sich auch über die durchschnittliche Trockenmassebildung pro Tag während einzelner Entwicklungsphasen charakterisieren (Tab. 9 und Tab. 10). Batis wies im ersten Versuchsjahr im Variantenmittel zu fast allen Terminen höhere tägliche Zuwachsraten auf als Toronto. Die Abweichungen zwischen beiden Sorten waren allerdings gering und aufgrund des höheren Versuchsfehlers nur in wenigen Fällen statistisch gesichert. Signifikant waren dagegen die deutlich sortenunterschiedlichen Zuwachsraten zwischen Ährenschieben und Blüte, die mit Ausnahme der Kontrolle in allen Varianten festzustellen waren. Toronto erzielte im Mittel eine um $1,4 \text{ dt ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ höhere Zuwachsrate als Batis. Zu allen Terminen war eine Erhöhung der N-Versorgung mit einer Steigerung der Trockenmasse verbunden. Unterschiede zwischen den Varianten konnten allerdings nur während der Schossphase gesichert werden (Tab. 9).

Die Sortenunterschiede im zweiten Versuchsjahr fielen erkennbar geringer aus und wurden in den meisten Fällen erst in den späteren Entwicklungsstadien deutlich. Nach dem Ährenschieben wies Batis zunächst höhere tägliche Zuwachsraten auf, während sich der Sortenunterschied anschließend bei insgesamt deutlich verringerten Zuwachsraten bis zur Milchreife umkehrte. Erst im letzten Vegetationsabschnitt konnte Batis erneut höhere Trockenmassezuwächse als Toronto erzielen.

Tab. 9: Tägliche Trockenmasseproduktion [dt ha⁻¹ d⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|---------|--------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | Saat - 30 | 30 - 32 | 32 - 37 | 37 - 49 | 49 - 61 | 61 - 75 | 75 - 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,05 a | 0,57 a* | 0,83 a | 1,16 a | 0,97 a | 1,67 a | 0,34 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,10 c* | 0,85 ab | 2,15 b | -0,01 a | 2,42 a | 3,30 a* | 0,00 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,05 ab | 0,49 a | 1,84 ab | 2,15 a | 1,75 a | 2,28 a | 0,62 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,08 c | 0,79 ab | 2,03 b | 2,11 a | 1,21 a | 3,22 a | 0,46 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,08 bc | 0,95 ab* | 1,46 ab | 2,66 a | 1,65 a | 2,54 a | 0,93 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,08 bc | 1,06 b | 2,01 b | 1,94 a | 2,62 a* | 2,50 a | 0,97 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,08 bc | 0,72 ab | 2,07 b | 2,28 a | 1,40 a* | 2,93 a | 0,86 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,08 bc | 1,08 b | 1,78 ab | 1,83 a | 2,41 a* | 2,79 a | 0,90 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,09 c | 0,88 ab | 2,25 b | 2,32 a | 1,36 a* | 2,92 a | 0,59 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,09 c | 1,10 b | 2,37 b | 1,06 a | 2,27 a* | 2,53 a | 1,12 a | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,05 a | 0,41 a* | 0,87 a | 1,05 a | 1,09 a | 1,53 a | 0,20 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,08 b* | 0,83 abc | 2,04 b | 1,10 a | 3,40 a | 1,95 a* | 0,28 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,05 a | 0,48 ab | 1,62 ab | 2,04 a | 2,74 a | 2,50 a | 0,39 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,07 ab | 0,77 ab | 1,73 ab | 1,41 a | 3,35 a | 2,96 a | 0,17 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,07 ab | 0,59 ab* | 1,76 ab | 2,21 a | 2,72 a | 2,38 a | 0,55 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,07 b | 0,91 bc | 2,10 b | 1,16 a | 3,80 a* | 2,27 a | 0,83 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,07 b | 0,72 ab | 2,05 b | 1,92 a | 2,87 a* | 2,79 a | 0,59 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,07 ab | 0,92 bc | 2,04 b | 1,96 a | 4,26 a* | 1,94 a | 1,07 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,07 b | 1,02 c | 1,94 b | 2,17 a | 3,51 a* | 2,28 a | 1,03 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,07 ab | 1,29 c | 2,57 b | 0,65 a | 3,86 a* | 2,36 a | 0,88 a | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,05 a | 0,49 a | 0,85 a | 1,11 a | 1,03 a | 1,60 a | 0,27 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,09 b | 0,84 b | 2,10 bc | 0,55 a | 2,91 a | 2,63 a | 0,14 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,05 a | 0,48 a | 1,73 bc | 2,10 a | 2,25 a | 2,39 a | 0,50 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,08 b | 0,78 ab | 1,88 bc | 1,76 a | 2,28 a | 3,09 a | 0,32 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,08 b | 0,77 ab | 1,61 ab | 2,44 a | 2,19 a | 2,46 a | 0,74 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,08 b | 0,99 bc | 2,05 bc | 1,55 a | 3,21 a | 2,38 a | 0,90 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,08 b | 0,72 ab | 2,06 bc | 2,10 a | 2,13 a | 2,86 a | 0,72 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,07 b | 1,00 bc | 1,91 bc | 1,89 a | 3,33 a | 2,36 a | 0,98 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,08 b | 0,95 bc | 2,10 bc | 2,25 a | 2,44 a | 2,60 a | 0,81 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,08 b | 1,19 c | 2,47 c | 0,85 a | 3,06 a | 2,44 a | 1,00 a | |
| Bat | Mittel | | 0,08 a | 0,85 a | 1,88 a | 1,75 a | 1,81 a | 2,67 a | 0,68 a |
| Tor | Mittel | | 0,07 b | 0,79 a | 1,87 a | 1,57 a | 3,16 b | 2,29 a | 0,60 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 12,5 | + 3,5 | 0,0 | + 5,1 | - 27,0 | + 7,1 | + 5,9 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | - 3,7 | - 0,5 | - 5,4 | + 21,5 | - 7,7 | - 6,3 |
| Mittel | Mittel | | 0,07 | 0,82 | 1,88 | 1,66 | 2,48 | 2,48 | 0,64 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,092 | 0,881 | 0,404 | <0,001 | 0,012 | 0,183 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,059 | 0,014 | 0,011 | <0,001 |
| S x N | | | 0,065 | 0,020 | 0,285 | 0,777 | 0,309 | 0,241 | 0,389 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Insgesamt war auch in diesem Versuchsjahr die Wirkung der N-Düngung tendenziell abhängig vom Entwicklungsstadium. Unterschiede zwischen den Varianten konnten bei beiden Sorten nur während der frühen Schossphase gesichert werden. Bei beiden Sorten war eine Erhöhung der N-Versorgung in diesem Entwicklungsabschnitt mit einer Zunahme der Trockenmasseproduktion verbunden. Auch im letzten Abschnitt zwischen Milchreife und

Reife war dies erkennbar, während sich in den weiteren Entwicklungsphasen keine eindeutigen Hinweise ergaben.

Tab. 10: Tägliche Trockenmasseproduktion [dt ha⁻¹ d⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|--------|--------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | | Saat - 30 | 30 - 32 | 32 - 37 | 37 - 49 | 49 - 61 | 61 - 75 | 75 - 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,05 a | 0,38 a | 0,80 a | 2,42 a | 3,35 a | -0,04 a | 0,88 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,08 b* | 0,94 ab | 1,11 a | 3,31 a | 5,03 a | 0,07 a | 1,07 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,05 a | 0,60 ab | 1,34 a | 3,36 a | 3,09 a | 1,36 a | 1,01 a* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,07 ab | 0,79 ab | 1,27 a | 3,21 a | 5,11 a | 0,71 a | 1,22 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,06 ab | 0,89 ab | 1,16 a | 3,05 a | 4,30 a* | 0,85 a* | 1,72 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,07 ab | 0,89 ab | 1,59 a | 2,84 a | 4,73 a | 0,90 a* | 1,78 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,06 ab | 1,00 ab | 1,02 a | 3,89 a | 6,26 a | -0,03 a | 1,65 a* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,07 ab | 1,28 b* | 1,43 a | 2,66 a | 4,62 a | 0,79 a* | 1,79 a* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,07 ab | 1,05 ab | 1,35 a | 3,46 a | 4,72 a* | 0,75 a* | 1,76 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,08 b | 1,36 b | 1,42 a | 2,28 a | 5,65 a | 0,79 a | 1,57 a | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,06 a | 0,45 a | 0,93 a | 2,27 a | 3,06 a | 0,67 a | 0,13 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,07 a* | 0,97 a | 1,63 a | 2,33 a | 4,28 a | 0,60 a | 0,64 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,05 a | 0,67 a | 1,74 a | 2,86 a | 2,88 a | 1,87 a | 0,17 ab* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,07 a | 0,72 a | 1,65 a | 3,37 a | 3,73 a | 1,56 a | 1,08 ab |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,07 a | 0,70 a | 1,19 a | 3,77 a | 2,67 a* | 2,02 a* | 1,19 ab |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,08 a | 1,12 a | 1,62 a | 2,32 a | 2,82 a | 2,75 a* | 1,08 ab |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,08 a | 0,94 a | 1,23 a | 3,93 a | 2,95 a | 1,88 a | 0,67 ab* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,07 a | 0,96 a* | 1,81 a | 3,82 a | 3,32 a | 2,29 a* | 1,06 ab* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,07 a | 1,26 a | 1,34 a | 3,55 a | 2,92 a* | 1,88 a* | 1,67 b |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,08 a | 1,16 a | 1,88 a | 4,12 a | 3,41 a | 1,49 a | 1,41 ab | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,05 a | 0,42 a | 0,87 a | 2,35 a | 3,20 a | 0,32 a | 0,51 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,08 ab | 0,96 bc | 1,37 a | 2,82 a | 4,66 a | 0,34 a | 0,86 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,05 a | 0,63 ab | 1,54 a | 3,11 a | 2,98 a | 1,62 a | 0,59 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,07 ab | 0,76 ab | 1,46 a | 3,29 a | 4,42 a | 1,13 a | 1,15 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,07 ab | 0,79 abc | 1,17 a | 3,41 a | 3,49 a | 1,43 a | 1,45 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,07 ab | 1,01 bc | 1,60 a | 2,58 a | 3,77 a | 1,82 a | 1,43 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,07 ab | 0,97 bc | 1,12 a | 3,91 a | 4,61 a | 0,93 a | 1,16 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,07 ab | 1,12 bc | 1,62 a | 3,24 a | 3,97 a | 1,54 a | 1,43 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,07 ab | 1,16 c | 1,35 a | 3,50 a | 3,82 a | 1,32 a | 1,72 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,08 b | 1,26 c | 1,65 a | 3,20 a | 4,53 a | 1,14 a | 1,49 a | |
| Bat | Mittel | | 0,07 a | 0,92 a | 1,25 a | 3,05 a | 4,69 a | 0,62 a | 1,44 a |
| Tor | Mittel | | 0,07 b | 0,90 a | 1,50 b | 3,23 a | 3,20 b | 1,70 b | 0,91 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | + 1,1 | - 9,4 | - 2,9 | + 15,8 | - 46,6 | + 18,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | - 1,1 | + 8,0 | + 2,8 | - 19,0 | + 31,8 | - 22,9 |
| Mittel | Mittel | | 0,07 | 0,91 | 1,38 | 3,14 | 3,95 | 1,16 | 1,18 |
| Sorte (S) | | | 0,002 | 0,618 | 0,003 | 0,561 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | 0,030 | 0,644 | 0,481 | 0,004 | <0,001 |
| S x N | | | 0,051 | 0,189 | 0,734 | 0,682 | 0,669 | 0,868 | 0,727 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

4.1.2 Veränderungen der N-Konzentration und Verlauf der N-Aufnahme

Sortenbedingte Unterschiede in den Veränderungen der N-Konzentration (Tab. 11 und Tab. 13) und dem Verlauf der N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse (Tab. 12 und Tab. 14) wurden in beiden Versuchsjahren festgestellt (Abb. 2 und Abb. 3).

Tab. 11: Spross-N-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|--------|--------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 2,0 a* | 1,7 a* | 1,2 a | 1,2 a | 1,1 a | 0,6 a | 0,8 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 3,3 c* | 2,4 bcd | 1,6 ab | 1,5 ab | 1,2 a | 0,7 ab | 0,8 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 2,1 ab* | 2,3 bc* | 2,0 bc* | 2,0 bc | 1,6 ab | 1,1 bc | 1,0 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 2,6 ab* | 2,3 bc* | 1,8 bc | 1,9 b | 1,7 b | 1,2 cd | 1,3 c |
| | N30/0/60/30 | 120 | 2,7 bc* | 1,9 ab | 1,9 bc* | 1,9 b | 1,8 b | 1,5 cde | 1,2 bc* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 3,0 c* | 2,4 bcd* | 2,1 c | 2,2 c* | 1,8 b | 1,6 de | 1,5 d* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 3,2 cd | 2,3 bc | 1,9 bc | 2,0 bc* | 1,8 b | 1,5 cde | 1,5 d |
| | N40/40/80/80 | 240 | 3,1 cd | 2,6 cd | 2,2 c | 2,2 c | 1,9 b* | 1,6 de* | 1,6 d* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 3,0 c* | 2,5 cd* | 2,0 bc | 2,1 c | 2,0 b | 1,7 e* | 1,6 d* |
| N80/40/40/80 | 240 | 3,7 d* | 2,9 d* | 2,1 c | 2,2 c | 2,1 b | 1,6 de* | 1,6 d* | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 2,3 a* | 1,8 a* | 1,3 a | 1,2 a | 1,2 a | 0,8 a | 0,9 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 3,8 c* | 2,6 bc | 1,6 ab | 1,6 ab | 1,3 a | 0,8 a | 0,9 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 2,3 a* | 2,7 c* | 2,3 c* | 2,1 bc | 1,6 ab | 1,0 ab | 1,0 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 3,1 b* | 2,7 c* | 2,1 bc | 1,9 b | 1,9 bc | 1,3 abc | 1,2 bc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 3,0 ab* | 2,1 ab | 2,2 c* | 2,2 c | 1,9 bc | 1,4 bcd | 1,3 c* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 3,4 b* | 2,9 cd* | 2,3 c | 2,6 c* | 2,1 bc | 1,7 cd | 1,6 d* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 3,3 b | 2,2 ab | 2,1 bc | 2,3 c* | 1,9 bc | 1,6 cd | 1,6 d |
| | N40/40/80/80 | 240 | 3,3 b | 3,0 cd | 2,3 c | 2,4 c | 2,4 c* | 1,9 d* | 1,7 d* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 3,5 b* | 2,8 cd* | 2,2 c | 2,4 c | 2,1 bc | 1,8 cd* | 1,8 d* |
| N80/40/40/80 | 240 | 4,3 c* | 3,3 d* | 2,4 c | 2,3 c | 2,2 c | 1,9 d* | 1,7 d* | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 2,2 a | 1,7 a | 1,2 a | 1,2 a | 1,1 a | 0,7 a | 0,9 ab |
| | N60/0/0/0 | 60 | 3,6 c | 2,5 c | 1,6 b | 1,5 a | 1,3 ab | 0,8 a | 0,8 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 2,2 a | 2,5 c | 2,1 c | 2,1 bc | 1,6 bc | 1,0 ab | 1,0 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 2,9 b | 2,5 c | 2,0 c | 1,9 b | 1,8 cd | 1,3 bc | 1,3 c |
| | N30/0/60/30 | 120 | 2,9 b | 2,0 ab | 2,0 c | 2,0 b | 1,9 cd | 1,4 c | 1,3 c |
| | N40/40/50/60 | 190 | 3,2 b | 2,7 cd | 2,2 c | 2,4 c | 2,0 cd | 1,7 d | 1,6 de |
| | N40/0/60/80 | 180 | 3,2 b | 2,3 bc | 2,0 c | 2,2 bc | 1,9 cd | 1,6 cd | 1,5 d |
| | N40/40/80/80 | 240 | 3,2 b | 2,8 d | 2,3 c | 2,3 bc | 2,1 d | 1,8 d | 1,7 e |
| | N40/30/60/110 | 240 | 3,3 b | 2,6 c | 2,1 c | 2,3 bc | 2,1 d | 1,7 d | 1,7 e |
| N80/40/40/80 | 240 | 4,0 c | 3,1 d | 2,3 c | 2,3 bc | 2,1 d | 1,7 d | 1,7 e | |
| Bat | Mittel | | 2,9 a | 2,3 a | 1,9 a | 1,9 a | 1,7 a | 1,3 a | 1,3 a |
| Tor | Mittel | | 3,2 b | 2,6 b | 2,1 b | 2,1 b | 1,9 b | 1,4 b | 1,4 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 6,5 | - 8,0 | - 5,0 | - 5,0 | - 5,6 | - 7,1 | 0,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 3,1 | + 3,8 | + 4,8 | + 4,8 | + 5,3 | 0,0 | + 7,1 |
| Mittel | Mittel | | 3,1 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 1,4 | 1,3 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,051 | 0,002 | 0,210 | 0,243 | 0,195 | 0,062 | <0,001 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Tab. 12: Spross-N-Aufnahme [kg ha⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|------|--------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 18 a | 29 a | 36 a | 44 a | 47 a | 62 a | 78 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 60 c | 74 cd | 98 b | 97 b | 111 ab | 114 b | 126 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 22 a | 41 ab | 92 b | 119 bc | 116 ab | 127 bc | 140 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 40 b | 64 bc | 106 bc | 132 bcd | 138 b* | 184 cd | 207 c |
| | N30/0/60/30 | 120 | 41 b | 57 bc* | 96 b | 128 bcd | 150 b | 193 de | 206 c |
| | N40/40/50/60 | 190 | 46 b | 75 cd | 127 bc | 159 cd | 175 b | 234 de | 275 d |
| | N40/0/60/80 | 180 | 46 b | 58 bc | 105 bc | 144 bcd | 161 b | 218 de | 261 cd |
| | N40/40/80/80 | 240 | 44 b | 81 d | 125 bc | 153 cd | 171 b* | 240 de* | 289 d* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 51 bc | 74 cd | 129 bc | 163 cd | 183 b | 246 e | 273 d* |
| N80/40/40/80 | 240 | 62 c | 95 d | 141 c* | 176 d | 176 b | 239 de | 307 d | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 20 a | 27 a | 35 a | 40 a | 42 a | 62 a | 71 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 54 bc | 69 bc | 94 b | 96 b | 106 ab | 109 ab | 125 b |
| | N0/60/0/0 | 60 | 21 a | 43 ab | 91 b | 112 bc | 127 bc | 124 ab | 139 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 42 b | 68 bc | 105 bc | 131 bcd | 180 cd* | 189 bc | 195 c |
| | N30/0/60/30 | 120 | 40 b | 46 ab* | 105 bc | 134 bcd | 166 bcd | 183 bc | 201 c |
| | N40/40/50/60 | 190 | 47 bc | 80 c | 138 c | 170 de | 214 de | 253 c | 295 d |
| | N40/0/60/80 | 180 | 46 bc | 56 bc | 115 bc | 153 cd | 179 cd | 239 c | 277 d |
| | N40/40/80/80 | 240 | 44 b | 80 c | 134 c | 168 de | 253 e* | 284 c* | 330 e* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 49 bc | 82 c | 131 c | 173 de | 218 de | 267 c | 339 e* |
| N80/40/40/80 | 240 | 58 c | 109 d | 175 d* | 198 e | 217 de | 266 c | 335 e | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 19 a | 28 a | 35 a | 42 a | 45 a | 62 a | 74 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 57 c | 71 cd | 96 b | 96 b | 109 b | 111 ab | 125 b |
| | N0/60/0/0 | 60 | 21 a | 42 a | 91 b | 116 b | 121 bc | 126 abc | 140 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 41 b | 66 cd | 106 b | 131 c | 159 bcd | 186 cd | 201 c |
| | N30/0/60/30 | 120 | 41 b | 51 b | 100 b | 131 c | 158 bcd | 188 cd | 204 c |
| | N40/40/50/60 | 190 | 47 b | 77 d | 133 cd | 164 de | 194 d | 244 de | 285 d |
| | N40/0/60/80 | 180 | 46 b | 57 bc | 110 bc | 148 cd | 170 cd | 229 de | 269 d |
| | N40/40/80/80 | 240 | 44 b | 81 d | 130 cd | 161 cde | 212 d | 262 e | 309 e |
| | N40/30/60/110 | 240 | 50 bc | 78 d | 130 cd | 168 de | 200 d | 257 e | 306 e |
| N80/40/40/80 | 240 | 60 c | 102 e | 158 d | 187 e | 197 d | 252 de | 321 e | |
| Bat | Mittel | | 43 a | 65 a | 106 a | 131 a | 143 a | 186 a | 216 a |
| Tor | Mittel | | 42 a | 66 a | 112 b | 138 b | 170 b | 198 b | 231 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | 0,0 | - 2,8 | - 2,2 | - 8,3 | - 3,1 | - 3,1 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | - 2,3 | + 1,5 | + 2,7 | + 2,9 | + 8,2 | + 3,0 | + 3,5 |
| Mittel | Mittel | | 43 | 65 | 109 | 134 | 156 | 192 | 223 |
| Sorte (S) | | | 0,296 | 0,278 | 0,006 | 0,051 | <0,001 | 0,027 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,272 | 0,009 | 0,036 | 0,531 | 0,005 | 0,389 | <0,001 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Toronto wies gegenüber Batis im ersten Versuchsjahr zu allen Terminen im Mittel signifikant höhere N-Konzentrationen auf (Tab. 11 und Abb. 2). Der Sortenunterschied war in den frühen Vegetationsphasen am höchsten und verringerte sich im weiteren Vegetationsverlauf, vor allem während der Kornfüllungsphase. Während der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) bestand eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung (Tab. 11). Toronto reagierte

auf ein ansteigendes N-Angebot mit einer deutlich höheren Zunahme der N-Konzentration in der Biomasse als Batis. Diese sortenunterschiedliche Reaktion fiel in EC 30 erkennbar stärker aus. Deutlich stärker reagierte Toronto auch auf die Variation der zweiten N-Gabe. Eine verzögerte Nachdüngung (N60/0/0/0, N30/0/60/30/, N40/0/60/80) führte zu einer deutlichen Reduzierung des Sortenunterschiedes, während umgekehrt ein höheres N-Angebot zu Schossbeginn die N-Konzentration von Toronto deutlich begünstigte. Auch auf Düngungsmaßnahmen zu EC 32 reagierte Toronto tendenziell stärker als Batis, der Effekt war allerdings erkennbar geringer ausgeprägt und statistisch nicht mehr gesichert (Tab. 11). Die während der frühen Vegetationsphase bestehenden genotypischen Unterschiede verringerten sich im weiteren Vegetationsverlauf deutlich und beschränkten sich zunehmend auf die Varianten mit höherem N-Angebot. Nach der Blüte konnten gesicherte Sortenunterschiede mit wenigen Ausnahmen nur noch in den Varianten mit höchster N-Stufe (240 kg ha⁻¹ N) festgestellt werden.

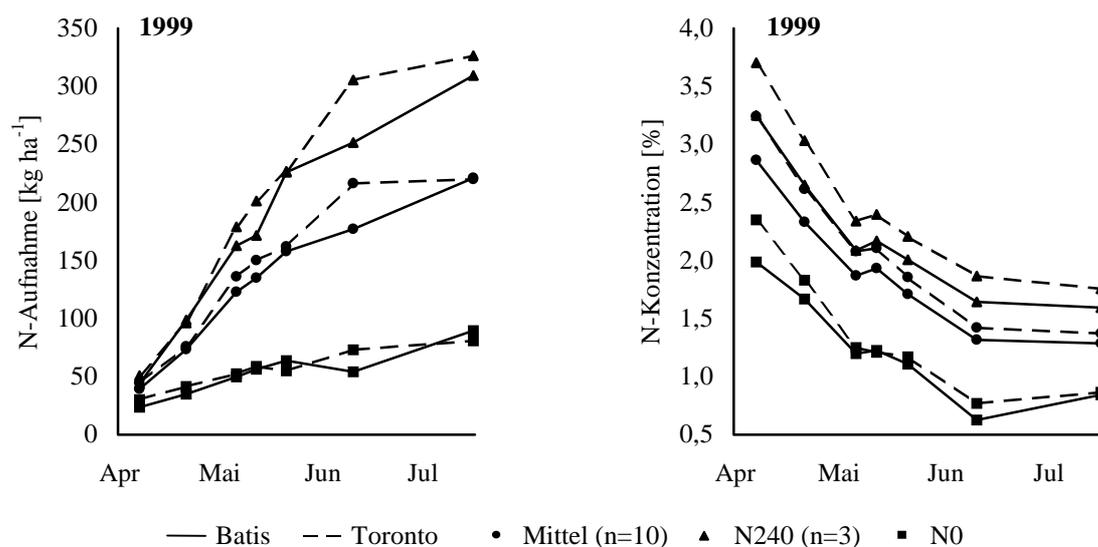


Abb. 2: Spross-N-Aufnahme und Spross-N-Konzentration in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999

Signifikante Sortenunterschiede in der N-Aufnahme traten im Versuchsjahr 1999 zu allen Terminen nach EC 32 auf (Tab. 12). Im Mittel erzielte Toronto eine 5 bis 6 % höhere N-Aufnahme als Batis. Die deutlich höheren Trockenmassezuwächse von Toronto nach dem Ährenschieben (Tab. 9) führten zu dem insgesamt höchsten Sortenunterschied in der N-Aufnahme. Bei beiden Sorten führte ein zunehmendes N-Angebot zu einer Erhöhung der N-Aufnahme, wobei Unterschiede zwischen den Varianten bei gleicher N-Menge nur in wenigen Fällen statistisch gesichert waren. Tendenziell führten die geringen Unterschiede in der Trockenmasse in der Kontrolle (N0/0/0/0) und teilweise auch in Variante N60/0/0/0

(Tab. 7) zu einer geringfügig höherer N-Aufnahme von Batis. Während sich bei mittlerer N-Düngung zu keinem Termin Sortenunterschiede ergaben, wies Toronto bei hoher N-Düngung (240 kg ha⁻¹ N) regelmäßig eine deutlich höhere N-Aufnahme als Batis auf (Abb. 2). Zur Reife bestand bei diesem N-Angebot zwischen beiden Sorten eine mittlere Differenz von 45 kg ha⁻¹ N in der N-Aufnahme (Tab. 12).

Tab. 13: Spross-N-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|-------|--------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 2,6 a | 2,4 a | 1,8 a | 1,4 a | 1,3 a | 0,9 a | 0,8 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 3,7 b | 2,5 a | 1,9 ab | 1,7 ab | 1,4 a | 0,9 a | 0,9 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 2,7 a | 3,1 a | 2,7 c | 2,2 bc | 1,4 a | 1,1 ab | 0,8 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 3,3 ab | 2,7 a | 2,5 bc | 2,0 ab | 1,9 bc | 1,4 bc | 1,1 b* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 2,9 ab | 2,5 a | 2,8 cd | 2,2 bc | 1,6 ab | 1,4 bc | 1,2 b |
| | N40/40/50/60 | 190 | 3,1 ab | 2,9 a | 3,2 d | 2,4 bc | 1,9 bc | 1,9 de | 1,4 c |
| | N40/0/60/80 | 180 | 3,2 ab | 2,4 a | 2,6 c | 2,2 bc* | 2,0 bc | 1,6 cd | 1,4 c* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 2,9 ab* | 3,0 a | 3,4 d | 2,7 c | 2,1 bc | 2,1 e | 1,5 cd* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 3,1 ab | 3,1 a | 2,9 c | 2,4 bc* | 2,2 c | 2,0 de | 1,6 d |
| N80/40/40/80 | 240 | 3,6 b | 3,1 a | 2,9 c | 2,5 bc | 2,1 bc | 1,8 de* | 1,5 cd* | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 2,8 a | 2,3 a | 1,7 a | 1,4 a | 1,2 a | 1,0 a | 0,9 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 3,7 bc | 2,6 ab | 1,8 a | 1,6 a | 1,2 a | 1,0 a | 0,9 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 2,7 a | 3,3 b | 2,7 b | 2,1 ab | 1,4 a | 1,1 a | 0,9 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 3,3 abc | 3,1 ab | 2,6 b | 2,2 ab | 1,8 ab | 1,4 ab | 1,2 b* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 3,1 ab | 2,3 a | 2,7 b | 2,3 b | 1,8 ab | 1,7 bc | 1,1 b |
| | N40/40/50/60 | 190 | 3,3 abc | 2,9 ab | 3,1 bc | 2,6 b | 2,1 b | 1,9 bc | 1,4 c |
| | N40/0/60/80 | 180 | 3,5 bc | 2,5 ab | 2,8 bc | 2,2 ab* | 2,2 b | 1,8 bc | 1,5 c* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 3,3 abc* | 3,1 ab | 3,5 c | 2,7 b | 2,3 b | 2,2 c | 1,6 d* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 3,2 abc | 3,0 ab | 3,2 bc | 2,6 b* | 2,4 b | 2,1 c | 1,6 d |
| N80/40/40/80 | 240 | 3,9 c | 3,1 ab | 2,8 bc | 2,5 b | 2,2 b | 2,0 bc* | 1,6 d* | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 2,7 a | 2,3 a | 1,8 a | 1,4 a | 1,2 a | 1,0 a | 0,9 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 3,7 b | 2,5 abc | 1,9 a | 1,6 ab | 1,3 a | 1,0 a | 0,9 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 2,7 a | 3,2 c | 2,7 b | 2,2 c | 1,4 ab | 1,1 a | 0,9 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 3,3 ab | 2,9 abc | 2,6 b | 2,1 bc | 1,8 bc | 1,4 b | 1,1 b |
| | N30/0/60/30 | 120 | 3,0 a | 2,4 ab | 2,8 b | 2,2 c | 1,7 b | 1,6 b | 1,2 b |
| | N40/40/50/60 | 190 | 3,2 ab | 2,9 abc | 3,2 c | 2,5 c | 2,0 cd | 1,9 cd | 1,4 c |
| | N40/0/60/80 | 180 | 3,4 ab | 2,4 ab | 2,7 b | 2,2 c | 2,1 cd | 1,7 bc | 1,4 c |
| | N40/40/80/80 | 240 | 3,1 ab | 3,1 bc | 3,5 c | 2,7 c | 2,2 cd | 2,1 d | 1,6 d |
| | N40/30/60/110 | 240 | 3,2 ab | 3,1 bc | 3,1 bc | 2,5 c | 2,3 d | 2,1 d | 1,6 d |
| N80/40/40/80 | 240 | 3,8 b | 3,1 bc | 2,8 b | 2,5 c | 2,1 cd | 1,9 cd | 1,6 d | |
| Bat | Mittel | | 3,1 a | 2,8 a | 2,7 a | 2,2 a | 1,8 a | 1,5 a | 1,2 a |
| Tor | Mittel | | 3,2 b | 2,8 a | 2,7 a | 2,2 a | 1,9 a | 1,6 a | 1,3 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 3,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - 5,3 | - 6,3 | - 7,7 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Mittel | Mittel | | 3,2 | 2,8 | 2,7 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,3 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,410 | 0,407 | 0,742 | 0,070 | 0,004 | 0,125 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,205 | 0,577 | 0,081 | 0,565 | 0,098 | 0,613 | 0,335 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

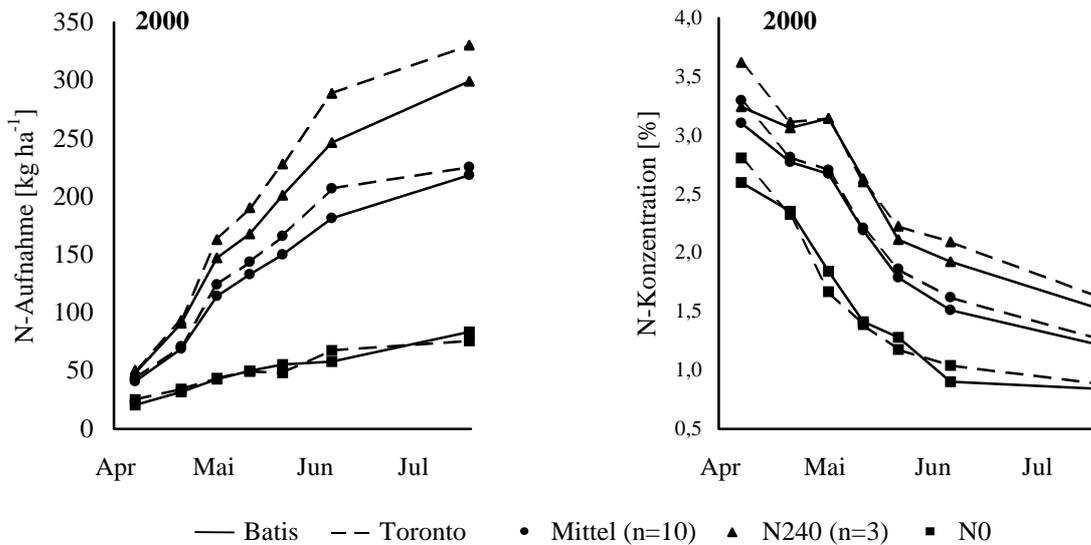


Abb. 3: Spross-N-Aufnahme und Spross-N-Konzentration in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 2000

Im zweiten Versuchsjahr (Abb. 3) fielen die Sortenunterschiede in der N-Konzentration (Tab. 13) aufgrund der günstigen Bedingungen für die Trockenmassebildung insbesondere von Toronto (Tab. 8) deutlich geringer aus und konnten nur in EC 30 und EC 92 statistisch gesichert werden. Signifikante Wechselwirkungen konnten zu keinem Termin nachgewiesen werden (Tab. 13). Aufgrund des höheren Angebotes an bodenbürtigem N wies die N-Konzentration vor allem während der Schosspphase einen deutlich geringeren Rückgang als im ersten Versuchsjahr auf. Ein zunehmendes N-Angebot erhöhte zu allen Terminen die N-Konzentration beider Sorten, Unterschiede zwischen den Varianten waren aber nur in wenigen Fällen nachzuweisen. Regelmäßig reduziert war bei beiden Sorten die N-Konzentration der Kontrolle (N0/0/0/0) und ab dem Stadium EC 37 auch die der Variante N60/0/0/0. Umgekehrt traten die tendenziell höchsten N-Konzentrationen in den Varianten N40/40/50/60, N40/40/80/80, N40/30/60/110 und N80/40/40/80 auf. Toronto wies häufig höhere Werte als Batis auf, die Differenz betrug aber in der Regel nur 0,1 bis 0,2 %. Varianten gleicher N-Stufe wiesen nach der Blüte zunehmend ähnliche N-Konzentrationen auf, so dass zur Reife bei gleicher N-Menge keine Unterschiede mehr festzustellen waren (Tab. 13).

Tab. 14: Spross-N-Aufnahme [kg ha⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|------|--------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 24 a | 35 a | 50 a | 56 a | 64 a | 54 a | 90 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 55 b | 73 ab | 89 ab | 96 ab | 86 ab | 90 ab | 130 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 26 a | 59 ab | 104 bc | 132 bc | 121 ab | 125 abc | 131 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 41 ab | 66 ab | 108 bc* | 121 bc* | 116 ab | 163 bc* | 187 b |
| | N30/0/60/30 | 120 | 32 a* | 63 ab | 119 bcd | 131 bc | 160 b | 165 bc* | 214 bc |
| | N40/40/50/60 | 190 | 43 ab | 78 bc | 162 de | 166 cd | 211 cd | 242 de | 278 cd |
| | N40/0/60/80 | 180 | 40 ab* | 65 abc | 109 bc* | 133 bc | 142 abc | 178 cd* | 254 bc |
| | N40/40/80/80 | 240 | 36 a* | 97 bc | 182 e | 188 d | 237 d | 265 e* | 307 d |
| | N40/30/60/110 | 240 | 39 ab | 88 bc | 142 cde | 165 cd | 244 d | 254 de | 318 d |
| N80/40/40/80 | 240 | 57 b | 112 c | 164 de | 162 cd* | 197 dc | 236 de* | 303 d | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 30 a | 42 a | 52 a | 59 a | 55 a | 73 a | 81 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 51 ab | 73 abc | 96 ab | 96 ab | 101 ab | 107 ab | 129 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 25 a | 63 abc | 124 abc | 130 ab | 124 abc | 133 abc | 115 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 45 ab | 76 abc | 130 bc* | 140 bc* | 145 bc | 198 cd* | 204 b |
| | N30/0/60/30 | 120 | 42 ab* | 55 ab | 112 ab | 149 bc | 163 bcd | 216 cd* | 202 b |
| | N40/40/50/60 | 190 | 48 ab | 90 bc | 175 bc | 178 c | 204 cd | 289 de | 271 c |
| | N40/0/60/80 | 180 | 52 b* | 71 abc | 134 bc* | 146 bc | 149 bc | 233 de* | 219 bc |
| | N40/40/80/80 | 240 | 47 ab* | 88 bc | 195 c | 213 c | 246 d | 334 e* | 317 d |
| | N40/30/60/110 | 240 | 45 ab | 99 bc | 171 bc | 193 c | 246 d | 295 e | 329 d |
| N80/40/40/80 | 240 | 61 b | 102 c | 172 bc | 198 c* | 188 d | 287 de* | 333 d | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 27 a | 38 a | 51 a | 58 a | 59 a | 64 a | 85 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 53 bc | 73 abc | 92 ab | 96 ab | 93 ab | 98 ab | 130 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 25 a | 61 ab | 114 bc | 131 bc | 123 ab | 129 bc | 123 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 43 abc | 71 abc | 119 bc | 131 bc | 131 bc | 181 cd | 196 b |
| | N30/0/60/30 | 120 | 37 ab | 59 abc | 116 bc | 140 bc | 161 cd | 190 d | 208 b |
| | N40/40/50/60 | 190 | 46 bc | 84 bc | 168 cd | 172 cd | 207 de | 266 f | 274 cd |
| | N40/0/60/80 | 180 | 46 bc | 68 abc | 122 bc | 139 b | 146 bc | 205 de | 236 bc |
| | N40/40/80/80 | 240 | 42 abc | 92 bc | 189 d | 200 d | 242 e | 299 f | 312 d |
| | N40/30/60/110 | 240 | 42 abc | 93 bc | 156 cd | 179 cd | 245 e | 274 f | 323 d |
| N80/40/40/80 | 240 | 59 c | 107 c | 168 cd | 180 cd | 193 de | 262 ef | 318 d | |
| Bat | Mittel | | 39 a | 73 a | 123 a | 135 a | 158 a | 177 a | 221 a |
| Tor | Mittel | | 44 b | 76 a | 136 b | 150 b | 162 a | 216 b | 220 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 7,1 | - 2,3 | - 4,7 | - 5,6 | - 1,3 | - 10,2 | 0,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 4,5 | + 1,3 | + 5,1 | + 4,7 | + 1,2 | + 8,8 | - 0,5 |
| Mittel | Mittel | | 42 | 75 | 129 | 143 | 160 | 197 | 221 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,254 | 0,002 | <0,001 | 0,382 | <0,001 | 0,805 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,001 | 0,148 | 0,628 | 0,353 | 0,824 | 0,368 | 0,156 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Deutlicher war dagegen der Sortenunterschied in der N-Aufnahme (Tab. 14 und Abb. 3). Toronto erreichte zwischen Schossbeginn und Milchreife im Mittel eine 4 % höhere N-Aufnahme als Batis. In der frühen Schossphase (EC 30) bestand eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung. Toronto steigerte die N-Aufnahme in vielen Varianten stärker als Batis. Dieser Effekt wurde durch das höhere N-Angebot in diesem Versuchsjahr

noch verstärkt. Ein verbessertes N-Angebot war auch zu den weiteren Terminen mit einer Steigerung der N-Aufnahme verbunden. Unterschiede zwischen den Varianten konnten aber nur in wenigen Fällen gesichert werden. Obwohl zur Milchreife vor allem bei hohem N-Angebot signifikante Sortenunterschiede in der N-Aufnahme nachzuweisen waren, glichen sich die N-Mengen in der oberirdischen Biomasse bis zur Reife weitgehend an. Erkennbar blieb, dass sich tendenzielle Vorteile für Batis bei limitiertem N-Angebot (N0/0/0/0) ergaben, während Toronto vor allem von einer hohen N-Versorgung profitieren konnte.

Die mittlere N-Aufnahme pro Tag (Tab. 15 und Tab. 16) variierte in ihrem Verlauf insgesamt in deutlich geringerem Maße als die täglichen Trockenmassezuwächse (Tab. 9 und Tab. 10). Im ersten Versuchsjahr wies Toronto zu den meisten Terminen im Mittel höhere tägliche N-Aufnahmeraten auf als Batis. Der höchste Sortenunterschied trat dabei mit $2,1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ zwischen EC 49 und EC 61 auf. Ein deutlicher Sortenunterschied trat auch im ersten Abschnitt der Kornfüllungsphase auf, dem einzigen Entwicklungsabschnitt dieses Versuchsjahres, in dem Batis signifikant höhere N-Aufnahmeraten aufwies. Ein Einfluss der N-Düngung auf die N-Aufnahmerate war bei beiden Sorten zu allen Terminen nachweisbar. Gesicherte Unterschiede zwischen den Varianten konnten allerdings nur während der frühen Vegetationsphasen nachgewiesen werden.

Im zweiten Versuchsjahr konnten sortenbedingte Unterschiede in der täglichen N-Aufnahme nur zu wenigen Terminen festgestellt werden (Tab. 16). Größere Unterschiede ergaben sich erst in den späteren Entwicklungsphasen, wobei der Einfluss der Versuchsfaktoren abhängig vom Entwicklungsstadium war. Toronto wies nur zwischen Blüte und Milchreife höhere N-Aufnahmeraten auf, während ansonsten Batis höhere Werte aufwies. Bei beiden Sorten nahm die Sortendifferenzierung tendenziell mit steigendem N-Angebot zu. In einigen Varianten ergaben sich negative Werte, die zumindest teilweise einem höheren Versuchsfehler bei der Bestimmung der oberirdischen Biomasse zugeordnet werden müssen. Unterschiede zwischen den Varianten konnten bei beiden Sorten nur in wenigen Fällen gesichert werden. Tendenziell führte aber ein erhöhtes N-Angebot zu erkennbaren Zunahmen der täglichen N-Aufnahme.

Tab. 15: Tägliche Spross-N-Aufnahme [kg ha⁻¹ d⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|--------|--------------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | | | Saat - 30 | 30 - 32 | 32 - 37 | 37 - 49 | 49 - 61 | 61 - 75 | 75 - 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,09 a | 0,76 a* | 0,46 a | 1,03 a | 0,58 a | 0,74 a | 0,39 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,32 c | 0,93 a | 1,64 ab | -0,02 a | 1,48 a | 0,11 a | 0,31 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,11 a | 1,32 ab | 3,35 b | 4,58 a | -0,36 a | 0,58 a | 0,32 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,21 b | 1,59 ab | 2,81 ab | 3,82 a | 0,92 a | 2,30 a | 0,59 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,22 b | 1,03 ab* | 2,60 ab* | 5,42 a | 2,44 a | 2,12 a | 0,34 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,24 b | 1,96 ab | 3,45 b | 5,32 a | 1,75 a | 2,98 a | 1,02 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,25 b | 0,75 a | 3,16 ab | 6,41 a | 1,92 a | 2,84 a | 1,09 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,23 b | 2,45 b | 2,99 ab | 4,61 a | 1,96 a* | 3,46 a | 1,22 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,27 bc | 1,55 ab | 3,69 b | 5,64 a | 2,17 a | 3,16 a | 0,67 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,33 c | 2,24 b* | 3,08 ab | 7,86 a | -1,34 a | 3,12 a | 1,70 a | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,11 a | 0,45 a* | 0,50 a | 0,84 a | 0,23 a | 1,03 a | 0,22 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,29 bc | 1,00 ab | 1,64 a | -0,28 a | 1,59 ab | 0,13 a | 0,39 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,11 a | 1,53 ab | 3,19 ab | 3,44 a | 1,65 ab | -0,16 a | 0,38 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,22 b | 1,74 abc | 2,45 ab | 7,00 a | 3,69 ab | 0,46 a | 0,14 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,21 b | 0,36 a* | 3,93 b* | 4,79 a | 3,64 ab | 0,81 a | 0,47 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,25 bc | 2,16 abc | 3,91 b | 5,30 a | 4,86 ab | 1,95 a | 1,06 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,24 bc | 0,65 ab | 3,97 b | 6,31 a | 2,83 ab | 2,73 a | 0,94 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,23 bc | 2,42 bc | 3,59 b | 5,67 a | 9,40 b* | 1,56 a | 1,15 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,26 b | 2,24 bc | 3,22 ab | 6,99 a | 5,04 ab | 2,47 a | 1,79 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,31 c | 3,43 c* | 4,38 b | 7,46 a | -0,28 a | 2,43 a | 1,72 a | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,10 a | 0,60 a | 0,48 a | 0,94 a | 0,40 a | 0,89 a | 0,30 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,30 c | 0,97 ab | 1,64 ab | -0,15 a | 1,53 a | 0,12 a | 0,35 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,11 a | 1,42 ab | 3,27 ab | 4,01 a | 0,64 a | 0,21 a | 0,35 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,22 b | 1,67 abc | 2,63 b | 5,41 a | 2,30 a | 1,38 a | 0,37 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,22 b | 0,69 ab | 3,27 b | 5,10 a | 3,04 a | 1,46 a | 0,40 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,25 b | 2,06 bc | 3,68 b | 5,31 a | 3,31 a | 2,47 a | 1,04 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,24 b | 0,70 ab | 3,56 b | 6,36 a | 2,38 a | 2,78 a | 1,01 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,23 b | 2,43 c | 3,29 b | 5,14 a | 5,68 a | 2,51 a | 1,18 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,26 bc | 1,90 abc | 3,46 b | 6,32 a | 3,60 a | 2,82 a | 1,23 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,32 c | 2,83 c | 3,73 b | 7,66 a | -0,81 a | 2,77 a | 1,71 a | |
| Bat | Mittel | | 0,23 a | 1,46 a | 2,72 a | 4,47 a | 1,15 a | 2,14 a | 0,77 a |
| Tor | Mittel | | 0,22 a | 1,60 a | 3,08 b | 4,75 a | 3,27 b | 1,34 b | 0,82 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 4,3 | - 4,6 | - 6,2 | - 3,0 | - 48,0 | + 18,7 | - 3,8 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | + 4,4 | + 5,8 | + 2,9 | + 32,4 | - 23,0 | + 2,4 |
| Mittel | Mittel | | 0,22 | 1,53 | 2,90 | 4,61 | 2,21 | 1,74 | 0,80 |
| Sorte (S) | | | 0,296 | 0,136 | 0,031 | 0,604 | 0,001 | 0,033 | 0,694 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,009 | 0,032 | 0,029 |
| S x N | | | 0,272 | 0,010 | 0,132 | 0,841 | 0,150 | 0,853 | 0,644 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Tab. 16: Tägliche Spross-N-Aufnahme [kg ha⁻¹ d⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|---------------|--------|--------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | | Saat - 30 | 30 - 32 | 32 - 37 | 37 - 49 | 49 - 61 | 61 - 75 | 75 - 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,13 a | 0,75 a | 0,99 a | 1,07 a | 0,81 a | -0,48 a | 0,89 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,29 b | 1,18 a | 1,04 a | 1,24 a* | -1,12 a | 0,21 a | 1,00 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,14 a | 2,19 ab | 3,06 ab | 4,52 a | -1,16 a | 0,18 a | 0,15 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,22 ab | 1,68 ab | 2,82 ab | 2,17 a | -0,54 a | 2,33 a | 0,60 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,17 a* | 2,02 ab* | 3,80 ab | 1,88 a | 3,21 a | 0,27 a | 1,23 a* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,23 ab | 2,33 ab | 5,57 b | 0,68 a | 5,02 a | 1,58 a | 0,88 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,21 ab* | 1,70 ab | 2,95 ab | 3,92 a | 1,00 a | 1,81 a | 1,89 a* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,19 a* | 4,04 b | 5,69 b | 0,97 a | 5,48 a | 1,36 a* | 1,05 a* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,21 ab | 3,23 ab | 3,60 ab | 3,91 a | 8,72 a | 0,50 a | 1,61 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,30 b | 3,66 b | 3,50 ab | -0,35 a | 3,87 a | 1,97 a | 1,67 a | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,16 a | 0,75 a | 0,73 a | 1,04 a | -0,42 a | 0,90 a | 0,19 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,27 ab | 1,45 ab | 1,53 ab | 0,03 a* | 0,51 a | 0,31 a | 0,55 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,13 a | 2,54 ab | 4,05 ab | 1,05 a | -0,60 a | 0,41 a | -0,44 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,24 ab | 2,05 ab | 3,65 ab | 1,65 a | 0,48 a | 2,68 a | 0,15 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,22 ab* | 0,91 ab* | 3,77 ab | 6,12 a | 1,57 a | 2,64 a | -0,35 a* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,26 ab | 2,77 ab | 5,68 ab | 0,51 a | 2,83 a | 4,27 a | -0,45 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,27 a* | 1,30 ab | 4,17 ab | 2,01 a | 0,37 a | 3,90 a | -0,34 a* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,25 ab* | 2,72 ab | 7,15 b | 3,01 a | 3,73 a | 4,38 a* | -0,43 a* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,24 ab | 3,61 b | 4,80 ab | 3,68 a | 5,85 a | 2,48 a | 0,85 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,32 b | 2,75 ab | 4,62 ab | 4,44 a | -1,13 a | 4,95 a | 1,14 a | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,14 a | 0,75 a | 0,86 a | 1,06 a | 0,20 a | 0,21 a | 0,54 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,28 bc | 1,32 ab | 1,28 a | 0,63 a | -0,30 a | 0,26 a | 0,78 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,13 a | 2,37 ab | 3,56 ab | 2,78 a | -0,88 a | 0,29 a | -0,15 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,23 bc | 1,86 ab | 3,24 ab | 1,91 a | -0,03 a | 2,51 a | 0,38 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 0,20 ab | 1,47 ab | 3,79 ab | 4,00 a | 2,39 a | 1,45 a | 0,44 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,24 bc | 2,55 ab | 5,63 b | 0,59 a | 3,93 a | 2,92 a | 0,21 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,24 bc | 1,50 ab | 3,56 ab | 2,97 a | 0,68 a | 2,85 a | 0,78 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,22 abc | 3,38 b | 6,42 b | 1,99 a | 4,61 a | 2,87 a | 0,31 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,22 abc | 3,42 b | 4,20 ab | 3,79 a | 7,29 a | 1,49 a | 1,23 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,31 c | 3,20 b | 4,06 ab | 2,04 a | 1,37 a | 3,46 a | 1,41 a | |
| Bat | Mittel | | 0,21 a | 2,28 a | 3,30 a | 2,00 a | 2,53 a | 0,97 a | 1,10 a |
| Tor | Mittel | | 0,24 b | 2,09 a | 4,02 b | 2,35 a | 1,32 a | 2,69 b | 0,09 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 4,5 | + 4,4 | - 9,8 | + 8,3 | + 23,7 | - 47,0 | + 46,4 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 8,3 | - 4,1 | + 9,0 | - 7,2 | - 31,3 | + 32,0 | - 84,7 |
| Mittel | Mittel | | 0,22 | 2,18 | 3,66 | 2,18 | 1,93 | 1,83 | 0,59 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,196 | 0,020 | 0,670 | 0,092 | <0,001 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,740 | 0,005 | 0,001 | 0,002 |
| S x N | | | 0,001 | 0,041 | 0,911 | 0,454 | 0,612 | 0,518 | 0,343 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

4.1.3 Veränderungen der NO_3^- -N-Konzentration und Verlauf der NO_3^- -N-Akkumulation

Sortenunterschiede in der NO_3^- -N-Konzentration (Tab. 17 und Tab. 19) und der NO_3^- -N-Masse (Tab. 18 und Tab. 20) waren in beiden Versuchsjahren festzustellen (Abb. 4 und Abb. 5). Im Mittel wies das erste Versuchsjahr mit Ausnahme der Blüte zu allen Terminen eine höhere NO_3^- -N-Konzentration auf, die auch zu einer teilweise deutlich höheren NO_3^- -N-Masse führte. Besonders deutliche Abweichungen zwischen den Vegetationsperioden zeigten sich während der frühen Schossphase und zum Ährenschieben. Im Gegensatz zum Versuchsjahr 1999 war im zweiten Versuchsjahr zur Reife praktisch kein NO_3^- -N mehr in der oberirdischen Biomasse vorhanden (Abb. 4 und Abb. 5).

Tab. 17: Spross- NO_3^- -N-Konzentration [% von N] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,4 a | 0,3 a | 0,3 a | 0,3 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,6 b | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,3 a | 0,1 a | 0,2 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,1 a | 0,2 a | 0,7 a* | 0,4 a* | 0,8 a* | 0,3 a | 0,2 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,5 a | 0,1 a | 1,3 a* | 0,7 a* | 1,2 a* | 1,3 b | 1,6 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 4,0 c | 3,5 b | 7,4 b | 4,3 b | 4,6 b | 6,0 c* | 6,7 b* |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,3 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,8 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,1 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,3 a | 0,3 a | 0,2 a* | 0,2 a* | 0,3 a* | 0,1 a | 0,2 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,6 a | 0,1 a | 0,5 a* | 0,3 a* | 0,5 a* | 0,4 b | 0,2 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 4,5 b | 4,5 b | 6,8 b | 3,6 b | 2,6 b | 2,7 c* | 2,9 b* |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,3 a | 0,3 a | 0,3 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,7 b | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,2 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,2 a | 0,2 a | 0,4 a | 0,3 a | 0,6 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,6 a | 0,1 a | 0,9 a | 0,5 a | 0,8 a | 0,8 a | 0,9 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 4,2 c | 4,0 b | 7,1 b | 3,9 b | 3,6 b | 4,3 b | 4,8 b |
| Bat | Mittel | | 1,3 a | 0,8 a | 1,9 a | 1,2 a | 1,4 a | 1,6 a | 1,8 a |
| Tor | Mittel | | 1,5 a | 1,0 b | 1,6 b | 0,9 b | 0,8 b | 0,7 b | 0,7 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 7,1 | - 11,1 | + 5,3 | + 16,7 | + 21,4 | + 25,0 | + 27,7 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 6,7 | + 10,0 | - 11,1 | - 10,0 | - 27,3 | - 41,7 | - 46,2 |
| Mittel | Mittel | | 1,4 | 0,9 | 1,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| Sorte (S) | | | 0,344 | 0,047 | 0,007 | 0,001 | 0,005 | 0,005 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,725 | 0,039 | 0,155 | 0,134 | 0,040 | 0,007 | <0,001 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Toronto wies während der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) des ersten Versuchsjahres im Mittel eine höhere NO_3^- -N-Konzentration (Tab. 17) als Batis auf, die sich in EC 32 auch in einer signifikant höheren NO_3^- -N-Masse (Tab. 18) fortsetzte. Im weiteren Vegetationsverlauf kehrte sich der Sortenunterschied dann um und Batis erreichte zu allen weiteren Terminen

eine höhere NO_3^- -N-Konzentration als Toronto. Batis akkumulierte auch bis zur Reife regelmäßig eine höhere NO_3^- -N-Masse, wobei der Sortenunterschied in beiden Merkmalen mit steigendem N-Angebot im Vegetationsverlauf zunahm und zur Milchreife die höchsten Werte erreichte (Abb. 4). Steigende N-Düngung erhöhte zu allen Terminen die NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse. Signifikant war allerdings regelmäßig nur der Anstieg bei höchstem N-Angebot (N80/40/40/80). Zu Schossbeginn war in der Tendenz auch in Variante N60/0/0/0 eine höhere NO_3^- -N-Konzentration vorhanden. Toronto ließ auch hier einen höheren Anstieg erkennen, der allerdings nicht signifikant war. Dagegen konnte die sortenunterschiedliche Zunahme der NO_3^- -N-Konzentration in den Varianten N30/30/30/30 und N40/0/60/80 zwischen EC 37 und EC 61 gesichert werden (Tab. 17).

Tab. 18: Spross- NO_3^- -N-Masse [kg ha^{-1}] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,0 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,1 b | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,3 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,0 a | 0,1 a | 0,7 a* | 0,5 a* | 1,2 a | 0,6 a | 0,4 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,3 a | 0,0 a | 1,4 a* | 1,0 a* | 1,9 a | 2,9 a | 4,2 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 2,5 c | 3,5 b | 11,4 b | 8,6 b | 8,5 b | 15,1 b* | 22,1 b* |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,0 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a* | 0,3 a* | 0,6 a | 0,2 a | 0,4 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,3 a | 0,0 a | 0,6 a* | 0,4 a* | 0,9 a | 0,9 a | 0,5 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 2,7 b | 5,2 b | 12,9 b | 8,3 b | 5,8 b | 6,8 b* | 10,0 b* |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,1 b | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,3 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,1 a | 0,2 a | 0,5 a | 0,4 a | 0,9 a | 0,4 a | 0,4 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,3 ab | 0,0 a | 1,0 a | 0,7 a | 1,4 a | 1,9 a | 2,4 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 2,6 c | 4,3 b | 12,1 b | 8,4 b | 7,1 b | 11,0 b | 16,1 b |
| Bat | Mittel | | 0,8 a | 0,7 a | 2,7 a | 2,1 a | 2,4 a | 3,8 a | 5,4 a |
| Tor | Mittel | | 0,8 a | 1,1 b | 2,8 a | 1,8 a | 1,5 a | 1,6 b | 2,3 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | - 22,2 | - 3,7 | + 4,8 | + 16,7 | + 28,9 | + 29,6 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | + 18,2 | 0,0 | - 10,0 | - 25,0 | - 40,7 | - 39,5 |
| Mittel | Mittel | | 0,8 | 0,9 | 2,8 | 2,0 | 2,0 | 2,7 | 3,8 |
| Sorte (S) | | | 0,731 | 0,011 | 0,831 | 0,324 | 0,080 | 0,006 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,876 | 0,001 | 0,088 | 0,977 | 0,416 | 0,006 | <0,001 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Tab. 19: Spross-NO₃-N-Konzentration [% von N] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,3 a | 0,2 a | 0,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,3 a* | 0,1 a | 0,1 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,0 a | 0,2 a | 0,6 a* | 0,1 a | 1,1 ab* | 0,6 a* | 0,0 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,1 a | 0,1 a | 0,6 a | 0,3 a | 2,5 bc | 1,8 a* | 0,1 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 0,4 b* | 1,2 b | 3,9 b | 1,4 b | 3,0 bc* | 4,2 b* | 0,0 a |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,2 a | 0,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,1 b | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a* | 0,1 a | 0,1 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,0 a | 0,2 a | 0,2 a* | 0,1 a | 0,3 a* | 0,2 a* | 0,1 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,0 a | 0,0 a | 0,4 a | 0,2 a | 1,2 ab | 0,3 a* | 0,0 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 0,3 c* | 1,1 b | 3,3 b | 1,0 b | 2,3 b* | 1,3 b* | 0,1 b |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,3 a | 0,2 a | 0,1 b |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,1 b | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,1 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,0 a | 0,2 a | 0,4 a | 0,1 a | 0,7 ab | 0,4 a | 0,0 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,1 b | 0,1 a | 0,5 a | 0,2 a | 1,8 bc | 1,1 a | 0,0 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 0,3 c | 1,1 b | 3,6 b | 1,2 b | 2,6 c | 2,8 b | 0,1 b |
| Bat | Mittel | | 0,1 a | 0,3 a | 1,1 a | 0,4 a | 1,4 a | 1,4 a | 0,1 a |
| Tor | Mittel | | 0,1 a | 0,3 a | 0,8 a | 0,3 b | 0,8 b | 0,4 b | 0,1 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | 0,0 | + 9,1 | + 25,0 | + 21,4 | + 35,7 | 0,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | 0,0 | - 20,0 | 0,0 | - 27,3 | - 55,6 | 0,0 |
| Mittel | Mittel | | 0,1 | 0,3 | 1,0 | 0,3 | 1,1 | 0,9 | 0,1 |
| Sorte (S) | | | 0,001 | 0,591 | 0,144 | 0,036 | <0,001 | <0,001 | 0,992 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,014 |
| S x N | | | 0,031 | 0,939 | 0,711 | 0,214 | 0,020 | <0,001 | 0,812 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

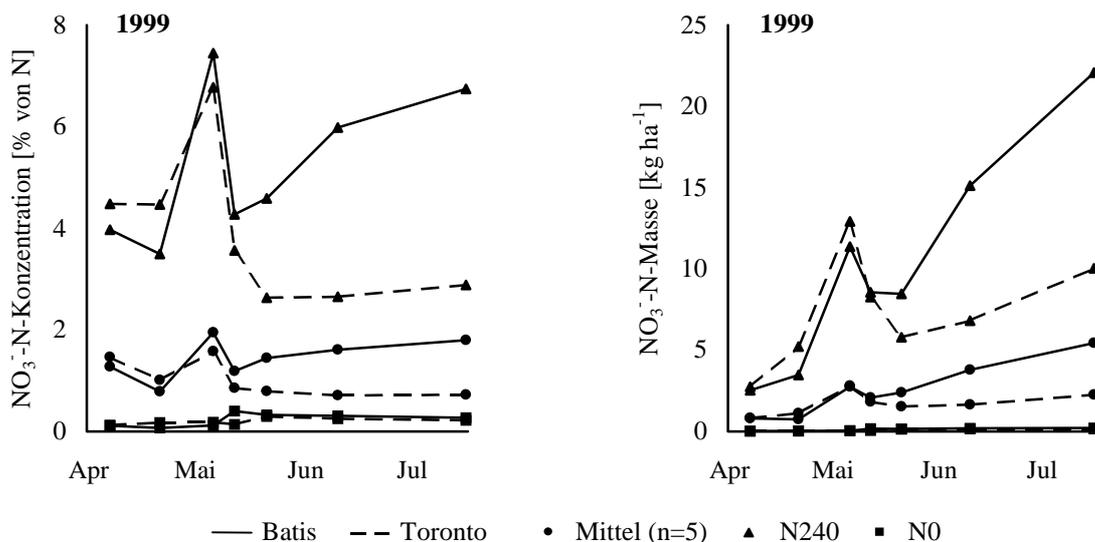


Abb. 4: NO₃-N-Konzentration und NO₃-N-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999

Der Verlauf der NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse in der oberirdischen Biomasse ließ auch deutliche Unterschiede in Abhängigkeit der Vegetationsperiode erkennen. Im ersten Versuchsjahr (Tab. 17, Tab. 18 und Abb. 4) nahm die NO_3^- -N-Konzentration während der frühen Schossphase zunächst ab, stieg dann aber wie die NO_3^- -N-Masse zum Stadium EC 37 deutlich an. Nach einem Rückgang zum Ährenschieben erfolgte während der Kornfüllung ein erneuter Anstieg, besonders der NO_3^- -N-Masse. Die Akkumulation von NO_3^- -N in der oberirdischen Biomasse fiel zur Reife am höchsten aus. Im zweiten Versuchsjahr (Tab. 19, Tab. 20 und Abb. 5) war dagegen insgesamt eine deutlich geringere NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse festzustellen. Höhere Werte waren nur zum Fahnenblatt-Stadium (EC 37) und während der Kornfüllung festzustellen.

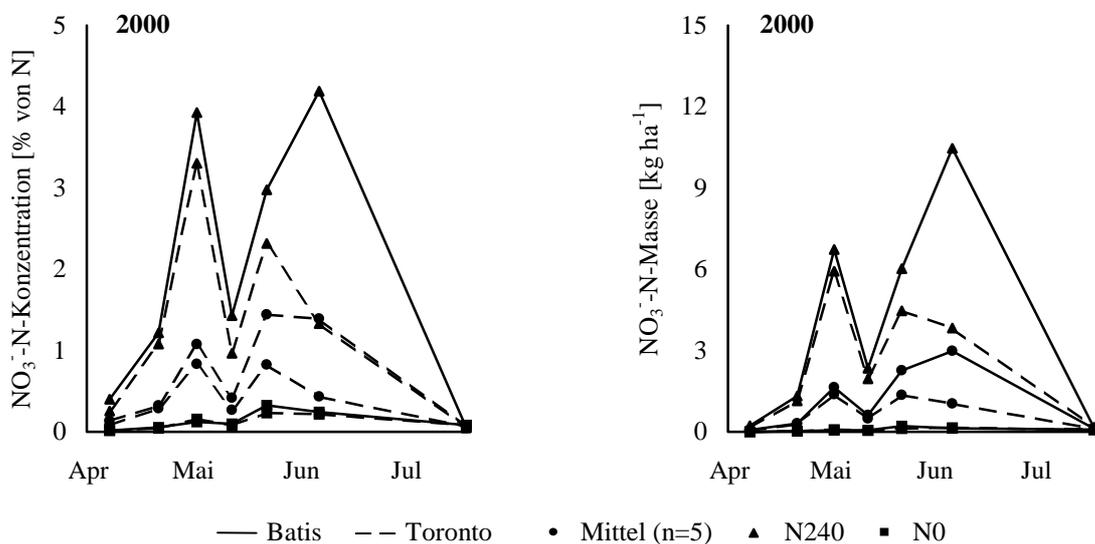


Abb. 5: NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 2000

Während im Versuchsjahr 2000 in der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) im Gegensatz zum ersten Versuchsjahr keine Sortenunterschiede festzustellen waren, wies Batis zwischen den Stadien EC 37 und EC 92 wiederum eine höhere NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse als Toronto auf, die in den meisten Fällen auch statistisch gesichert war (Tab. 19 und Tab. 20). Mit Ausnahme zum Stadium EC 92 erhöhte sich zu allen Terminen die NO_3^- -N-Konzentration und NO_3^- -N-Masse mit steigender N-Düngung, wobei in allen Fällen nur die Variante N80/40/40/80 statistisch gesichert höhere Werte aufwies. Der Sortenunterschied nahm zu den Stadien EC 61 und EC 75 mit steigendem N-Angebot signifikant zu (Tab. 19, Tab. 20 und Abb. 5).

Tab. 20: Spross-NO₃-N-Masse [kg ha⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,1 a | 0,0 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,3 a* | 0,1 a | 0,1 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,0 a | 0,1 a | 0,7 a* | 0,2 a | 1,3 a* | 0,9 a* | 0,1 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,0 a | 0,1 a | 0,6 a | 0,4 a | 3,5 b* | 3,3 a* | 0,2 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 0,2 b | 1,3 b | 6,7 b | 2,4 b | 6,0 c* | 10,5 b* | 0,2 b |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,0 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,1 a* | 0,1 a | 0,1 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,0 a | 0,2 a | 0,3 a* | 0,1 a | 0,4 a* | 0,3 a* | 0,1 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,0 a | 0,0 a | 0,5 a | 0,2 a | 1,6 a* | 0,8 a* | 0,1 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 0,2 b | 1,1 b | 5,9 b | 2,0 b | 4,5 b* | 3,8 b* | 0,2 b |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,0 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,1 a | 0,0 a | 0,1 a | 0,1 a | 0,2 a | 0,1 a | 0,1 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,0 a | 0,1 a | 0,5 a | 0,1 a | 0,9 a | 0,6 a | 0,1 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,0 a | 0,0 a | 0,6 a | 0,3 a | 2,6 b | 2,0 a | 0,1 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 0,2 b | 1,2 b | 6,3 b | 2,2 b | 5,2 c | 7,1 b | 0,2 b |
| Bat | Mittel | | 0,1 a | 0,3 a | 1,6 a | 0,6 a | 2,3 a | 3,0 a | 0,1 a |
| Tor | Mittel | | 0,0 a | 0,3 a | 1,4 a | 0,5 a | 1,4 b | 1,0 b | 0,1 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | 0,0 | + 6,3 | + 16,7 | + 21,7 | + 33,3 | 0,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | 0,0 | 0,0 | - 6,7 | 0,0 | - 22,2 | - 50,0 | 0,0 |
| Mittel | Mittel | | 0,1 | 0,3 | 1,5 | 0,5 | 1,8 | 2,0 | 0,1 |
| Sorte (S) | | | 0,003 | 0,599 | 0,295 | 0,241 | 0,001 | <0,001 | 0,566 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,026 |
| S x N | | | 0,045 | 0,776 | 0,824 | 0,822 | 0,053 | 0,001 | 0,212 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

4.1.4 Veränderungen der Konzentration und Verlauf der Akkumulation wasserlöslicher Kohlenhydrate (WLK)

Sortenbedingte Unterschiede in der WLK-Konzentration (Tab. 21 und Tab. 23) und WLK-Masse (Tab. 22 und Tab. 24) konnten in beiden Versuchsjahren vor allem während der frühen Vegetationsphasen festgestellt werden. Das Versuchsjahr 1999 wies insgesamt erkennbar geringere WLK-Konzentrationen auf, vor allem in den Stadien EC 49 und EC 61, die auch zu deutlichen Unterschieden in der WLK-Akkumulation beider Vegetationsperioden führte (Abb. 6 und Abb. 7).

Batis wies im ersten Versuchsjahr im Mittel während der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) signifikant höhere WLK-Konzentrationen auf (Tab. 21), die auch zu gesicherten Sortenunterschieden in der akkumulierten WLK-Masse führten (Tab. 22). In Abhängigkeit des N-Angebotes nahm in diesen Vegetationsstadien die WLK-Konzentration bei Toronto signifikant stärker ab als bei Batis (Tab. 21). Der zum Fahnenblatt-Stadium (EC 37) noch erkennbare Sortenunterschied war statistisch nicht mehr gesichert. Während der späteren

Entwicklungsphasen, vor allem nach dem Stadium EC 61, deutete sich eine tendenzielle Umkehrung des Sortenunterschiedes an. Toronto wies allerdings nur zur Reife (EC 92) eine gesichert höhere WLK-Konzentration und WLK-Masse als Batis auf, bei allerdings insgesamt deutlich reduzierten Werten (Tab. 21, Tab. 22 und Abb. 6).

Tab. 21: Spross-WLK-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 21,8 a | 16,7 a* | 24,9 a | 21,5 a | 16,9 a | 22,0 a | 0,9 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 6,8 b | 7,8 b* | 9,8 b | 10,0 b | 10,7 b | 20,7 a* | 0,6 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 15,6 a* | 8,5 b* | 8,8 b | 8,9 b | 4,6 c | 13,1 ab | 0,7 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 8,5 b* | 7,9 b | 9,8 b* | 8,7 b* | 3,9 c* | 12,0 ab | 0,7 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 5,6 b | 2,5 c | 2,7 b | 3,6 b | 3,5 c | 9,8 b | 0,7 a |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 19,1 a | 12,9 a* | 24,0 a | 24,5 a | 18,6 a | 23,4 a | 1,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 6,4 bc | 5,1 bc* | 11,4 b | 11,7 b | 12,1 a | 23,1 a* | 2,6 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 9,5 b* | 6,2 b* | 4,7 b | 6,3 bc | 3,5 b | 16,3 ab | 1,3 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 5,8 bc* | 7,5 b | 5,3 b* | 6,0 bc* | 2,9 b* | 13,7 b | 1,3 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 4,1 c | 2,2 c | 3,3 b | 3,1 c | 2,2 b | 9,2 b | 1,2 a |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 20,5 a | 14,8 a | 24,4 a | 23,0 a | 17,7 a | 22,7 a | 1,0 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 6,6 c | 6,5 b | 10,6 b | 10,8 b | 11,4 b | 21,9 a | 1,6 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 12,5 b | 7,4 b | 6,7 bc | 7,6 bc | 4,1 c | 14,7 b | 1,0 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 7,1 c | 7,7 b | 7,5 bc | 7,4 bc | 3,4 c | 12,9 b | 1,0 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 4,8 c | 2,3 c | 3,0 c | 3,3 c | 2,8 c | 9,5 b | 1,0 a |
| Bat | Mittel | | 11,6 a | 8,7 a | 11,2 a | 10,5 a | 7,9 a | 15,5 a | 0,7 a |
| Tor | Mittel | | 9,0 b | 6,8 b | 9,7 a | 10,3 a | 7,8 a | 17,1 a | 1,5 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 11,2 | + 11,5 | + 7,1 | + 1,0 | 0,0 | - 4,9 | - 36,4 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | - 12,6 | - 11,7 | - 6,7 | - 1,0 | - 1,3 | + 4,7 | + 26,7 |
| Mittel | Mittel | | 10,3 | 7,7 | 10,4 | 10,4 | 7,9 | 16,3 | 1,1 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | 0,206 | 0,764 | 0,914 | 0,096 | 0,087 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,843 |
| S x N | | | 0,034 | 0,077 | 0,359 | 0,079 | 0,511 | 0,748 | 0,134 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

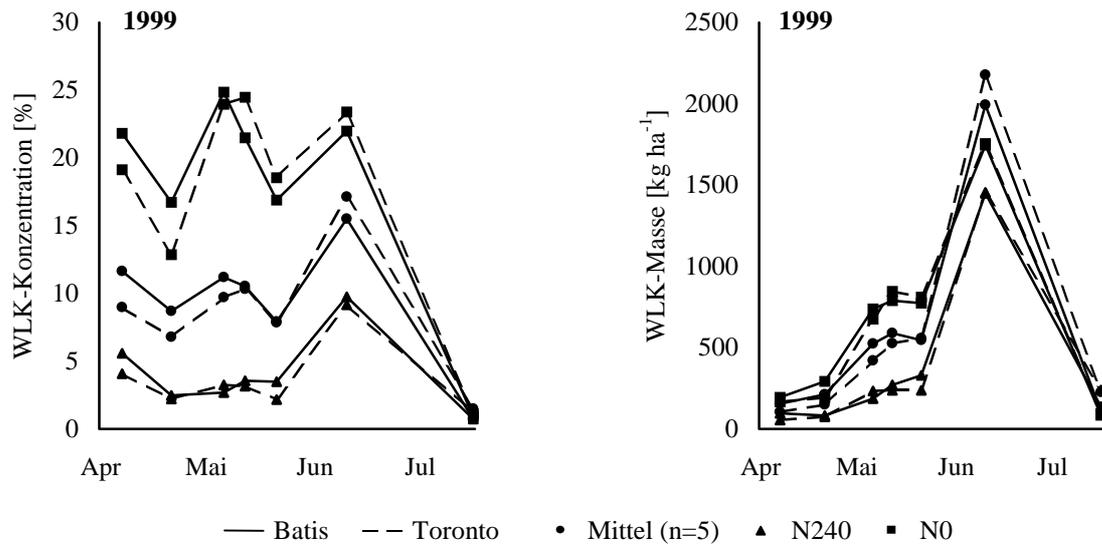


Abb. 6: WLK-Konzentration und WLK-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999

Tab. 22: Spross-WLK-Masse [kg ha⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 194 a | 292 a* | 739 a | 789 a | 774 ab | 1747 ab | 85 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 122 a | 244 a* | 621 ab | 636 ab | 918 a | 3122 a | 93 a* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 241 a* | 235 a* | 511 ab | 637 ab | 382 ab | 1920 ab | 110 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 125 a | 203 a | 561 ab* | 611 ab | 323 b | 1733 ab | 120 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 96 a | 83 b | 186 b | 270 b | 330 b | 1449 b | 137 a* |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 167 a | 191 a* | 675 a | 847 a | 811 a | 1755 ab | 94 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 88 ab | 135 ab* | 663 a | 753 ab | 1149 a | 3082 a | 373 b* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 125 ab* | 156 ab* | 237 a | 386 ab | 315 b | 2460 ab | 204 ab |
| | N40/0/60/80 | 180 | 82 ab | 187 a | 293 a* | 408 ab | 271 b | 2134 ab | 223 ab* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 55 b | 74 b | 234 a | 238 b | 238 b | 1455 b | 239 ab* |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 181 a | 242 a | 707 a | 818 a | 792 ab | 1751 b | 89 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 105 b | 190 a | 642 ab | 695 a | 1034 a | 3102 a | 233 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 183 a | 196 a | 374 bc | 511 ab | 348 bc | 2190 ab | 157 ab |
| | N40/0/60/80 | 180 | 104 b | 195 a | 427 abc | 510 ab | 297 c | 1934 ab | 171 ab |
| | N80/40/40/80 | 240 | 75 b | 78 b | 210 c | 254 b | 284 c | 1452 b | 188 ab |
| Bat | Mittel | | 156 a | 211 a | 523 a | 589 a | 545 a | 1994 a | 109 a |
| Tor | Mittel | | 104 b | 149 b | 421 a | 526 a | 557 a | 2177 a | 227 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 16,7 | + 14,7 | + 9,8 | + 5,3 | - 1,1 | - 4,4 | - 35,1 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | - 20,0 | - 17,2 | - 10,8 | - 5,7 | + 1,1 | + 4,2 | + 26,0 |
| Mittel | Mittel | | 130 | 180 | 472 | 558 | 551 | 2086 | 168 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | 0,103 | 0,257 | 0,780 | 0,252 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,003 |
| S x N | | | 0,035 | 0,113 | 0,266 | 0,172 | 0,126 | 0,664 | 0,004 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Tab. 23: Spross-WLK-Konzentration [%] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 20,3 a | 14,1 a | 18,3 a | 29,5 a | 22,0 a | 25,5 a | 1,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 11,1 ab | 8,3 ab | 13,9 ab | 19,4 b | 16,9 ab* | 20,2 ab* | 0,9 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 13,1 ab | 5,2 b | 6,2 bc | 8,1 cd | 12,3 b | 16,7 bc | 1,2 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 13,8 ab | 13,8 a | 7,5 bc | 15,4 bc | 9,9 bc | 15,6 bc | 0,9 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 8,9 b | 2,9 b | 2,6 c | 5,2 d | 4,0 c | 9,7 c | 0,8 a |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 16,7 a | 19,6 a | 19,3 a | 29,1 a | 24,6 a | 25,0 a | 2,7 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 9,9 ab | 6,8 bc | 15,6 a | 21,3 ab | 23,7 a* | 25,6 a* | 3,6 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 12,0 ab | 4,3 bc | 7,0 b | 11,6 bc | 14,2 b | 17,9 ab | 2,1 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 11,6 ab | 10,6 b | 5,7 b | 14,8 bc | 8,5 b | 14,6 ab | 2,1 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 5,7 b | 2,4 c | 2,4 b | 5,9 c | 5,6 b | 9,7 b | 2,5 a |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 18,5 a | 16,9 a | 18,8 a | 29,3 a | 23,3 a | 25,3 a | 1,9 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 10,5 b | 7,5 bc | 14,7 a | 20,4 b | 20,3 a | 22,9 ab | 2,3 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 12,6 ab | 4,7 c | 6,6 b | 9,9 cd | 13,2 b | 17,3 abc | 1,6 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 12,7 ab | 12,2 ab | 6,6 b | 15,1 c | 9,2 bc | 15,1 bc | 1,5 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 7,3 b | 2,6 c | 2,5 b | 5,5 d | 4,8 c | 9,7 c | 1,7 a |
| Bat | Mittel | | 13,4 a | 8,9 a | 9,7 a | 15,5 a | 13,0 b | 17,5 a | 1,0 a |
| Tor | Mittel | | 11,2 b | 8,7 a | 10,0 a | 16,6 a | 15,3 a | 18,6 a | 2,6 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 8,2 | + 1,1 | - 2,0 | - 3,1 | - 8,5 | - 2,8 | - 44,4 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | - 8,9 | - 1,1 | + 1,0 | + 3,6 | + 7,2 | + 3,2 | + 25,0 |
| Mittel | Mittel | | 12,3 | 8,8 | 9,9 | 16,0 | 14,2 | 18,0 | 1,8 |
| Sorte (S) | | | 0,005 | 0,825 | 0,685 | 0,414 | 0,004 | 0,458 | 0,121 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,241 |
| S x N | | | 0,694 | 0,004 | 0,551 | 0,837 | 0,024 | 0,577 | 0,171 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Neben der Sorte übte die N-Düngung auf beide Merkmale zu praktisch allen Terminen einen signifikanten Einfluss aus (Tab. 21 und Tab. 22). Mit Ausnahme zum Stadium EC 92 war in allen Vegetationsstadien eine Zunahme des N-Angebotes mit einer Abnahme der WLK-Konzentration und der WLK-Masse verbunden. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten waren allerdings nicht zu allen Terminen nachzuweisen und blieben vor allem während der frühen Vegetationsstadien auf ein hohes N-Angebot (N80/40/40/80) beschränkt. Die geringere Trockenmassebildung der ungedüngten Pflanzen (Tab. 7) führte nach der Blüte (EC 61) bei beiden Sorten zu einer reduzierten WLK-Akkumulation in der Kontrolle (N0/0/0/0).

Auch im Versuchsjahr 2000 wies Batis während der frühen Vegetationsstadien zunächst eine höhere WLK-Konzentration (Tab. 23 und Abb. 7) und WLK-Masse (Tab. 24) als Toronto auf. Der Sortenunterschied war allerdings nur in einem Fall statistisch gesichert. In der Tendenz ließ Toronto zu allen Terminen nach EC 32 eine höhere WLK-Konzentration und WLK-Masse als Batis erkennen. Die N-Düngung hatte mit wenigen Ausnahmen einen

signifikanten Einfluss. Eine Erhöhung der N-Düngung war regelmäßig mit einer Abnahme der WLK-Konzentration und WLK-Masse verbunden. Unterschiede zwischen den Varianten waren aber wie im Versuchsjahr 1999 nur in einigen Fällen statistisch gesichert. Die geringere Trockenmasse der Kontrolle (N0/0/0/0) führte bereits zum Fahrenblatt-Stadium (EC 37) zu einer erkennbar reduzierten WLK-Akkumulation.

Tab. 24: Spross-WLK-Masse [kg ha⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 183 a | 210 a* | 487 a | 1218 ab | 1601 a | 1809 a | 120 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 170 a | 241 a | 620 a | 1322 a | 1870 a | 2235 a | 149 a* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 168 a | 127 a | 269 ab | 521 b | 1338 ab | 2063 a | 195 a* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 165 a | 377 a | 319 ab | 1010 ab | 1203 ab* | 1912 a | 171 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 139 a | 108 a | 151 b | 367 b | 496 b | 1361 a | 169 a* |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 178 a | 334 a* | 608 a | 1315 a | 1774 ab | 2226 a | 247 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 137 a | 193 bc | 834 a | 1446 a | 2511 a | 3025 a | 510 a* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 165 a | 105 c | 350 ab | 805 a | 1439 bc | 2419 a | 374 a* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 171 a | 302 ab | 269 ab | 1072 a | 827 bc* | 1950 a | 346 a* |
| | N80/40/40/80 | 240 | 90 a | 77 c | 146 b | 511 a | 632 c | 1425 a | 503 a* |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 181 a | 272 a | 547 ab | 1267 a | 1688 ab | 2018 a | 184 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 154 a | 217 ab | 727 a | 1384 a | 2190 a | 2630 a | 329 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 166 a | 116 b | 309 bc | 663 b | 1388 ab | 2241 a | 284 ab |
| | N40/0/60/80 | 180 | 168 a | 339 a | 294 bc | 1041 ab | 1015 bc | 1931 a | 258 ab |
| | N80/40/40/80 | 240 | 114 a | 93 b | 149 c | 439 b | 564 c | 1393 a | 336 b |
| Bat | Mittel | | 165 a | 213 a | 369 a | 888 a | 1302 a | 1876 a | 161 a |
| Tor | Mittel | | 148 a | 202 a | 441 b | 1030 a | 1437 a | 2209 a | 396 b |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 4,8 | + 2,8 | - 8,9 | - 7,4 | - 4,9 | - 8,2 | - 42,1 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | - 5,7 | - 2,4 | + 8,2 | + 6,9 | + 4,7 | + 7,5 | + 29,8 |
| Mittel | Mittel | | 157 | 207 | 405 | 959 | 1369 | 2043 | 278 |
| Sorte (S) | | | 0,146 | 0,473 | 0,033 | 0,220 | 0,180 | 0,133 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | 0,166 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,005 | 0,003 |
| S x N | | | 0,493 | 0,004 | 0,106 | 0,974 | 0,063 | 0,788 | 0,054 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

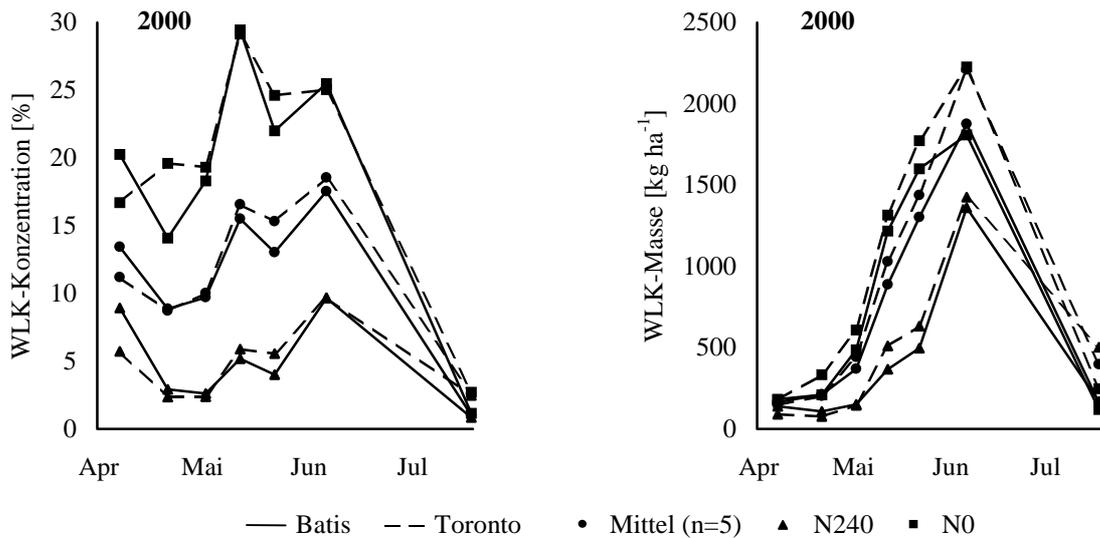


Abb. 7: WLK-Konzentration und WLK-Masse in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 2000

4.1.5 Veränderungen der Nitratreduktaseaktivität (NRA)

Die Entwicklung der NRA (Tab. 25, Tab. 26 und Abb. 8) wies in beiden Versuchsjahren während der frühen Vegetationsphasen Sortenunterschiede auf, die allerdings nur im ersten Versuchsjahr statistisch gesichert werden konnten.

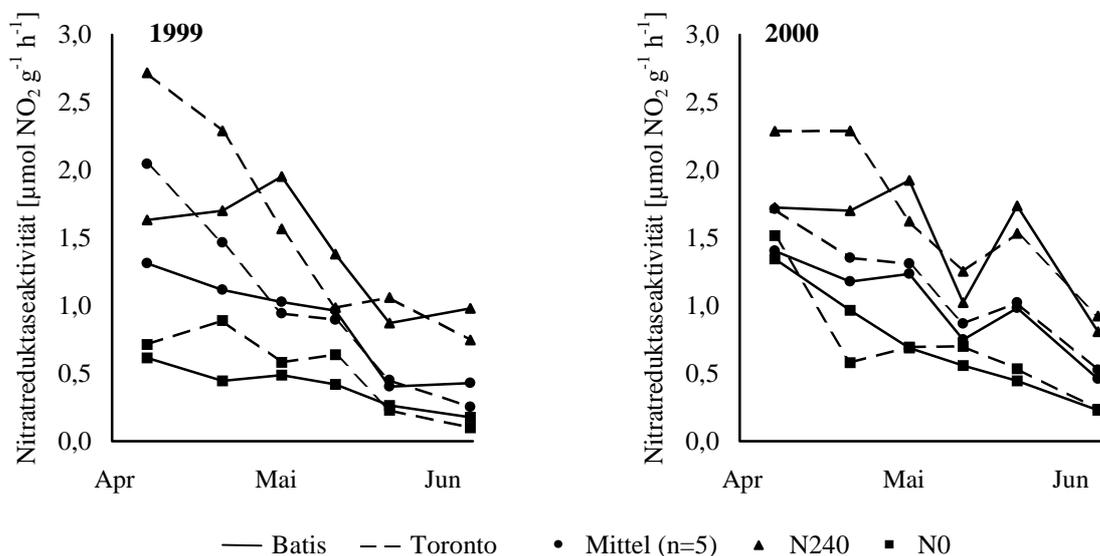


Abb. 8: Nitratreduktaseaktivität in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Im ersten Versuchsjahr wies Toronto während der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) eine signifikant höhere NRA als Batis auf, wobei der Unterschied zu Schossbeginn am höchsten ausfiel (Tab. 25). Die Wechselwirkung Sorte x N-Düngung war nicht gesichert (Tab. 25), der Sortenunterschied nahm aber mit steigender N-Düngung tendenziell zu. Bei

höherem N-Angebot (N60/0/0/0, N40/0/60/80, N80/40/40/80) bestanden insbesondere im Stadium EC 30 signifikante Sortenunterschiede. Zu allen Terminen nahm die NRA mit steigender N-Düngung zu (Tab. 25 und Abb. 8). Unterschiede zwischen den Varianten konnten aber aufgrund des hohen Versuchsfehlers nur in einigen Fällen gesichert werden.

Tab. 25: Nitratreduktaseaktivität [$\mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ FM h}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 0,6 a | 0,4 a* | 0,5 a | 0,4 a | 0,3 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,4 ab* | 1,1 a | 0,5 a | 0,5 ab | 0,2 a | 0,4 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,6 b | 1,5 a* | 0,7 a | 1,2 ab | 0,2 a | 0,3 a* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,2 ab* | 0,8 a | 1,5 ab | 1,3 ab | 0,5 a | 0,3 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 1,6 b* | 1,7 a | 2,0 b | 1,4 b | 0,9 a | 1,0 b |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 0,7 a | 0,9 a* | 0,6 a | 0,6 a | 0,2 a | 0,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 2,6 b* | 1,0 a | 0,6 a | 0,5 a | 0,2 a | 0,1 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 2,0 ab | 2,3 a* | 0,8 a | 1,2 a | 0,4 ab | 0,2 a* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 2,2 ab* | 0,8 a | 1,2 a | 1,2 a | 0,4 ab | 0,1 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 2,7 b* | 2,3 a | 1,6 a | 1,0 a | 1,1 b | 0,7 b |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 0,7 a | 0,7 a | 0,5 a | 0,5 a | 0,2 a | 0,1 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 2,0 b | 1,0 a | 0,5 a | 0,5 a | 0,2 a | 0,2 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,8 b | 1,9 ab | 0,7 a | 1,2 a | 0,3 a | 0,3 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,7 b | 0,8 a | 1,4 ab | 1,2 a | 0,4 a | 0,2 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 2,2 b | 2,0 b | 1,8 b | 1,2 a | 1,0 b | 0,9 b |
| Bat | Mittel | | 1,3 a | 1,1 a | 1,0 a | 1,0 a | 0,4 a | 0,4 a |
| Tor | Mittel | | 2,0 b | 1,5 b | 0,9 a | 0,9 a | 0,4 a | 0,3 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 23,5 | - 15,4 | 0,0 | + 10,0 | 0,0 | + 25,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 15,0 | + 13,3 | - 10,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Mittel | Mittel | | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 0,4 | 0,3 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,065 | 0,326 | 0,199 | 0,484 | 0,006 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,092 | 0,426 | 0,266 | 0,020 | 0,565 | 0,835 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Im Versuchsjahr 2000 konnte ein signifikanter Sorteneinfluss zu keinem Termin nachgewiesen werden (Tab. 26). In der Tendenz wies Toronto aber bis zum Ährenschieben eine höhere NRA auf, wobei der höchste Sortenunterschied auch in diesem Versuchsjahr zu Schossbeginn festzustellen war (Abb. 8). Erkennbar war auch, dass Toronto tendenziell in den frühen Entwicklungsphasen auf eine Erhöhung des N-Angebotes mit einer stärkeren Zunahme der NRA reagierte als Batis. Obwohl auch zu allen späteren Terminen eine Zunahme der N-Versorgung mit einer Steigerung der NRA verbunden war, konnten nur teilweise signifikante Unterschiede zwischen den Varianten nachgewiesen werden.

Tab. 26: Nitratreduktaseaktivität [$\mu\text{mol NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ FM h}^{-1}$] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | | | 30 | 32 | 37 | 49 | 61 | 75 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 1,3 a | 1,0 a | 0,7 a | 0,6 a | 0,4 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,4 a | 1,1 a | 0,7 a* | 0,7 a | 0,5 a | 0,3 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,2 a | 1,4 a | 1,3 ab | 0,7 a | 1,1 b | 0,3 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,3 a | 0,7 a | 1,6 ab | 0,8 a | 1,3 bc* | 0,6 b |
| | N80/40/40/80 | 240 | 1,7 a | 1,7 a | 1,9 b | 1,0 a | 1,7 c | 0,8 b |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 1,5 a | 0,6 a | 0,7 a | 0,7 a | 0,5 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 2,0 a | 1,0 ab | 0,9 ab* | 0,9 a | 0,4 a | 0,3 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,4 a | 1,7 ab | 1,5 abc | 0,7 a | 0,9 ab | 0,5 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,4 a | 1,2 ab | 1,8 bc | 0,8 a | 1,8 b* | 0,7 a |
| | N80/40/40/80 | 240 | 2,3 a | 2,3 b | 1,6 bc | 1,3 a | 1,5 b | 0,9 a |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 1,4 a | 0,8 a | 0,7 a | 0,6 a | 0,5 a | 0,2 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,7 a | 1,0 a | 0,8 a | 0,8 a | 0,4 a | 0,3 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,3 a | 1,5 ab | 1,4 ab | 0,7 a | 1,0 b | 0,4 ab |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,4 a | 1,0 a | 1,7 b | 0,8 a | 1,5 c | 0,7 ab |
| | N80/40/40/80 | 240 | 2,0 a | 2,0 b | 1,8 b | 1,1 a | 1,6 c | 0,9 b |
| Bat | Mittel | | 1,4 a | 1,2 a | 1,2 a | 0,7 a | 1,0 a | 0,5 a |
| Tor | Mittel | | 1,7 a | 1,4 a | 1,3 a | 0,9 a | 1,0 a | 0,5 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 12,5 | - 7,7 | - 7,7 | - 12,5 | 0,0 | 0,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 5,9 | + 7,1 | 0,0 | + 11,1 | 0,0 | 0,0 |
| Mittel | Mittel | | 1,6 | 1,3 | 1,3 | 0,8 | 1,0 | 0,5 |
| Sorte (S) | | | 0,099 | 0,320 | 0,262 | 0,094 | 0,826 | 0,220 |
| N-Düngung (N) | | | 0,031 | <0,001 | <0,001 | 0,026 | <0,001 | 0,001 |
| S x N | | | 0,840 | 0,316 | 0,083 | 0,761 | 0,016 | 0,753 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

4.1.6 Entwicklung der Bestandesdichte

Die Bestandesdichte ist abhängig von der Pflanzendichte (Pflanzenzahl m^{-2}) und dem Bestockungsverhalten der Einzelpflanzen. Die Pflanzendichte wurde zum Ausgang des Winters vor Vegetationsbeginn bestimmt. Im Mittel wurden 282 Pflanzen m^{-2} (1999) bzw. 232 Pflanzen m^{-2} (2000) ermittelt. Dabei wies Batis eine geringfügig höhere Pflanzendichte von 25 Pflanzen m^{-2} (1999) bzw. 7 Pflanzen m^{-2} (2000) auf. Im ersten Versuchsjahr wies Batis lediglich zu Vegetationsbeginn eine geringfügig höhere Bestandesdichte als Toronto auf (Tab. 27). Zu allen anderen Terminen erreichte Toronto höhere Triebzahlen als Batis, wobei der Sortenunterschied in der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) am höchsten ausfiel. Toronto erreichte hier im Mittel eine 15 % bzw. 11 % höhere Bestandesdichte, wobei der Sortenunterschied im Stadium EC 32 mit steigendem N-Angebot zunahm (Tab. 27). Während der Schossphase reduzierte sich die Bestandesdichte und auch der Sortenunterschied verringerte sich, blieb aber nach dem Ährenschieben (EC 49) weitgehend konstant (Abb. 9). Toronto wies bis zur Reife im Mittel eine 8 % höhere Bestandesdichte auf. Die N-Düngung

hatte zu allen Terminen nach Vegetationsbeginn einen signifikanten Einfluss auf die Triebzahlen (Tab. 27). Mit steigender N-Versorgung nahm die Bestandesdichte regelmäßig zu, wobei Unterschiede zwischen den Varianten nicht in allen Fällen gesichert waren.

Tab. 27: Triebzahlen [Triebe m⁻²] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|----------|---------|--------|---------|---------|--------|
| | | | VB ¹ | 30 | 32 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 330 a* | 861 a | 791 a | 367 a* | 342 a* | 361 a | 341 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 307 a | 1196 bc* | 1115 b* | 488 b | 490 ab | 468 a | 478 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 326 a* | 1124 b* | 1093 b | 509 b | 462 ab* | 522 a | 482 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 320 a | - | - | - | 477 ab | 483 a* | 491 b |
| | N80/40/40/80 | 240 | 326 a | 1387 bc* | 1350 c* | 641 c | 546 b | 672 a | 587 b* |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 291 a* | 926 a | 859 a | 318 a* | 287 a* | 349 a | 313 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 291 a | 1443 b* | 1283 b* | 504 ab | 513 b | 522 a | 512 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 283 a* | 1261 b* | 1163 b | 549 b | 549 bc* | 560 ab | 541 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 298 a | - | - | - | 486 b | 554 ab* | 490 b |
| | N80/40/40/80 | 240 | 304 a | 1713 c* | 1598 c* | 657 b | 688 c | 747 b | 724 c* |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 311 a | 893 a | 825 a | 343 a | 314 a | 355 a | 327 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 299 a | 1320 b | 1199 b | 496 b | 502 bc | 495 b | 495 b |
| | N30/30/30/30 | 120 | 304 a | 1192 a | 1128 a | 529 b | 506 bc | 541 b | 511 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 309 a | - | - | - | 482 b | 518 b | 491 b |
| | N80/40/40/80 | 240 | 315 a | 1550 c | 1474 c | 649 c | 617 c | 710 c | 655 c |
| Bat | Mittel | | 322 b | 1142 a | 1088 a | 501 a | 463 a | 501 a | 476 a |
| Tor | Mittel | | 293 a | 1336 b | 1226 b | 507 a | 505 a | 547 b | 516 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | + 4,3 | - 7,8 | - 6,0 | - 1,2 | - 4,3 | - 4,4 | - 4,0 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | - 4,8 | + 7,3 | + 5,6 | + 0,6 | + 4,2 | + 4,2 | + 3,9 |
| Mittel | Mittel | | 308 | 1239 | 1157 | 504 | 484 | 524 | 496 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,804 | 0,107 | 0,024 | 0,088 |
| N-Düngung (N) | | | 0,476 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,341 | 0,004 | 0,129 | 0,560 | 0,064 | 0,561 | 0,028 |

¹Vegetationsbeginn (unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Das Versuchsjahr 2000 war durch den früheren Beginn der Vegetationsperiode und die günstigen Bedingungen während der Bestockungsphase (Tab. 3 und Tab. 4) durch insgesamt hohe Triebzahlen gekennzeichnet. Trotz erkennbar höheren Reduktionsprozessen während der frühen Schossphase blieb die Bestandesdichte insgesamt deutlich höher und glich sich erst gegen Ende der Vegetationsperiode etwas an.

Auch in diesem Versuchsjahr wies Toronto zu allen Terminen eine signifikant höhere Bestandesdichte auf (Tab. 28). Der Sortenunterschied war zu Vegetationsbeginn am höchsten, während zu den Terminen EC 30 und EC 32 deutlich geringere Unterschiede bestanden. Eine Erhöhung der N-Düngung steigerte zu allen Terminen nach Vegetationsbeginn die

Triebzahlen, wobei Unterschiede zwischen den Varianten nur teilweise gesichert waren. Eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung bestand nicht (Tab. 28).

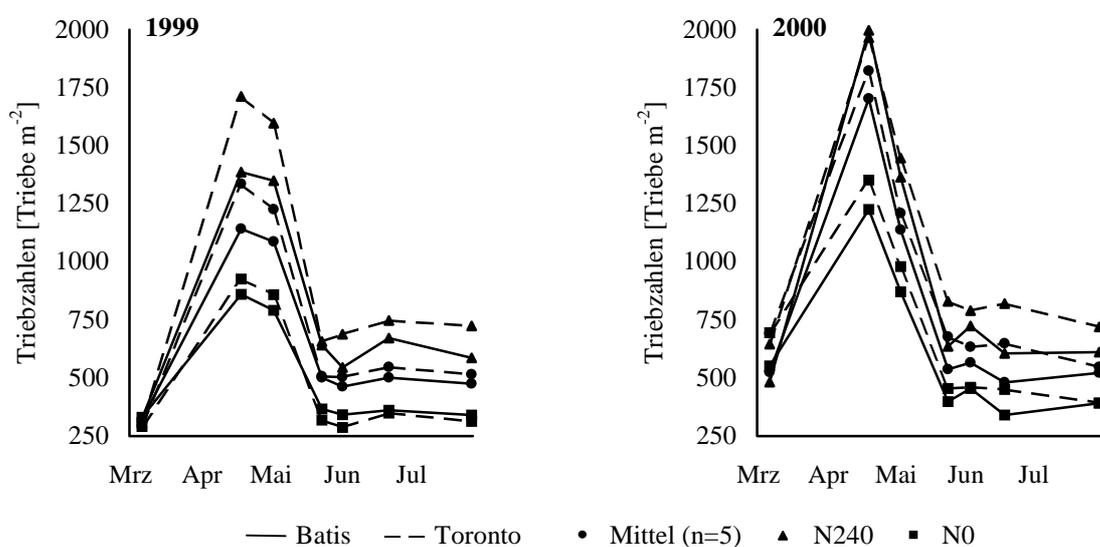


Abb. 9: Triebzahlen in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Tab. 28: Triebzahlen [Triebe m⁻²] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Entwicklungsstadium (EC) | | | | | | |
|---------------|--------------|------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | | VB ¹ | 30 | 32 | 49 | 61 | 75 | 92 |
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 552 a* | 1226 a | 872 a | 398 a | 454 a | 340 a* | 391 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 557 a* | 1961 a | 1226 b | 497 ab* | 509 ab* | 426 ab* | 545 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 535 a* | 1596 a | 1098 ab | 567 ab* | 523 ab | 543 bc* | 499 ab |
| | N40/0/60/80 | 180 | 498 a* | 1733 a | 1133 ab | 588 ab* | 618 bc | 490 bc* | 563 ab |
| | N80/40/40/80 | 240 | 483 a* | 1998 a | 1365 b | 636 b* | 724 c | 607 c* | 611 b* |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 696 a* | 1352 a | 980 a | 455 a | 460 a | 451 a* | 393 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 700 a* | 2150 a | 1196 a | 636 ab* | 628 ab* | 580 ab* | 526 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 689 a* | 1743 a | 1209 ab | 755 b* | 652 ab | 709 ab* | 598 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | 724 a* | 1904 a | 1213 ab | 711 ab* | 638 ab | 679 ab* | 496 ab |
| | N80/40/40/80 | 240 | 646 a* | 1965 a | 1448 b | 830 b* | 790 b | 821 b* | 721 c* |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 624 a | 1289 a | 926 a | 427 a | 457 a | 396 a | 392 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 628 a | 2055 c | 1211 b | 566 ab | 568 a | 503 b | 535 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 612 a | 1670 b | 1153 b | 661 b | 588 a | 626 c | 548 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 611 a | 1818 bc | 1173 b | 649 b | 628 a | 585 c | 529 ab |
| | N80/40/40/80 | 240 | 564 a | 1982 bc | 1407 c | 733 b | 757 b | 714 d | 666 b |
| Bat | Mittel | | 525 a | 1703 a | 1139 a | 537 a | 566 a | 481 a | 522 a |
| Tor | Mittel | | 691 b | 1823 b | 1209 b | 678 b | 634 b | 648 b | 547 a |
| Bat | Abw. Mittel | [%] | - 13,7 | - 3,4 | - 3,0 | - 11,5 | - 5,7 | - 14,9 | - 2,2 |
| Tor | Abw. Mittel | [%] | + 12,0 | + 3,3 | + 2,9 | + 10,5 | + 5,4 | + 12,8 | + 2,4 |
| Mittel | Mittel | | 608 | 1763 | 1174 | 607 | 600 | 565 | 534 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,026 | 0,001 | <0,001 | 0,005 | <0,001 | 0,056 |
| N-Düngung (N) | | | 0,173 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,136 | 0,630 | 0,093 | 0,107 | 0,250 | 0,768 | 0,078 |

¹Vegetationsbeginn (unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

4.2 Ertrag und Ertragsstruktur

4.2.1 Korn- und Strohertrag sowie Ernteindex

Kornertrag

Im Versuchsjahr 1999 wurde im Mittel der Versuchsglieder ein Kornertrag von 95 dt ha⁻¹ (86 % TS) erzielt (Tab. 29 und Abb. 10). Der Kornertrag unterlag einer signifikanten Wechselwirkung Sorte x N-Düngung (Tab. 29). Batis erreichte in allen Varianten höhere Kornerträge als Toronto, die auch in den meisten Fällen statistisch gesichert werden konnten (Tab. 29). Der Sortenunterschied betrug im Mittel 3,2 dt ha⁻¹ (4 %), wobei die größte Differenzierung neben der Kontrolle (0/0/0/0) in den Varianten mit geringem (60 kg ha⁻¹ N) und mittlerem N-Angebot (120 kg ha⁻¹ N) auftrat. Mit steigender N-Düngung nahm bei beiden Sorten die Ertragsleistung deutlich zu, wobei mit einer N-Menge von 120 kg ha⁻¹ N das Ertragsmaximum in diesem Versuchsjahr bereits annähernd erreicht wurde. Batis konnte zumindest tendenziell von einer N-Düngung zu Schossbeginn (N0/60/0/0) bzw. einer Verzögerung der zweiten N-Gabe bis zum Stadium EC 32 (N30/0/60/80) stärker profitieren und den Sortenunterschied vergrößern. Dennoch setzte Toronto bereits auf diesem N-Niveau gegenüber der Kontrolle (N0/0/0/0) in allen Varianten zusätzlichen Dünger-N effizienter in Kornertrag um als Batis. Besonders deutlich zeigte sich dies bei hohem N-Angebot (240 kg ha⁻¹ N) und einer Verteilung der N-Düngung mit Betonung der Stadien EC 32 und EC 49 (N40/0/60/80 und N40/30/60/110). In diesen Varianten konnten keine gesicherten Sortenunterschiede im Kornertrag festgestellt werden. Eine stärkere Anfangsbetonung der N-Düngung ließ dagegen die schwächere Ertragsleistung von Toronto erkennen. In den Varianten N40/40/80/80 und N80/40/40/80 konnte noch ein signifikanter Unterschied zugunsten von Batis festgestellt werden, der aber mit 3,1 bzw. 2,5 dt ha⁻¹ insgesamt gering blieb.

Die Kornerträge im zweiten Versuchsjahr lagen im Mittel bei 105 dt ha⁻¹ (Tab. 30 und Abb. 10). Auch im Versuchsjahr 2000 bestand eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung (Tab. 30). Batis erreichte unter den Bedingungen eines geringeren N-Angebotes (Ausnahme N0/0/0/0) und am deutlichsten in den Varianten mit einer N-Menge von 120 kg ha⁻¹ N tendenziell höhere Kornerträge. In allen Varianten mit höherer N-Versorgung (180 bis 240 kg ha⁻¹ N) erreichte Toronto einen tendenziell im Mittel um 3,3 dt ha⁻¹ höheren Kornertrag als Batis (Tab. 30 und Abb. 10).

Tab. 29: Kornertrag [dt ha⁻¹, 86 % TS], Strohertrag [dt ha⁻¹] und Ernteindex in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Kornertrag | Strohertrag | Ernteindex |
|---------------|---------------|----------|------------|-------------|------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 52,7 a* | 34,0 a | 0,522 a* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 86,6 b* | 65,3 bc* | 0,465 b |
| | N0/60/0/0 | 60 | 88,0 b* | 53,8 b | 0,511 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 104,3 c | 62,1 bc | 0,513 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 105,7 c* | 64,6 bc* | 0,516 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 107,4 c | 73,7 cd | 0,497 a* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 110,0 c | 65,1 bc | 0,523 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 107,2 c* | 75,6 cd | 0,481 b* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 107,4 c | 66,2 bc | 0,498 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 103,2 c* | 85,3 d | 0,448 b | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 47,9 a* | 32,8 a | 0,488 abc* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 83,5 b* | 57,2 bcd* | 0,439 bcd |
| | N0/60/0/0 | 60 | 82,6 b* | 55,6 b | 0,490 abc |
| | N30/30/30/30 | 120 | 99,6 c | 61,8 bcd | 0,498 abc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 98,3 c* | 57,0 bc* | 0,517 ab |
| | N40/40/50/60 | 190 | 104,0 cd | 74,1 cdf | 0,468 bc* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 108,5 d | 68,1 bcde | 0,506 ab |
| | N40/40/80/80 | 240 | 103,7 cd* | 81,2 ef | 0,457 cd* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 107,0 c | 77,4 def | 0,477 abcd |
| N80/40/40/80 | 240 | 100,3 c* | 87,0 f | 0,435 d | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 50,3 a | 33,4 a | 0,505 ab |
| | N60/0/0/0 | 60 | 85,1 b | 61,2 bc | 0,452 cd |
| | N0/60/0/0 | 60 | 85,3 b | 54,7 b | 0,501 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 102,0 c | 62,0 bc | 0,505 ab |
| | N30/0/60/30 | 120 | 102,0 c | 60,8 bc | 0,516 ab |
| | N40/40/50/60 | 190 | 105,7 cd | 73,9 cdc | 0,482 abc |
| | N40/0/60/80 | 180 | 109,2 d | 66,6 bcd | 0,515 ab |
| | N40/40/80/80 | 240 | 105,4 cd | 78,4 de | 0,469 bcd |
| | N40/30/60/110 | 240 | 107,2 cd | 71,8 cd | 0,488 abc |
| N80/40/40/80 | 240 | 101,7 c | 86,2 e | 0,442 d | |
| Bat | Mittel | | 97,2 a | 64,6 a | 0,497 a |
| Tor | Mittel | | 93,5 b | 65,2 a | 0,477 b |
| Mittel | Mittel | | 95,4 | 64,9 | 0,487 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,323 | 0,428 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,007 | 0,065 | <0,001 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Mit steigendem N-Angebot nahm der Kornertrag im Versuchsjahr 2000 bei beiden Sorten zu (Abb. 10). Eine N-Düngung von mehr als 120 kg ha⁻¹ N führte bei Toronto noch zu einem gesicherten Mehrertrag, während bei Batis keine weitere Ertragssteigerung festgestellt werden konnte. Die Verteilung der N-Düngung hatte bei gleicher N-Menge keinen gesicherten Einfluss auf den Kornertrag. Bei beiden Sorten war aber eine schossetonante Aufteilung der N-Düngung in der Tendenz zumindest bei einer N-Menge von 180 kg ha⁻¹ N (N40/0/60/80)

vorteilhaft, wobei der Unterschied weniger deutlich als im Versuchsjahr 1999 ausfiel. Auch bei höchster N-Menge tendierte ein erhöhtes N-Angebot während der Schossphase (N40/30/60/110) zu geringfügigen Ertragssteigerungen. Hiervon profitierte vor allem Toronto. Das zweite Versuchsjahr bestätigte damit im Prinzip die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres. Es zeigte aber auch, dass beide Sorten ein durchaus vergleichbares Ertragspotential aufweisen können und Toronto unter sehr günstigen Bedingungen für die Ertragsbildung und bei ausreichend hohem N-Angebot sogar tendenziell höhere Korntragsleistungen als Batis zu erzielen vermag.

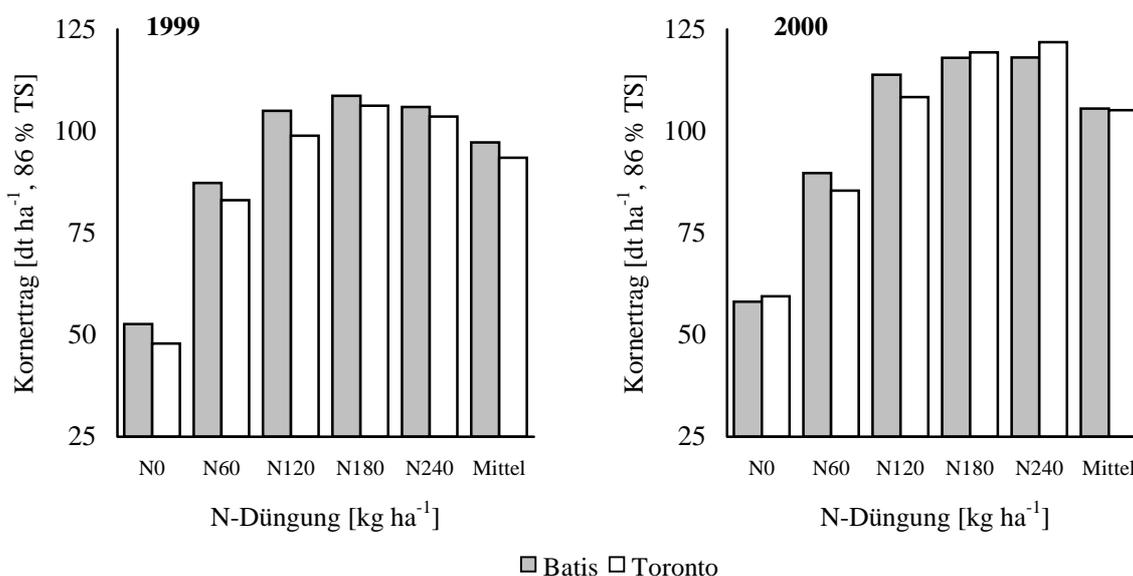


Abb. 10: Korntrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Strohertrag

Im Versuchsjahr 1999 bestanden im Mittel keine sortenbedingten Unterschiede im Strohertrag (Tab. 29 und Abb. 11). Allerdings konnte eine Wechselwirkung Sorte x N-Düngung ($p = 0,065$) festgestellt werden. Batis bildete bis zu einem mittleren N-Angebot ($120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) höhere Strohmenge als Toronto. Der Sortenunterschied betrug im Mittel dieser Varianten $2,2 \text{ dt ha}^{-1}$ (4 %), war allerdings nur in wenigen Fällen statistisch gesichert. In allen Varianten mit höherem N-Angebot bildete dagegen Toronto tendenziell eine höhere Strohmenge als Batis. Im Mittel lag der Sortenunterschied hier bei $4,4 \text{ dt ha}^{-1}$ (6 %). Im zweiten Versuchsjahr konnte ein gesicherter Sorteneinfluss nachgewiesen werden (Tab. 30). Batis wies mit wenigen Ausnahmen einen höheren Strohertrag auf, der allerdings wie im Versuchsjahr 1999 nur in einigen Fällen statistisch gesichert war. Im Mittel lag der Sortenunterschied bei $4,3 \text{ dt ha}^{-1}$ (6 %) (Tab. 30 und Abb. 11).

Tab. 30: Kornertrag [dt ha⁻¹, 86 % TS], Strohertrag [dt ha⁻¹] und Ernteindex in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Kornertrag | Strohertrag | Ernteindex |
|---------------|---------------|---------|------------|-------------|------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 58,2 a | 41,9 a | 0,493 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 87,2 b | 63,8 ab | 0,470 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 92,2 b | 62,9 ab* | 0,487 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 114,0 c | 66,9 ab | 0,511 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 113,8 c* | 67,8 b | 0,530 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 117,8 c | 79,1 b | 0,504 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 118,3 c | 69,7 b* | 0,540 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 117,5 c | 78,2 b | 0,544 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 119,6 c | 76,5 b | 0,547 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 117,0 c | 81,8 b | 0,496 a | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 59,5 a | 34,5 a | 0,486 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 83,3 b | 52,7 bc | 0,439 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 87,6 b | 57,3 b* | 0,491 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 108,2 c | 66,1 cde | 0,507 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 108,5 c* | 64,6 bcd | 0,528 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 119,0 d | 74,6 de | 0,512 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 119,7 d | 53,4 b* | 0,473 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 121,6 d | 77,4 de | 0,541 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 123,6 d | 78,3 de | 0,519 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 120,5 d | 81,8 e | 0,498 a | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 58,8 a | 38,2 a | 0,490 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 85,3 b | 58,2 bc | 0,454 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 89,9 b | 60,1 b | 0,489 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 111,1 c | 66,5 bcd | 0,509 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 111,1 c | 66,2 bcd | 0,529 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 118,4 d | 76,9 de | 0,508 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 119,0 d | 61,5 bc | 0,506 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 119,6 d | 77,8 de | 0,543 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 121,6 d | 77,4 de | 0,533 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 118,8 d | 81,8 e | 0,497 a | |
| Bat | Mittel | | 105,6 a | 68,9 a | 0,512 a |
| Tor | Mittel | | 105,2 a | 64,1 b | 0,499 a |
| Mittel | Mittel | | 105,4 | 66,5 | 0,506 |
| Sorte (S) | | | 0,803 | 0,007 | 0,088 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | 0,073 |
| S x N | | | <0,001 | 0,142 | 0,179 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

In beiden Versuchsjahren war bei beiden Sorten eine Steigerung der N-Düngung mit einer Erhöhung der Strohmenge verbunden (Tab. 29, Tab. 30 und Abb. 11). In Abhängigkeit der N-Verteilung traten bei gleicher N-Menge gesicherte Differenzierungen im Strohertrag nur in wenigen Fällen auf. Tendenziell führte aber eine schossetontere N-Düngung mit einem erhöhten N-Angebot nach dem Stadium EC 32 bei beiden Sorten und auf allen

Düngungsniveaus zu verringerten Strohmenngen. Ein Ausnahme bildete lediglich Batis bei einer mittleren N-Versorgung ($120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$).

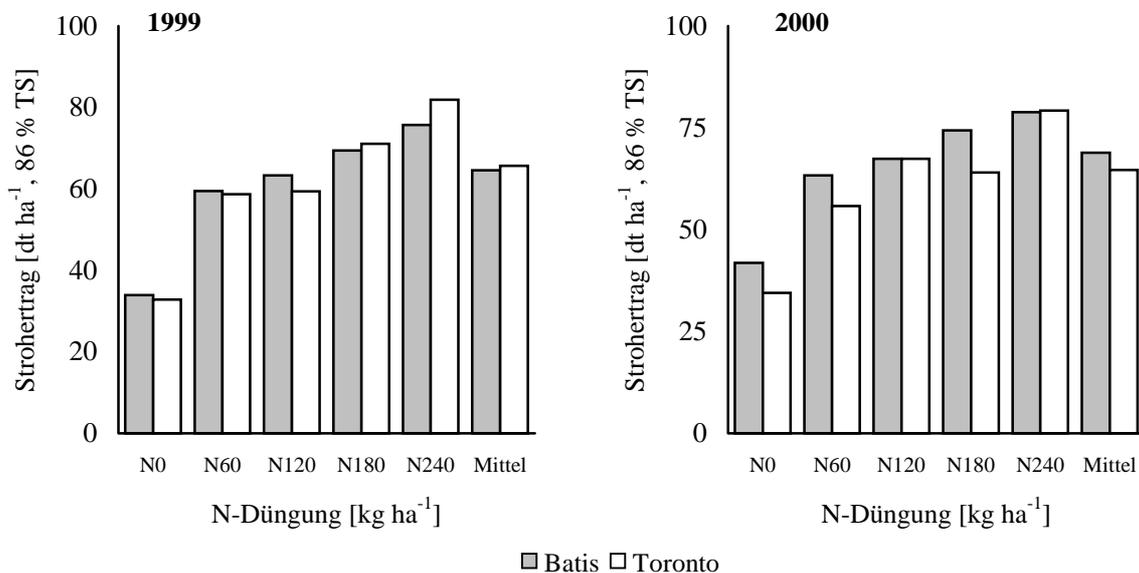


Abb. 11: Strohertrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Ernteindex

Der Ernteindex (Tab. 29 und Tab. 30) errechnet sich aus dem Verhältnis von Kornertrag zu gebildeter Sprosstrockenmasse und spiegelt die Effizienz der Umsetzung von Sprosstrockenmasse in Kornertrag wieder. Im Mittel wies Batis in beiden Versuchsjahren einen höheren Ernteindex als Toronto auf, der allerdings nur im ersten Versuchsjahr statistisch gesichert werden konnte. Der Sortenunterschied lag bei 0,02 Einheiten (1999) bzw. 0,01 Einheiten (2000) und ist im Wesentlichen auf die höhere Kornertragsleistung von Batis zurückzuführen (Tab. 29 und Tab. 30), die auch teilweise höhere Sprosstrockenmassen (Tab. 7 und Tab. 8) regelmäßig kompensierte. Die mit Erhöhung der N-Düngung verbundene Verringerung des Sortenunterschiedes im Kornertrag führte auch zu einer Verringerung des Sortenunterschiedes im Ernteindex, was allerdings nur im Versuchsjahr 1999 statistisch gesichert war (Tab. 29). Bei gleicher N-Menge hatte die Aufteilung der N-Düngung einen tendenziellen Einfluss auf den Ernteindex. Der geringere Strohertrag in den Varianten mit verzögerter zweiten N-Düngung führte tendenziell auch zu einem höheren Ernteindex. Hiervon profitierte insbesondere Toronto bei mittlerem N-Angebot ($120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$), so dass in Variante N30/0/60/30 kein erkennbarer Unterschied im Ernteindex zwischen beiden Sorten mehr bestand.

4.2.2 Ertragsstruktur

Ährenzahl

Toronto wies im Mittel eine 9 % (47 Ähren m⁻²) (1999) bzw. 8 % (49 Ähren m⁻²) (2000) höhere Ährenzahl auf als Batis. In beiden Versuchsjahren konnte eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung nachgewiesen werden (Tab. 31 und Tab. 32). In der Kontrolle (N0/0/0/0) war in keinem Versuchsjahr ein gesicherter Sortenunterschied nachzuweisen. Mit steigender N-Düngung nahm bei beiden Sorten die Anzahl ährentragender Halme zu. Nur in wenigen Fällen waren aber signifikante Unterschiede zwischen den Varianten nachzuweisen. In Abhängigkeit der N-Versorgung zu Vegetations- und Schossbeginn nahm die Bestandesdichte bei Toronto deutlich stärker zu als bei Batis, so dass in beiden Versuchsjahren bei hohem N-Angebot signifikante Sortenunterschiede festzustellen waren. Die Betonung der N-Düngung zu Vegetationsbeginn und EC 30 förderte bei beiden Sorten erkennbar die Ährenzahl, während Düngungsmaßnahmen zu EC 32 und EC 49 die Bestandesdichte nur noch geringfügig erhöhten (vgl. N40/40/50/60 und N40/40/80/80 sowie N40/40/80/80 und N40/30/60/110). In den Varianten N60/0/0/0, N30/30/30/30 und N40/40/50/60 waren im Versuchsjahr 1999 Sortenunterschiede von 7 % (34 Ähren m⁻²), 11 % (59 Ähren m⁻²) und 13 % (81 Ähren m⁻²) zugunsten von Toronto festzustellen, während bei verzögerter Nachdüngung (N0/60/0/0, N30/0/60/30 und N40/0/60/80) bei gleicher N-Menge keine erkennbaren Sortenunterschiede auftraten. Eine Anfangsbetonung der N-Düngung von 120 kg ha⁻¹ N bis EC 32 (N80/40/40/80) erhöhte den Sortenunterschied im Versuchsjahr 1999 auf 19 % (137 Ähren m⁻²). Im Versuchsjahr 2000 war der Einfluss der N-Düngung zu Vegetations- und Schossbeginn insbesondere bei Toronto aufgrund des höheren zusätzlichen N-Angebotes aus dem Boden weniger deutlich. Neben der insgesamt höheren Bestandesdichte im Versuchsjahr 2000 war hierbei aber auch ein deutlich höherer Versuchsfehler bei der Bestimmung der ährentragenden Halme zu berücksichtigen.

Einzelährenertrag

Batis erreichte im Mittel der Varianten einen 12 % (1999) bzw. 13 % (2000) höheren Einzelährenertrag, der signifikant von Sorte und N-Düngung beeinflusst wurde (Tab. 31 und Tab. 32). Prinzipiell führte die Handhabung der N-Düngung bei beiden Sorten zu ähnlichen Abstufungen im Einzelährenertrag. Toronto wies allerdings insbesondere im Versuchsjahr 1999 deutlich stärkere Reaktionen auf. Bei gleicher N-Menge führte bei beiden Sorten regelmäßig ein hohes N-Angebot nach dem Zwei-Knoten-Stadium (EC 32) zu höheren

Einzelährenerträgen als eine schossetonte Verteilung (vgl. N30/30/30/30, N40/40/50/60 bzw. N40/40/80/80 mit N30/0/60/30, N40/0/60/80 bzw. N40/30/60/110). Auch die Variante N0/60/0/0 war gegenüber Variante N60/0/0/0 im Vorteil. Eine hohe Anfangsdüngung (N80/40/40/80) führte dagegen bei beiden Sorten zu einem Abfall im Einzelährenertrag, der im Versuchsjahr 1999 insgesamt deutlicher ausfiel und bei Toronto zu einem geringeren Einzelährenertrag als in der Kontrolle (N0/0/0/0) führte. Obwohl keine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung nachzuweisen war, reagierte Toronto auf eine schossetonte Verteilung der N-Düngung tendenziell mit einem stärkeren Abfall im Einzelährenertrag. So bestand in den Varianten N30/0/60/80 und N40/0/60/80 ein mittlerer Sortenunterschied von 5 % (1999) bzw. 12 % (2000) zugunsten von Batis, der sich in den Varianten N30/30/30/30 und N40/40/80/80 auf 18 % (1999) bzw. 14 % (2000) vergrößerte. Im Versuchsjahr 2000 fiel der Abfall der Einzelährenerträge in den Varianten mit höchstem N-Angebot erkennbar geringer aus, zudem wies Toronto eine erkennbar geringere Variabilität im Einzelährenertrag auf als im Versuchsjahr 1999.

Kornzahl

Für die Kornzahl Ähre^{-1} konnte im Versuchsjahr 1999 eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung nachgewiesen werden (Tab. 31). Im zweiten Versuchsjahr bestand lediglich ein signifikanter Einfluss der N-Düngung (Tab. 32). Die höhere Bestandesdichte im Versuchsjahr 2000 führte insgesamt zu geringeren Kornzahlen in diesem Versuchsjahr. Im Mittel der Varianten wies Toronto geringfügig höhere Kornzahlen auf, die aber in keinem Versuchsjahr gesichert werden konnten. Die tendenziell geringsten Kornzahlen wiesen beide Sorten in den Varianten mit geringem N-Angebot auf (N0/0/0/0 und N60/0/0/0 bzw. N0/60/0/0). Auch die hohen Bestandesdichten der Variante N80/40/40/80 führten bei beiden Sorten zu einem Abfall in den Kornzahlen. Die tendenziell höchsten Werte waren im Versuchsjahr 1999 in den Varianten N30/0/60/30 und N40/0/60/80 festzustellen. Während in diesen Varianten die Kornzahlen bei Batis nur geringfügig erhöht waren, führten die reduzierten Bestandesdichten bei Toronto zu deutlich höheren Werten, die wiederum zu einem signifikanten Sortenunterschied von 10 % (4,6 Körner Ähre^{-1}) bzw. 12 % (5,9 Körner Ähre^{-1}) führten. Im Versuchsjahr 1999 war bei Toronto auch ein positiver Effekt der N-Spättdüngung erkennbar, während bei Batis tendenziell ein Rückgang der Kornzahlen festzustellen war (vgl. N40/40/50/60 und N40/40/80/80 bzw. N40/30/60/110). Im Versuchsjahr 2000 wiesen die Varianten N30/0/60/30 und N40/30/60/110 bei beiden Sorten

tendenziell die höchsten Kornzahlen auf. Die geringere Variabilität der Bestandesdichte im Versuchsjahr 2000 führte bei beiden Sorten zu geringeren Differenzierungen.

Tab. 31: Ährenzahl [Ähren m⁻²], Kornzahl [Körner Ähre⁻¹], Korndichte [Körner m⁻² x 10³], Einzelährenertrag (EAE) [g Ähre⁻¹] und Tausendkornmasse (TKM) [g, 86 % TS] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Ährenzahl | Kornzahl | Korndichte | EAE | TKM |
|---------------|---------------|--------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 341 a | 32,8 a | 11,2 a | 1,41 a | 50,0 ab* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 478 ab | 34,8 ab | 16,6 b | 1,47 ab* | 49,1 ab* |
| | N0/60/0/0 | 60 | 464 ab | 38,1 ab | 17,7 bc* | 1,59 ab* | 48,6 ab* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 482 b | 40,1 ab | 19,3 bc | 1,75 bc* | 50,8 a* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 472 ab | 42,1 b* | 19,9 bc | 1,86 c | 51,3 a* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 530 b* | 41,8 ab | 21,9 c | 1,76 bc* | 48,8 ab* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 491 b | 42,4 b* | 20,8 bc* | 1,87 c | 51,3 a* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 544 b* | 39,9 ab | 21,6 c* | 1,61 abc* | 47,1 b* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 524 b* | 40,0 ab | 20,9 bc* | 1,68 abc* | 48,7 ab* |
| N80/40/40/80 | 240 | 587 b* | 36,0 ab | 21,1 c* | 1,46 a* | 47,2 b* | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 313 a | 35,6 a | 11,0 a | 1,29 a | 42,3 ab* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 485 bcd | 35,7 a | 17,2 b | 1,32 a* | 43,0 ab* |
| | N0/60/0/0 | 60 | 485 bc | 39,2 ab | 18,9 bc* | 1,45 abc* | 42,9 ab* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 512 bcd | 41,3 ab | 21,0 bcd | 1,52 abc* | 42,8 ab* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 463 b | 46,7 b* | 21,7 bcd | 1,74 bc | 43,4 a* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 611 cde* | 37,3 a | 22,8 cd | 1,37 a* | 42,8 ab* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 490 bc | 48,3 b* | 23,7 d* | 1,84 c | 42,5 a* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 627 de* | 38,7 a | 24,2 d* | 1,38 ab* | 41,5 ab* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 613 cde* | 41,0 ab | 25,1 d* | 1,48 abc* | 41,9 ab* |
| N80/40/40/80 | 240 | 724 e* | 33,9 a | 24,6 d* | 1,16 a* | 39,7 b* | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 327 a | 34,2 a | 11,1 a | 1,35 ab | 46,1 bc |
| | N60/0/0/0 | 60 | 482 bc | 35,3 a | 16,9 b | 1,39 abc | 46,0 bc |
| | N0/60/0/0 | 60 | 474 b | 38,6 ab | 18,3 bc | 1,52 bcd | 45,8 bc |
| | N30/30/30/30 | 120 | 497 b | 40,7 ab | 20,1 bc | 1,64 de | 46,8 cd |
| | N30/0/60/30 | 120 | 468 b | 44,4 b | 20,8 cd | 1,80 ef | 47,3 cd |
| | N40/40/50/60 | 190 | 571 bcd | 39,5 ab | 22,4 d | 1,56 cd | 45,8 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | 491 b | 45,4 b | 22,2 d | 1,85 f | 46,9 d |
| | N40/40/80/80 | 240 | 585 cd | 39,3 a | 22,9 d | 1,50 abcd | 44,3 b |
| | N40/30/60/110 | 240 | 568 bcd | 40,5 ab | 23,0 d | 1,58 cd | 45,3 c |
| N80/40/40/80 | 240 | 655 d | 35,0 a | 22,8 d | 1,31 a | 43,4 a | |
| Bat | Mittel | | 491 a | 38,8 a | 19,1 a | 1,65 a | 49,3 a |
| Tor | Mittel | | 532 b | 39,8 a | 21,0 b | 1,45 b | 42,3 b |
| Mittel | Mittel | | 512 | 39,3 | 20,1 | 1,55 | 45,8 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,216 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,002 | 0,013 | 0,028 | 0,075 | 0,062 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Korndichte

Die aus Bestandesdichte und Kornzahl Ähre^{-1} abgeleitete Korndichte unterlag in beiden Versuchsjahren einer signifikanten Wechselwirkung Sorte x N-Düngung (Tab. 31 und Tab. 32). Toronto wies mit Ausnahme der Kontrolle N0/0/0/0 in den meisten Varianten eine höhere Korndichte auf, die allerdings nicht in allen Fällen gesichert war. Im Mittel der Varianten betrug der Sortenunterschied 9 % (2000 Körner m^{-2}) (1999) bzw. 11 % (2400 Körner m^{-2}) (2000). Die mit zunehmender N-Düngung gesteigerte Bestandesdichte führte bei beiden Sorten zu einer Zunahme der Korndichte. Im Versuchsjahr 1999 wurde die höchste Korndichte mit einem N-Angebot von 180 kg ha^{-1} N erreicht, während im Versuchsjahr 2000 bereits eine N-Menge von 120 kg ha^{-1} N bei verzögerter zweiter N-Gabe (Variante N30/0/60/30) zur Ausbildung der höchsten Korndichte ausreichte. Bei Toronto erhöhte sich dagegen in beiden Versuchsjahren die Korndichte bis zu einem N-Angebot von 240 kg ha^{-1} N, so dass der Sortenunterschied signifikant zunahm und in den Varianten mit höchster N-Versorgung (240 kg ha^{-1} N) im Mittel bei 14 % (1999) bzw. 18 % (2000) lag.

Tausendkornmasse

Batis wies in allen Varianten eine deutlich höhere Tausendkornmasse auf (Tab. 31 und Tab. 32). Im Mittel der Varianten betrug der Sortenunterschied 14 % (5,9 g bzw. 6,7 g). Wechselwirkungen Sorte x N-Düngung konnten in beiden Versuchsjahren festgestellt werden (1999 für $p = 0,062$) (Tab. 31 und Tab. 32). Der geringeren Kornzahl im Versuchsjahr 2000 (Tab. 32) stand eine 9 % höhere Tausendkornmasse gegenüber. Tendenziell ließ Batis eine etwas höhere Variabilität in der Tausendkornmasse erkennen. Während in Varianten mit hohem N-Angebot kein Abfall in der Tausendkornmasse auftrat, sondern annähernd das Niveau geringer N-Versorgung erreicht wurde, reagierte Toronto auf erhöhte Korndichten (Tab. 31 und Tab. 32) tendenziell mit einem Rückgang in der Tausendkornmasse. Bei beiden Sorten wurden in den Varianten N30/0/60/30 und N40/060/80 tendenziell die höchsten Tausendkornmassen festgestellt. Die N-Spätdüngung wirkte sich nicht erkennbar aus. In den Varianten mit höchster N-Düngung verringerte sich die Tausendkornmasse, wobei besonders die anfangsbetonte N-Verteilung der Variante N80/40/40/80 in beiden Versuchsjahren bei Toronto zu einem Rückgang in der Tausendkornmasse führte, die noch unter dem Niveau der Kontrolle (N0/0/0/0) lag. Insgesamt konnten aber nur wenige Vergleiche statistisch gesichert werden.

Tab. 32: Ährenzahl [Ähren m⁻²], Kornzahl [Körner Ähre⁻¹], Korndichte [Körner x 10³ m⁻²], Einzelährenertrag (EAE) [g Ähre⁻¹] und Tausendkornmasse (TKM) [g, 86 % TS] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Ährenzahl | Kornzahl | Korndichte | EAE | TKM |
|---------------|---------------|--------|-----------|----------|------------|----------|----------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 391 a | 30,2 a | 11,9 a | 1,33 a | 51,3 a* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 545 ab | 29,3 a | 15,8 ab | 1,35 a | 53,7 ab* |
| | N0/60/0/0 | 60 | 510 ab | 32,6 ab | 16,6 ab | 1,47 ab* | 52,5 ab* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 499 ab | 36,0 ab | 17,9 abc | 1,76 b* | 56,8 b* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 538 ab* | 38,4 b | 20,6 bc | 1,82 b* | 55,3 ab* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 601 b | 35,8 ab | 21,5 bc | 1,68 ab* | 54,5 ab* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 563 ab | 36,1 ab | 20,3 bc | 1,76 b | 56,7 b* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 601 b* | 36,8 ab | 22,0 bc | 1,67 ab* | 52,9 ab* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 580 ab* | 37,4 b | 21,7 c | 1,75 b* | 54,3 ab* |
| N80/40/40/80 | 240 | 611 b* | 35,0 ab | 21,4 c | 1,63 ab* | 54,1 ab* | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 393 a | 29,1 a | 11,4 a | 1,18 a | 47,1 ab* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 526 ab | 28,9 a | 15,3 b | 1,18 a | 47,8 b* |
| | N0/60/0/0 | 60 | 527 ab | 32,5 a | 16,9 ab | 1,33 ab* | 47,8 b* |
| | N30/30/30/30 | 120 | 598 ab | 35,3 a | 21,1 cd | 1,44 ab* | 47,3 ab* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 594 ab* | 39,4 a | 23,4 cd | 1,56 b* | 46,1 ab* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 654 b | 38,6 a | 25,1 d | 1,52 b* | 45,7 ab* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 496 ab | 39,0 a | 19,3 bc | 1,61 b | 47,9 b* |
| | N40/40/80/80 | 240 | 728 b* | 35,8 a | 26,0 d | 1,36 ab* | 44,0 a* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 689 b* | 38,9 a | 26,8 d | 1,55 b* | 46,2 ab* |
| N80/40/40/80 | 240 | 721 b* | 36,9 a | 26,6 d | 1,40 ab* | 44,2 a* | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 392 a | 29,7 a | 11,6 a | 1,26 a | 49,2 ac |
| | N60/0/0/0 | 60 | 535 ab | 29,1 ab | 15,6 b | 1,27 a | 50,7 abc |
| | N0/60/0/0 | 60 | 518 ab | 32,6 ab | 16,8 b | 1,40 ab | 50,2 abc |
| | N30/30/30/30 | 120 | 548 ab | 35,7 ab | 19,5 c | 1,60 b | 52,1 bc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 566 b | 38,9 b | 22,0 d | 1,69 b | 50,7 abc |
| | N40/40/50/60 | 190 | 628 b | 37,2 ab | 23,3 de | 1,60 b | 50,1 abc |
| | N40/0/60/80 | 180 | 529 b | 37,6 ab | 19,8 c | 1,68 b | 52,3 c |
| | N40/40/80/80 | 240 | 664 b | 36,3 ab | 24,0 e | 1,51 ab | 48,4 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 635 b | 38,1 ab | 24,2 e | 1,65 b | 50,2 abc |
| N80/40/40/80 | 240 | 666 b | 36,0 ab | 24,0 e | 1,51 ab | 49,1 ab | |
| Bat | Mittel | | 544 a | 34,8 a | 19,0 a | 1,62 a | 54,2 a |
| Tor | Mittel | | 593 b | 35,4 a | 21,2 b | 1,41 b | 46,4 b |
| Mittel | Mittel | | 568 | 35,1 | 20,1 | 1,52 | 50,3 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | 0,077 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,006 | 0,534 | 0,001 | 0,264 | <0,001 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

4.2.3 Ertragsstruktur von Einzelpflanzen

Ergänzende Ertragsstrukturanalysen von Einzelpflanzen wurden mit dem Ziel durchgeführt, den sortenunterschiedlichen Umfang der Anlage und Reduktion von Ertragsanlagen in Abhängigkeit des N-Angebotes zu bestimmen.

Reduktion von Bestockungstrieben

Die sortenunterschiedliche Anlage und Ausbildung von Triebanlagen wurde bereits anhand der Entwicklung der Bestandesdichte (Tab. 27 und Tab. 28) ersichtlich. Die relative Anzahl der reduzierten Bestockungstriebe (Tab. 33 und Tab. 34) zeigte deutlich, dass sich unter Berücksichtigung des sortenunterschiedlichen Bestockungsverhaltens beide Sorten nur unwesentlich im Umfang der Triebreduktion unterschieden. Im Mittel der Versuchsglieder wurden im Versuchsjahr 1999 61 % und bedingt durch die insgesamt höhere Triebanlage im zweiten Versuchsjahr 70 % der zu Schossbeginn vorhandenen Triebe reduziert. In keinem Fall konnten gesicherte Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern nachgewiesen werden. Für die zur Reife vorhandenen Sortenunterschiede in der Bestandesdichte (Tab. 31 und Tab. 32) war somit die sortenspezifische Reaktion auf die N-Versorgung während der Bestockungsphase von entscheidender Bedeutung, während sich für die anschließenden Reduktionsprozesse kein erkennbarer Sorteneinfluss nachweisen ließ.

Tab. 33: Reduzierte Triebe [%], angelegte Ährchen [Ährchen Ähre⁻¹], fertile Ährchen [Ährchen Ähre⁻¹], reduzierte Ährchen [%], fertile Einzelblüten [Blüten Ährchen⁻¹] und Blütenzahl [Blüten Ähre⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Reduzierte Triebe [%] | Angelegte Ährchen | Fertile Ährchen | Reduzierte Ährchen [%] | Fertile Einzelblüten | Blütenzahl |
|---------------|--------------|------|-----------------------|-------------------|-----------------|------------------------|----------------------|------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 60,4 a | 19,4 a | 14,5 a | 25,3 a | 1,7 a* | 24,7 a* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 59,9 a | 22,1 b* | 16,9 b* | 23,5 a | 1,8 ab* | 31,1 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 57,1 a | 21,4 b* | 17,8 b* | 16,8 a* | 2,2 bc* | 39,0 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | - | 21,7 b* | 18,4 b* | 15,2 a* | 2,3 c* | 42,3 c |
| | N80/40/40/80 | 240 | 57,7 a | 22,3 b* | 17,0 b* | 23,8 a | 2,0 bc | 33,5 bc |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 66,2 a | 19,4 a | 14,8 a | 23,7 a | 2,0 a* | 30,0 a* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 66,5 a | 21,4 b* | 16,1 ab* | 24,8 a | 2,1 a* | 34,2 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 59,4 a | 20,8 b* | 16,6 b* | 20,2 a* | 2,3 a* | 38,3 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | - | 21,3 b* | 17,5 b* | 17,8 a* | 2,4 a* | 42,2 c |
| | N80/40/40/80 | 240 | 57,7 a | 21,9 b* | 16,2 ab* | 26,0 a | 2,1 a | 33,9 ab |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 63,4 a | 19,4 a | 14,6 a | 24,7 a | 1,9 a | 27,4 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 63,5 a | 21,7 b | 16,5 b | 24,0 a | 2,0 a | 32,7 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 58,4 a | 21,1 b | 17,2 bc | 18,5 a | 2,3 ab | 38,6 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | - | 21,5 b | 18,0 c | 16,3 a | 2,4 b | 42,3 c |
| | N80/40/40/80 | 240 | 57,7 a | 22,1 b | 16,6 b | 24,9 a | 2,0 a | 33,7 ab |
| Bat | Mittel | | 58,7 a | 21,4 a | 16,9 a | 21,0 a | 2,0 a | 34,1 a |
| Tor | Mittel | | 61,9 b | 20,9 b | 16,2 b | 22,5 b | 2,2 b | 35,7 b |
| Mittel | Mittel | | 60,5 | 21,2 | 16,6 | 21,7 | 2,1 | 34,9 |
| Sorte (S) | | | 0,023 | <0,001 | <0,001 | 0,027 | <0,001 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | 0,138 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,366 | 0,004 | <0,001 | 0,226 | 0,067 | 0,054 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Angelegte Ährchen

Für die Anzahl der angelegten Ährchen bestand im Versuchsjahr 1999 eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung, während im Versuchsjahr 2000 nur signifikante Hauptwirkungen nachzuweisen waren (Tab. 33 und Tab. 34). Batis wies in beiden Versuchsjahren eine höhere Anzahl angelegter Ährchen Ähre^{-1} auf. Der Sortenunterschied war im Mittel der Varianten mit 0,4 Ährchen Ähre^{-1} (1999) bzw. 0,5 Ährchen Ähre^{-1} (2000) allerdings nur von untergeordneter Bedeutung. In der Kontrolle (N0/0/0/0) waren keine erkennbaren Sortenunterschiede festzustellen, beide Sorten wiesen gegenüber den gedüngten Pflanzen eine um 2,1 Ährchen Ähre^{-1} (1999) bzw. 1,4 Ährchen Ähre^{-1} (2000) verminderte Ährchenanlage auf. Zwischen den weiteren Varianten konnten in keinem Fall gesicherte Unterschiede nachgewiesen werden. Eine Anfangsdüngung von 30 kg ha^{-1} N (N30/30/30/30) führte zu einer Mehranlage von 1,7 Ährchen Ähre^{-1} (1999) bzw. 1,2 Ährchen Ähre^{-1} (2000), wobei sich ein Sortenunterschied von 0,6 Ährchen Ähre^{-1} (1999) bzw. 0,9 Ährchen Ähre^{-1} (2000) zugunsten von Batis ergab. Eine Anfangsdüngung von 80 kg ha^{-1} N (N80/40/40/80) führte im Mittel zu einer Mehranlage von 2,5 Ährchen Ähre^{-1} (1999) bzw. 2,2 Ährchen Ähre^{-1} (2000). Der Sortenunterschied verringerte sich dabei auf 0,4 Ährchen Ähre^{-1} (1999) bzw. 0,6 Ährchen Ähre^{-1} (2000).

Fertile Ährchen

Auf die Anzahl der fertilen Ährchen (Tab. 33 und Tab. 34) übte die Wechselwirkung Sorte x N-Düngung in beiden Versuchsjahren einen signifikanten Einfluss aus. Batis wies im Mittel der Varianten eine um 0,6 Ährchen Ähre^{-1} (1999) bzw. 0,9 Ährchen Ähre^{-1} (2000) höhere Anzahl fertiler Ährchen auf. Während in der Kontrolle (N0/0/0/0) keine gesicherten Sortenunterschiede festzustellen waren, steigerte die Erhöhung der N-Düngung die Anzahl fertiler Ährchen bei Batis stärker, so dass mit einer Ausnahme in allen Varianten signifikante Sortenunterschiede nachzuweisen waren. Der höchste Sortenunterschied bestand im Versuchsjahr 1999 in Variante N30/30/30/30 (1,2 Ährchen Ähre^{-1}), während im zweiten Versuchsjahr die Varianten N60/0/0/0 und N30/30/30/30 (2,0 Ährchen Ähre^{-1} bzw. 1,5 Ährchen Ähre^{-1}) die höchste Differenz erreichten. Beide Sorten wiesen in der Variante N30/0/60/80 die höchste Anzahl fertiler Ährchen auf, während die Varianten N0/0/0/0 und N80/40/40/80 tendenziell am stärksten von Reduktionsvorgängen betroffen waren. Der tendenzielle Vorteil der hohen Andüngung in Variante N80/40/40/80 in der Ährchenanlage führte infolge der hohen Bestandesdichte bei beiden Sorten zu höheren Reduktionen während der Schossphase, wobei Toronto hiervon tendenziell schwächer betroffen war.

Reduzierte Ährchen

Toronto war in beiden Versuchsjahren in größerem Umfang von der Reduktion der Ährchenanlagen (Tab. 33 und Tab. 34) betroffen. Insgesamt war der Sortenunterschied allerdings gering und fiel nur in den Varianten N30/30/30/30 und N40/0/60/80 etwas deutlicher aus. Signifikante Unterschiede zwischen den N-Varianten konnten nicht nachgewiesen werden, beide Sorten waren aber unter Bedingungen geringer N-Versorgung (N0/0/0/0 und N60/0/0/0) sowie bei hohen Bestandesdichten (N80/40/40/80) tendenziell von den höchsten Reduktionen der Ährchenanlage betroffen.

Tab. 34: Reduzierte Triebe [%], angelegte Ährchen [Ährchen Ähre⁻¹], fertile Ährchen [Ährchen Ähre⁻¹], reduzierte Ährchen [%], fertile Einzelblüten [Blüten Ährchen⁻¹] und Blütenzahl [Blüten Ähre⁻¹] in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Reduzierte Triebe [%] | Angelegte Ährchen | Fertile Ährchen | Reduzierte Ährchen [%] | Fertile Einzelblüten | Blütenzahl |
|---------------|--------------|------|-----------------------|-------------------|-----------------|------------------------|----------------------|------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 68,1 a | 19,8 a | 14,0 a | 29,3 a | 1,5 a* | 21,4 a* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 72,2 a | 21,5 ab | 15,9 ab* | 26,0 a* | 1,6 ab* | 26,0 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 68,7 a | 21,1 ab* | 16,6 b* | 21,3 a | 1,9 ab* | 31,4 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | 67,5 a | 21,3 ab | 17,0 b* | 20,2 a* | 2,1 b* | 34,9 c |
| | N80/40/40/80 | 240 | 69,4 a* | 21,9 b | 16,5 b | 24,7 a | 1,7 ab* | 28,2 abc |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 70,9 a | 19,5 a | 13,2 a | 32,3 a | 2,0 a* | 26,1 a* |
| | N60/0/0/0 | 60 | 75,5 a | 20,5 a | 13,8 a* | 32,7 a* | 1,8 a* | 25,0 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 65,7 a | 20,5 a* | 15,2 ab* | 25,9 a | 2,1 ab* | 31,9 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 74,0 a | 20,9 a | 16,1 b* | 23,0 a* | 2,3 b* | 37,0 b |
| | N80/40/40/80 | 240 | 63,4 a* | 21,8 a | 16,0 b | 26,6 a | 1,9 ab* | 30,8 b |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 69,6 a | 19,6 a | 13,6 a | 30,6 a | 1,8 ab | 23,7 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 74,0 a | 21,0 ab | 14,9 ab | 29,0 a | 1,7 a | 25,5 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 67,1 a | 20,8 ab | 15,9 bc | 23,6 a | 2,0 bc | 31,7 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 70,9 a | 21,1 ab | 16,5 c | 21,8 a | 2,2 c | 36,0 b |
| | N80/40/40/80 | 240 | 66,4 a | 21,9 b | 16,2 c | 26,0 a | 1,8 b | 29,5 b |
| Bat | Mittel | | 69,3 a | 21,1 a | 16,0 a | 24,2 a | 1,8 a | 28,4 a |
| Tor | Mittel | | 70,0 a | 20,6 b | 14,8 b | 28,2 b | 2,0 b | 30,2 a |
| Mittel | Mittel | | 69,7 | 20,9 | 15,4 | 26,3 | 1,9 | 29,3 |
| Sorte (S) | | | 0,733 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,114 |
| N-Düngung (N) | | | 0,107 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,019 | 0,250 | 0,007 | 0,342 | 0,267 | 0,076 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Fertile Einzelblüten

Das Merkmal fertile Einzelblüten (fertile Blüten Ährchen⁻¹) wurde in beiden Versuchsjahren signifikant von Sorte und N-Düngung beeinflusst, während sich eine Wechselwirkung Sorte x N-Düngung nicht nachweisen ließ (Tab. 33 und Tab. 34). Toronto wies mit einer Ausnahme in allen Varianten eine signifikant höhere Anzahl fertiler Blüten auf. Der

Sortenunterschied fiel mit 0,3 Blüten Ährchen⁻¹ (1999) bzw. 0,2 Blüten Ährchen⁻¹ (2000) im Variantenmittel allerdings gering aus. Bei beiden Sorten wurde die höchste Anzahl fertiler Blüten tendenziell in den Varianten N40/0/60/80 und N30/30/30/30 ermittelt, während die Varianten mit geringer N-Versorgung (N0/0/0/0 und N60/0/0/0) erkennbar in der Anzahl fertiler Blüten abfielen. Auch die Variante N80/40/40/80 führte infolge der dichten Bestände bei beiden Sorten zu geringeren Blütenzahlen. Nur wenige Vergleiche konnten allerdings statistisch gesichert werden.

Blütenzahl

Die Blütenzahl (fertile Blüten Ähre⁻¹) (Tab. 33 und Tab. 34), die aufgrund der unterschiedlichen Stichproben nicht mit dem Merkmal Kornzahl Ähre⁻¹ (Tab. 31 und Tab. 32) übereinstimmt, unterlag im Versuchsjahr 1999 einer signifikanten Wechselwirkung Sorte x N-Düngung, während im Versuchsjahr 2000 nur ein Einfluss der N-Düngung nachgewiesen werden konnte. Toronto wies mit einer Ausnahme im Versuchsjahr 2000 in allen Varianten eine höhere Anzahl Blüten Ähre⁻¹ auf. Der Sortenunterschied fiel mit 2,5 Blüten Ähre⁻¹ (1999) bzw. 0,9 Blüten Ähre⁻¹ (2000) allerdings gering aus. Die geringere Ährchenanlage von Toronto (Tab. 33 und Tab. 34) konnte also durch die höhere Anzahl fertiler Blüten Ährchen⁻¹ regelmäßig ausgeglichen werden. In Folge der insgesamt höheren Bestandesdichten waren im Versuchsjahr 2000 deutlich geringere Blütenzahlen festzustellen.

4.3 N-Aufnahme und N-Verwertung durch Korn und Stroh

4.3.1 N-Entzüge durch Korn und Stroh

Korn

Sortenbedingte Unterschiede in der N-Konzentration und N-Aufnahme des Kornes waren in beiden Versuchsjahren festzustellen (Tab. 35, Tab. 36 und Abb. 12). Beide Merkmale unterlagen zudem einer signifikanten Wechselwirkung Sorte x N-Düngung (Tab. 35 und Tab. 36). Aufgrund der höheren N-Nachlieferung des Bodens und der insgesamt günstigeren Bedingungen für die Ertragsbildung (Tab. 3 und Tab. 4) lagen im zweiten Versuchsjahr sowohl die Korn-N-Konzentrationen als auch Korn-N-Erträge über denen des Versuchsjahres 1999 (Abb. 12). Toronto erreichte in beiden Versuchsjahren signifikant höhere Korn-N-Konzentrationen und Korn-N-Erträge als Batis, wobei die Abstufungen in beiden Versuchsjahren annähernd gleich groß waren (Abb. 12). Im ersten Versuchsjahr (Tab. 35) variierte in Abhängigkeit des N-Angebotes die Korn-N-Konzentration von Toronto von 1,1 %

in der Kontrolle (N0/0/0/0) bis 2,2 % bei hoher N-Düngung (240 kg ha⁻¹ N), was einer Rohprotein-Konzentration (N x 5,7) von 6,3 bis 12,5 % entspricht. Batis erreichte Korn-N-Konzentrationen bzw. Korn-Rohprotein-Konzentrationen von 1,0 bis 1,8 % bzw. 5,7 bis 10,3 %. Der Sortenunterschied nahm also mit steigender N-Versorgung zu. Die N-Aufnahme ins Korn nahm ebenfalls bei beiden Sorten mit steigendem N-Angebot zu, eine N-Düngung über 190 kg ha⁻¹ N konnte aber nur noch von Toronto in eine höhere Korn-N-Konzentration und Korn-N-Masse umgesetzt werden. Während in allen Varianten signifikante Sortenunterschiede in der N-Konzentration nachzuweisen waren, konnten Unterschiede im Korn-N-Ertrag zugunsten von Toronto nur in den Varianten mit hohem N-Angebot (180 bis 240 kg ha⁻¹ N) statistisch gesichert werden. Unterschiede zwischen Varianten bei gleicher N-Menge waren bei keiner Sorte nachzuweisen und tendenziell nur in Variante N40/30/60/110 bei Toronto erkennbar.

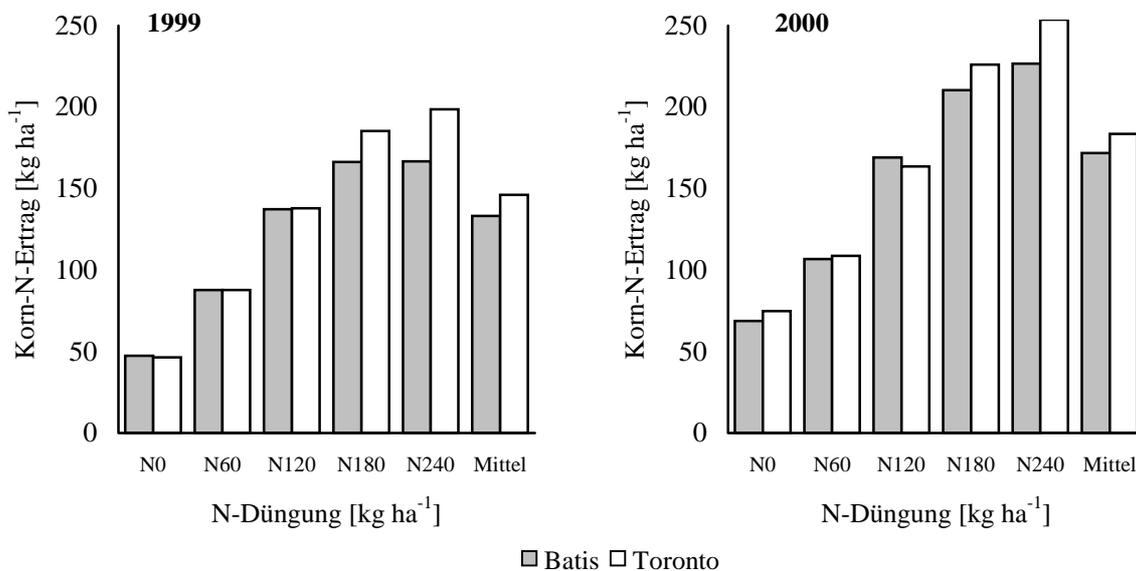


Abb. 12: Korn-N-Ertrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Im Versuchsjahr 2000 (Tab. 36) variierte die Korn-N-Konzentration bzw. Korn-Rohprotein-Konzentration bei Toronto von 1,5 bis 2,4 % bzw. 7,2 bis 13,7 %, während Batis etwas geringere Werte von 1,4 bis 2,3 % bzw. 7,1 bis 13,1 % erreichte. Die Sortenunterschiede fielen nur in der Kontrolle (N0/0/0/0) und bei hohem N-Angebot (180 bis 240 kg ha⁻¹ N) signifikant aus. Eine N-Menge von über 190 kg ha⁻¹ konnte wie im ersten Versuchsjahr die Korn-N-Konzentration von Batis nicht mehr signifikant erhöhen. Bei gleicher N-Menge zeigte sich bei keiner Sorte ein gesicherter Unterschied zwischen den Varianten. Nur bei Batis war in Variante N40/30/60/80 eine erhöhte Korn-N-Konzentration tendenziell erkennbar. Bei beiden Sorten erhöhte sich mit ansteigender N-Düngung auch der Korn-N-Ertrag. Toronto

erreichte in allen Varianten mit hohem N-Angebot (180 bis 240 kg ha⁻¹ N) einen signifikant höheren Korn-N-Ertrag als Batis. Unterschiede zwischen den Varianten bestanden bei gleicher N-Menge nicht. Eine N-Düngung von über 190 kg ha⁻¹ führte bei keiner Sorte zu signifikanten Zunahmen. In der Tendenz akkumulierten beide Sorten in Variante N40/30/60/110 die höchste Korn-N-Masse.

Tab. 35: N-Konzentration [%] und N-Ertrag [kg ha⁻¹] von Korn und Stroh in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | Korn-N-Konzentration | Korn-N-Ertrag | Stroh-N-Konzentration | Stroh-N-Ertrag |
|---------------|---------------|--------|----------------------|---------------|-----------------------|----------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 1,0 a* | 47 a | 0,4 a | 12 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,1 b* | 83 b | 0,4 ab | 26 ab* |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,2 c* | 93 b | 0,4 abc | 24 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,5 d* | 137 c | 0,7 cd | 41 bc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,5 d* | 138 c | 0,6 bcd | 37 bc* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 1,8 e* | 166 d* | 0,9 e* | 68 de* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,8 e* | 167 d* | 0,8 de* | 51 cd |
| | N40/40/80/80 | 240 | 1,8 e* | 169 d* | 1,0 f | 79 ef |
| | N40/30/60/110 | 240 | 1,8 e* | 170 d* | 1,0 ef* | 66 def |
| N80/40/40/80 | 240 | 1,8 e* | 163 d* | 1,1 f* | 95 f | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 1,1 a* | 46 a | 0,4 a | 12 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,2 a* | 85 b | 0,4 a | 22 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,3 b* | 90 b | 0,4 a | 23 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,6 c* | 141 c | 0,5 ab | 34 bc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,6 c* | 135 c | 0,5 ab | 31 abc |
| | N40/40/50/60 | 190 | 2,0 d* | 182 d* | 0,8 ab* | 61 de |
| | N40/0/60/80 | 180 | 2,0 d* | 188 d* | 0,7 ab* | 45 cd |
| | N40/40/80/80 | 240 | 2,2 e* | 196 de* | 1,0 b | 79 ef |
| | N40/30/60/110 | 240 | 2,3 e* | 208 e* | 0,9 ab* | 73 ef |
| N80/40/40/80 | 240 | 2,2 e* | 189 de* | 1,0 b* | 83 f | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 1,1 a | 47 a | 0,4 a | 12 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,1 a | 84 b | 0,4 a | 24 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,2 b | 91 b | 0,4 a | 23 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,6 c | 139 c | 0,6 b | 37 cd |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,6 c | 137 c | 0,6 b | 34 bc |
| | N40/40/50/60 | 190 | 1,9 d | 174 d | 0,9 d | 65 ef |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,9 d | 178 d | 0,7 c | 48 de |
| | N40/40/80/80 | 240 | 2,0 d | 183 de | 1,0 e | 79 g |
| | N40/30/60/110 | 240 | 2,1 d | 189 e | 1,0 e | 69 fg |
| N80/40/40/80 | 240 | 2,0 d | 176 de | 1,0 e | 89 h | |
| Bat Mittel | | | 1,6 a | 133 a | 0,7 a | 50 a |
| Tor Mittel | | | 1,8 b | 146 b | 0,7 a | 46 b |
| Mittel Mittel | | | 1,7 | 140 | 0,7 | 48 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,011 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | <0,001 | <0,001 | 0,129 | 0,186 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Stroh

Sortenunterschiede konnten in beiden Versuchsjahren sowohl in der N-Konzentration als auch in der N-Akkumulation des Strohs nachgewiesen werden (Tab. 35 und Tab. 36). Im zweiten Versuchsjahr, in dem auch eine signifikante Wechselwirkung Sorte x N-Düngung nachzuweisen war, fielen die N-Konzentrationen im Stroh etwas höher aus als im Versuchsjahr 2000. Dies führte bei annähernd gleichen Stroherträgen (Tab. 29 und Tab. 30) zu einem insgesamt höheren Stroh-N-Ertrag im zweiten Versuchsjahr (Abb. 13).

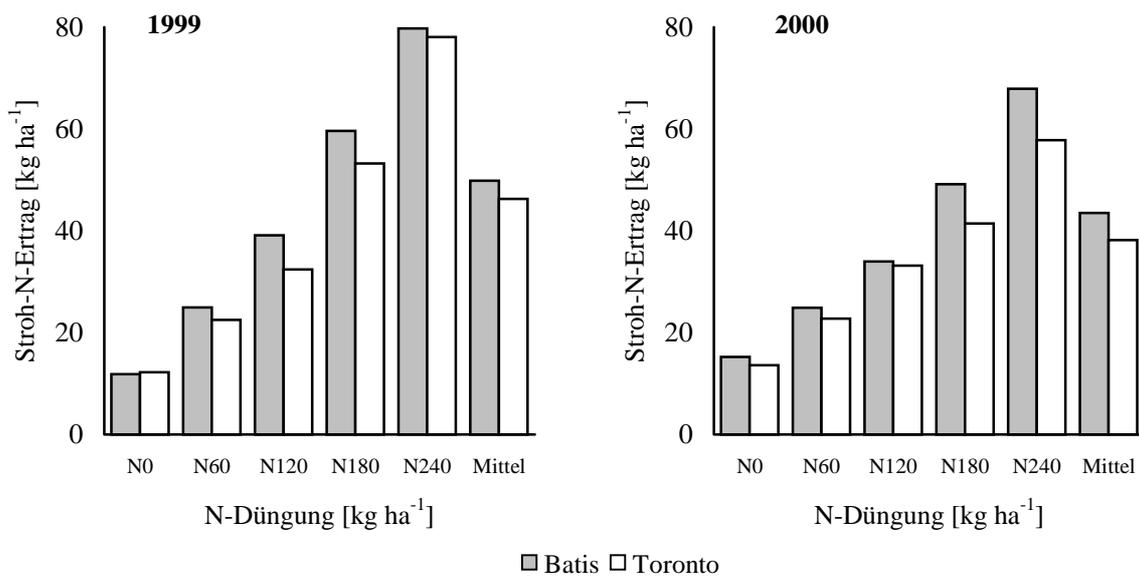


Abb. 13: Stroh-N-Ertrag in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Batis wies in beiden Versuchsjahren in allen geprüften Varianten eine höhere N-Aufnahme ins Stroh auf als Toronto, was allerdings nur in einigen Fällen statistisch gesichert werden konnte. Die höhere N-Konzentration im Stroh von Batis konnte dagegen vor allem im ersten Versuchsjahr in fast allen Varianten mit hohem N-Angebot (180 bis 240 kg ha⁻¹ N) gesichert werden, war aber auch im Versuchsjahr 2000 tendenziell vorhanden. Mit steigendem N-Angebot nahmen N-Konzentration und N-Masse im Stroh signifikant zu. Dies führte gleichzeitig, vor allem im zweiten Versuchsjahr, zu einer Erhöhung des Sortenunterschiedes. Tendenziell führte eine stärker anfangsbetonte Verteilung der N-Düngung bei beiden Sorten zu höheren N-Konzentrationen und höheren N-Massen im Stroh (vgl. N30/30/30/30, N40/40/50/60 und N40/40/80/80 bzw. N80/40/40/80 mit N30/0/60/30, N40/0/60/80 und N40/30/60/110).

Tab. 36: N-Konzentration [%] und N-Ertrag [kg ha⁻¹] von Korn und Stroh in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | Korn-N-Konzentration | Korn-N-Ertrag | Stroh-N-Konzentration | Stroh-N-Ertrag |
|---------------|---------------|--------|----------------------|---------------|-----------------------|----------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | 1,4 a* | 69 a | 0,4 a | 15 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,4 a | 102 ab | 0,4 a | 27 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,4 a | 111 b | 0,4 a | 23 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,7 ab | 166 c | 0,5 b | 34 abc* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,8 bc | 172 c | 0,5 b* | 34 abc* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 2,1 c | 212 d | 0,7 c | 54 cde |
| | N40/0/60/80 | 180 | 2,1 c* | 209 d* | 0,6 c | 44 bcd |
| | N40/40/80/80 | 240 | 2,2 c* | 224 d* | 0,8 d* | 65 de* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 2,3 c* | 236 d* | 0,9 d* | 66 e |
| N80/40/40/80 | 240 | 2,2 c* | 217 d* | 0,9 d | 72 e | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | 1,5 a | 75 a | 0,4 a | 14 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,4 a | 105 ab | 0,4 a | 26 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,5 a | 112 b | 0,4 a | 20 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,7 a | 158 c | 0,6 ab | 39 bc* |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,8 a | 169 c | 0,4 a* | 28 ab* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 2,2 b | 224 d | 0,6 ab | 46 cd |
| | N40/0/60/80 | 180 | 2,2 b* | 228 de* | 0,7 bc | 37 b |
| | N40/40/80/80 | 240 | 2,5 b* | 258 de* | 0,7 bc* | 55 de* |
| | N40/30/60/110 | 240 | 2,5 b* | 263 e* | 0,7 bc* | 52 cde |
| N80/40/40/80 | 240 | 2,4 b* | 245 de* | 0,8 c | 66 e | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | 1,4 a | 72 a | 0,4 a | 14 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 1,4 a | 104 b | 0,4 a | 26 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,4 a | 112 b | 0,4 a | 21 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,7 b | 162 c | 0,5 bc | 36 bc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,8 b | 171 c | 0,5 bc | 31 bc |
| | N40/40/50/60 | 190 | 2,1 c | 218 d | 0,6 cd | 50 de |
| | N40/0/60/80 | 180 | 2,1 c | 219 d | 0,7 de | 41 cd |
| | N40/40/80/80 | 240 | 2,3 d | 241 de | 0,8 d | 60 ef |
| | N40/30/60/110 | 240 | 2,4 d | 249 e | 0,8 d | 59 ef |
| N80/40/40/80 | 240 | 2,3 d | 231 de | 0,8 d | 69 f | |
| Bat | Mittel | | 1,8 a | 172 a | 0,6 a | 44 a |
| Tor | Mittel | | 2,0 b | 184 b | 0,6 a | 38 b |
| Mittel | Mittel | | 1,9 | 178 | 0,6 | 41 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | 0,002 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,009 | <0,001 | <0,001 | 0,017 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

4.3.2 N-Ausnutzung und Effizienz der N-Verwertung

Die N-Effizienz wurde anhand der Merkmale N-Ausnutzung der Düngung für Spross-N-Masse und Korn-N-Masse (= Effizienz der Umsetzung der N-Düngung in Spross-N und Korn-N), N-Verwertungseffizienz für Sprosstrockenmasse und Kornertrag sowie dem N-Ernteindex untersucht (Tab. 37 und Tab. 38). Die Effizienz der Umsetzung der N-Düngung

in Spross-N-Masse wurde nach der Differenzmethode [(Spross-N-Masse – Spross-N-Masse von N0/0/0/0) / N-Düngung] berechnet. Analog wurde die Ausnutzungsrate der N-Düngung durch das Korn ermittelt. Für die Ermittlung der N-Verwertungseffizienz für die Trockenmasse- bzw. Kornertragsbildung wurde die Sprosstrockenmasse bzw. der Kornertrag ins Verhältnis zur Spross-N-Masse gesetzt. Für die Beurteilung der N-Verwertungseffizienz für den Korn-N-Ertrag wurde der N-Ernteindex [Korn-N-Masse / Spross-N-Masse] herangezogen.

Ausnutzung der N-Düngung

Toronto wies in beiden Versuchsjahren eine höhere Ausnutzung der N-Düngung auf als Batis (Tab. 37 und Tab. 38). Teilweise konnten Wechselwirkungen Sorte x N-Düngung festgestellt werden (Tab. 37 und Tab. 38). Vor allem im ersten Versuchsjahr (Tab. 37) wurde bei den meisten Varianten eine sehr hohe N-Ausnutzung durch den Spross gefunden. Deutliche Unterschiede in Abhängigkeit der N-Düngung wurden dagegen nicht festgestellt. In Variante N60/0/0/0 wurde tendenziell die geringste N-Ausnutzung beider Sorten ermittelt. Toronto wies bei hohem N-Angebot ($240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) nahezu unverändert hohe N-Ausnutzungsraten auf, während dies bei Batis zu einem erkennbaren Rückgang der N-Ausnutzung führte. Im Versuchsjahr 2000 (Tab. 38) lag die Ausnutzung der N-Düngung aufgrund des insgesamt höheren N-Angebotes erkennbar niedriger. Deutliche Unterschiede zwischen den Varianten konnten auch in diesem Versuchsjahr nicht festgestellt werden. Während die geringsten Werte in den Varianten N60/0/0/0 und N0/60/0/0 festzustellen waren, lag bei höherer N-Menge eine erkennbar bessere N-Ausnutzung vor.

Die N-Ausnutzung durch das Korn wies bei beiden Sorten bis zu einer N-Düngung von $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ nur wenige deutliche Unterschiede auf. Im ersten Versuchsjahr zeigte sich bei gleicher N-Menge eine Differenzierung nur bei Batis in Variante N0/60/0/0, die gegenüber Variante N60/0/0/0 mit einer deutlich höheren N-Ausnutzung verbunden war. Bei höherer N-Düngung waren bei beiden Sorten die Varianten N40/0/60/80 und N40/30/60/110 gegenüber den Varianten N40/40/50/60 und N40/40/80/80 im Vorteil.

Tab. 37: N-Ausnutzung durch Spross und Korn [$\text{kg N kg}^{-1}\text{N}$], Effizienz der N-Verwertung durch Biomasse (N-Verwertung Spross) und Kornertrag (N-Verwertung Korn) [$\text{kg kg}^{-1}\text{N}$] und N-Ernteindex sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 1999

| Sorte | Behandlung | Ges. | N-Ausnutzung Spross | N-Ausnutzung Korn | N-Verwertung Spross | N-Verwertung Korn | N-Ernteindex |
|---------------|---------------|--------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | - | - | 119 a | 62 a* | 0,784 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,81 a | 0,54 a | 120 a | 56 b* | 0,739 abc |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,04 a | 0,78 b | 103 b | 53 b | 0,768 ab |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,08 a | 0,79 b | 80 c | 41 c | 0,753 abc |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,07 a | 0,81 b | 83 c* | 43 c* | 0,769 ab* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 1,04 a | 0,70 b* | 67 d* | 33 d* | 0,703 cd |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,02 a | 0,75 b* | 67 d | 35 d* | 0,754 abc |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,82 a* | 0,52 a* | 63 d* | 30 e* | 0,675 de |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,81 a* | 0,56 a* | 65 d* | 32 de* | 0,714 bc |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,95 a | 0,56 a* | 62 d* | 28 e* | 0,637 e* | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | - | - | 116 a | 56 a* | 0,763 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,90 a | 0,67 a | 116 a | 54 ab* | 0,756 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,13 a | 0,88 d | 103 b | 51 b | 0,772 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,03 a | 0,79 bc | 80 c | 40 c | 0,768 ab |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,08 a | 0,87 d | 78 c* | 40 c* | 0,789 a* |
| | N40/40/50/60 | 190 | 1,18 a | 0,84 cd* | 61 d* | 28 d* | 0,726 b |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,14 a | 0,90 d* | 64 d | 33 d* | 0,780 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 1,08 a* | 0,73 a* | 57 d* | 26 e* | 0,698 c |
| | N40/30/60/110 | 240 | 1,12 a* | 0,80 b* | 56 d* | 27 e* | 0,724 b |
| N80/40/40/80 | 240 | 1,10 a | 0,73 a* | 58 d* | 25 e* | 0,683 c* | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | - | - | 117 a | 59 a | 0,774 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,85 a | 0,60 a | 118 a | 55 b | 0,747 ab |
| | N0/60/0/0 | 60 | 1,09 a | 0,83 c | 103 b | 52 b | 0,770 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,06 a | 0,79 bc | 80 c | 40 c | 0,760 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,08 a | 0,84 c | 80 c | 41 c | 0,779 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 1,11 a | 0,77 bc | 64 d | 31 de | 0,715 bc |
| | N40/0/60/80 | 180 | 1,08 a | 0,83 c | 66 d | 34 d | 0,767 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,95 a | 0,63 a | 60 d | 28 e | 0,687 cd |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,96 a | 0,68 ab | 60 d | 29 ef | 0,719 bc |
| N80/40/40/80 | 240 | 1,03 a | 0,64 a | 60 d | 26 f | 0,660 d | |
| Bat | Mittel | | 0,96 a | 0,67 a | 83 a | 41 a | 0,730 a |
| Tor | Mittel | | 1,08 b | 0,80 b | 79 b | 38 b | 0,746 b |
| Mittel | Mittel | | 1,02 | 0,73 | 81 | 40 | 0,738 |
| Sorte (S) | | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| N-Düngung (N) | | | 0,020 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,090 | <0,001 | 0,288 | 0,037 | 0,039 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, $p = 0,05$)

Die Steigerung der N-Düngung auf $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ war bei beiden Sorten mit einem erkennbaren Rückgang in der N-Ausnutzung verbunden. In allen Varianten mit einem N-Angebot über $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ wies Toronto eine deutlich höhere N-Ausnutzung als Batis auf. Der Sortenunterschied lag bei einem N-Angebot von $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ im Mittel bei 15 % und steigerte sich bei höchster N-Düngung ($240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) auf 23 %. Im Versuchsjahr 2000 war bei beiden Sorten mit steigender N-Düngung bis zu einer N-Menge von $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ eine

Erhöhung der N-Ausnutzung verbunden. Ein Einfluss der N-Verteilung war tendenziell erkennbar. Bei beiden Sorten wiesen die Varianten N30/0/60/30, N40/0/60/80 und N40/30/60/110 gegenüber den Varianten N30/30/30/30, N40/40/50/60 und N40/40/80/80 eine erkennbar höhere N-Ausnutzung auf. Bei einer Steigerung der N-Düngung auf 240 kg ha⁻¹ N war insbesondere Batis von einem Rückgang der N-Ausnutzung betroffen, der zu einem Sortenunterschied von 11 % führte.

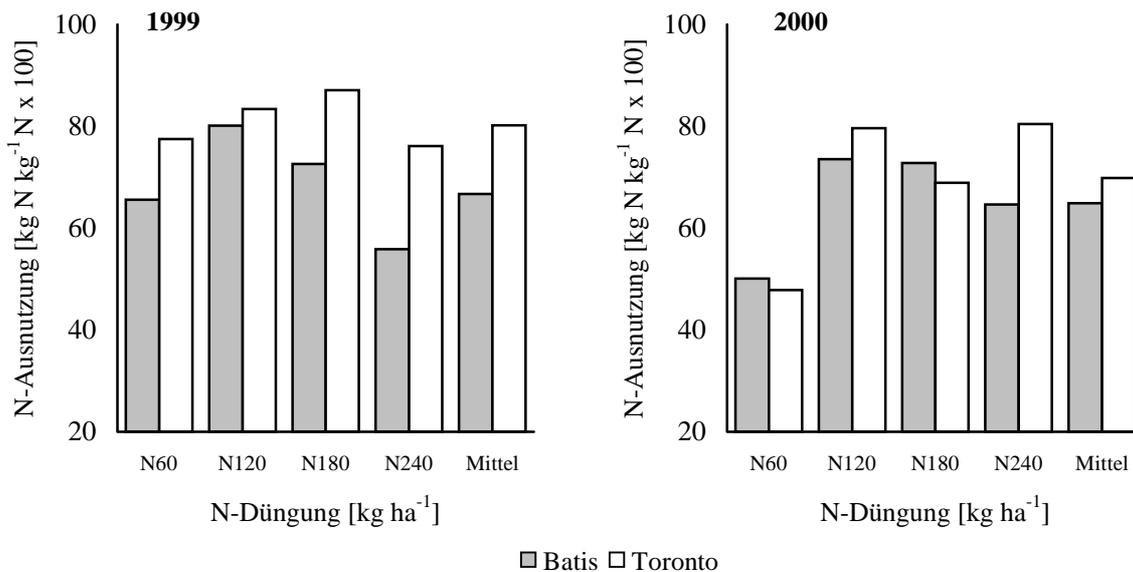


Abb. 14: N-Ausnutzung durch das Korn in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

Effizienz der N-Verwertung

Batis wies in den meisten Fällen nur eine geringfügig höhere N-Verwertung als Toronto auf (Tab. 37 und Tab. 38). Die N-Verwertungseffizienz für die Sprosstrockenmasse nahm mit steigender N-Düngung signifikant ab. Bei gleicher N-Menge unterschieden sich im ersten Versuchsjahr nur die Varianten N60/0/0/0 und N0/60/0/0. Im zweiten Versuchsjahr hatte die N-Verteilung keinen erkennbaren Einfluss auf die N-Verwertungseffizienz. Eine N-Düngung von über 120 kg ha⁻¹ N führte in keinem Versuchsjahr zu weiteren Differenzierungen in der N-Verwertungseffizienz.

Tab. 38: N-Ausnutzung durch Spross und Korn [kg N kg⁻¹ N], Effizienz der N-Verwertung durch Biomasse (N-Verwertung Spross) und Kornertrag (N-Verwertung Korn) [kg kg⁻¹ N] und N-Ernteindex sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten für Haupt- und Wechselwirkungen der Varianzanalyse, 2000

| Sorte | Behandlung | Ges. | N-Ausnutzung Spross | N-Ausnutzung Korn | N-Verwertung Spross | N-Verwertung Korn | N-Ernteindex |
|---------------|---------------|---------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Bat | N0/0/0/0 | 0 | - | - | 119 a | 59 a | 0,748 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,68 a | 0,46 a | 119 a | 56 a | 0,724 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,68 a | 0,55 ab | 118 a | 57 a | 0,762 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,81 a | 0,64 ab | 92 b* | 47 b* | 0,763 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,04 a | 0,83 b | 86 b | 46 b | 0,779 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 0,99 a | 0,74 ab | 72 c | 36 cd | 0,744 a* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,91 a | 0,72 ab | 73 c | 39 c | 0,773 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,84 a | 0,62 ab* | 61 c | 33 d* | 0,740 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,95 a | 0,68 ab* | 59 c | 32 d | 0,722 a* |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,89 a* | 0,62 ab* | 66 c | 33 d | 0,710 a* | |
| Tor | N0/0/0/0 | 0 | - | - | 119 a | 57 a | 0,763 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,80 a | 0,51 a | 112 a | 55 a | 0,717 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,57 a | 0,45 a | 123 a | 57 a | 0,770 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 1,03 a | 0,77 bc | 87 b* | 44 b* | 0,752 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,01 a | 0,82 c | 87 b | 46 b | 0,795 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 1,00 a | 0,77 bc | 71 bc | 37 c | 0,770 a* |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,77 a | 0,61 ab | 77 bc | 36 c | 0,779 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,98 a | 0,75 bc* | 58 c | 31 c* | 0,761 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 1,03 a | 0,83 c* | 62 c | 32 c | 0,792 a* |
| N80/40/40/80 | 240 | 1,05 a* | 0,78 bc* | 61 c | 30 c | 0,748 a* | |
| Mittel | N0/0/0/0 | 0 | - | - | 119 a | 58 a | 0,755 a |
| | N60/0/0/0 | 60 | 0,74 a | 0,48 a | 115 a | 55 a | 0,721 a |
| | N0/60/0/0 | 60 | 0,63 a | 0,50 ab | 121 a | 57 a | 0,766 a |
| | N30/30/30/30 | 120 | 0,92 a | 0,70 abc | 89 b | 45 b | 0,757 a |
| | N30/0/60/30 | 120 | 1,02 a | 0,83 c | 87 b | 46 b | 0,787 a |
| | N40/40/50/60 | 190 | 1,00 a | 0,75 bc | 72 c | 36 c | 0,757 a |
| | N40/0/60/80 | 180 | 0,84 a | 0,66 bc | 75 c | 38 c | 0,776 a |
| | N40/40/80/80 | 240 | 0,91 a | 0,69 bc | 60 d | 32 d | 0,751 a |
| | N40/30/60/110 | 240 | 0,99 a | 0,75 bc | 61 d | 32 d | 0,757 a |
| N80/40/40/80 | 240 | 0,97 a | 0,70 bc | 64 d | 32 d | 0,729 a | |
| Bat | Mittel | | 0,87 a | 0,65 a | 86 a | 44 a | 0,746 a |
| Tor | Mittel | | 0,92 a | 0,70 a | 86 a | 43 b | 0,765 b |
| Mittel | Mittel | | 0,89 | 0,67 | 86 | 43 | 0,755 |
| Sorte (S) | | | 0,275 | 0,557 | 0,547 | 0,002 | 0,002 |
| N-Düngung (N) | | | 0,007 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| S x N | | | 0,542 | 0,075 | 0,250 | 0,215 | 0,090 |

(unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Varianten, Kleinbuchstaben mit * kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Sorten; Tukey-Test, p = 0,05)

Auch die N-Verwertungseffizienz für den Kornertrag nahm bei beiden Sorten mit Erhöhung der N-Düngung signifikant ab. Die N-Verteilung hatte keinen erkennbaren Einfluss. Tendenziell waren aber die Varianten N30/0/60/30, N40/0/60/80 und N40/30/60/110 bei beiden Sorten im Vorteil. In allen Varianten wies Batis eine höhere N-Verwertung für den Kornertrag auf als Toronto. Der Sortenunterschied betrug im Mittel 8 % und nahm mit

steigender N-Düngung geringfügig zu. Im Versuchsjahr 2000 wurde die N-Verwertung für den Kornertrag mit Erhöhung der N-Düngung erkennbar reduziert, wobei bei gleicher N-Menge keine Unterschiede zwischen den Varianten bestanden.

N-Ernteindex

Signifikante Sortenunterschiede im N-Ernteindex (NHI) bestanden in beiden Versuchsjahren (Tab. 37 und Tab. 38). Im zweiten Versuchsjahr lag der NHI im Mittel etwas höher (Abb. 15). Im Versuchsjahr 1999 (Tab. 37) wies Toronto mit Ausnahme der Kontrolle (N0/0/0/0) in allen Varianten einen tendenziell höheren NHI als Batis auf, der Unterschied war allerdings im Mittel der Varianten gering (0,016). Signifikante Sortenunterschiede traten in den Varianten N40/40/50/60, N40/30/60/110 und N80/40/40/80 auf. Der höchste Sortenunterschied war in Variante N80/40/40/80 festzustellen (0,046). Bei beiden Sorten führte eine Erhöhung des N-Angebotes zu einer Abnahme des NHI. Die N-Verteilung hatte bei gleicher N-Menge einen signifikanten Einfluss. Bei beiden Sorten wiesen die Varianten mit schossbetonter Verteilung der N-Düngung einen gesichert höheren NHI auf (vgl. N30/0/60/30, N40/0/60/80 und N40/30/60/110 gegenüber N30/30/30/30, N40/40/50/60 und N40/40/80/80). Im Versuchsjahr 2000 (Tab. 38) erreichte Toronto ebenfalls in den meisten Varianten einen tendenziell höheren NHI als Batis. Am deutlichsten waren die Unterschiede in Varianten mit hohem N-Angebot, in denen auch gesicherte Sortenunterschiede nachgewiesen werden konnten. Auch in diesem Versuchsjahr war ein Einfluss der N-Verteilung in der Tendenz erkennbar.

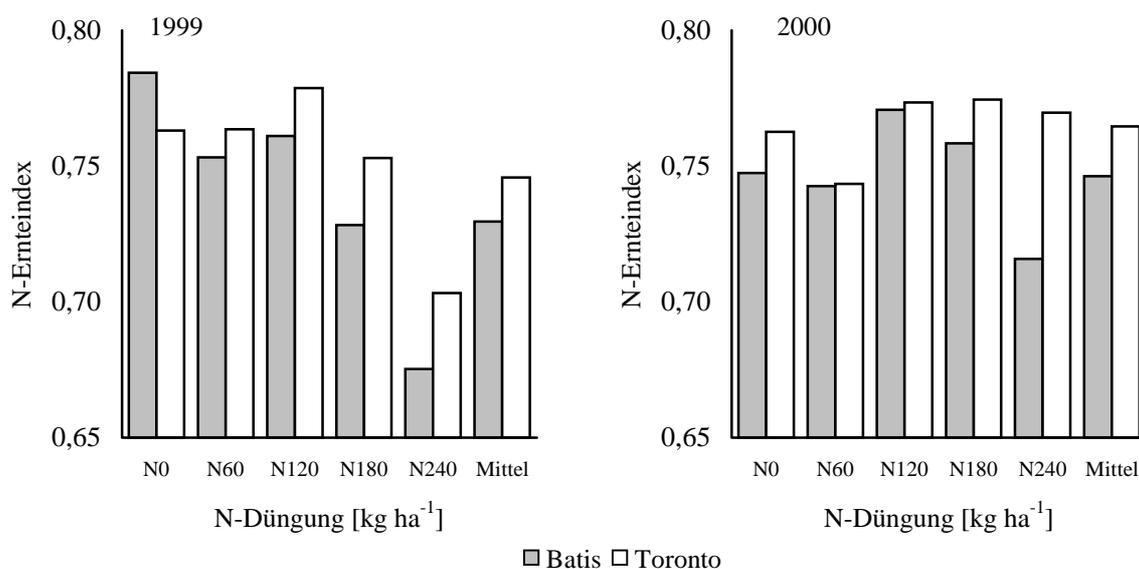


Abb. 15: N-Ernteindex in Abhängigkeit von Sorte und N-Düngung, 1999 und 2000

5 Diskussion

Ertragsbildung und N-Aufnahme

Die Etablierung der Bestände im Herbst erfolgte in beiden Versuchsjahren unter vergleichbaren Bedingungen. Die Anzahl der Nebentriebe je Pflanze wurde in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von DARWINKEL (1983) und SPIERTZ und DE VOS (1983) vor allem durch die Höhe der N-Düngung zu Vegetationsbeginn beeinflusst. Sortenbedingte Unterschiede in der Anlage von Nebentrieben werden zu Beginn der **Bestockungsphase** vor allem durch sortenunterschiedliche Reaktionen auf die Temperatur hervorgerufen, während später bestandesphysikalische Mechanismen stärker in den Vordergrund treten, wie die Ergebnisse von MASLE (1985) und KROPF (1992) zeigten.

In der eigenen Untersuchung bestanden deutliche sortenbedingte Unterschiede im Umfang der Triebeanlage (Tab. 27, Tab. 28 und Abb. 9). Toronto wies bereits ohne ergänzende N-Düngung gegen Ende der Bestockungsphase (EC 30) eine höhere Anzahl Nebentriebe auf als Batis. Eine Zunahme der N-Düngung beeinflusste im Einklang mit den Ergebnisse von FISCHBECK et al. (1992a) sowohl die Trockenmasseproduktion (Abb. 1) als auch die N-Konzentration der Pflanze (Abb. 2 und Abb. 3). VIELEMEYER et al. (1987) konnten zeigen, dass erhöhte N-Aufnahmen in frühen Vegetationsstadien aufgrund der limitierten N-Aufnahmekapazität in erster Linie die Nebentriebeanlage bzw. die Erhaltung bereits angelegter Triebe fördert. Aufgrund der Unterschiede im Umfang der Nebentriebebildung fielen daher in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von FISCHBECK und DENNERT (1998) die Sortenunterschiede in der Entwicklung der Bestandesdichte um so größer aus, je höher die N-Düngung war. Nach den Untersuchungen von MASLE (1985) beeinflusst zusätzlich aufgenommener N weniger die Wachstumsrate von Trieben und Blättern, sondern führt vor allem zu einer Verlängerung der Anlagephase, die die durchschnittliche Triebzahl je Pflanze erhöht. Toronto ist aufgrund seiner höheren Nitratreduktaseaktivität (NRA) (Tab. 25, Tab. 26 und Abb. 8) insbesondere in frühen Vegetationsstadien zu einer schnelleren N-Assimilation befähigt. Der höheren und auch zeitlich früher einsetzenden N-Aufnahme von Toronto dürfte somit die entscheidende Bedeutung bei der sortenunterschiedlichen Ausbildung der Bestockungstriebe zukommen. Im Versuchsjahr 2000 traten die Bestände bedingt durch den milden Winter früher in die Vegetationsperiode ein und waren in Verbindung mit photoperiodischen Entwicklungsverzögerungen (FISCHBECK et al., 1992a) bis zum Beginn der Schossphase (EC 30) deutlich höheren Temperatursummen ausgesetzt

(Tab. 4), die sich auch fördernd auf die Vorgänge der N-Mineralisation im Boden auswirkten (SPÖRL und GRAZ, 1981; LOCHMANN et al., 1989). Die im zweiten Versuchsjahr deutlich höhere PAR während der Bestockungsphase (Tab. 4) dürfte sich ebenfalls fördernd auf die Triebbildung ausgewirkt haben (FRIEND, 1965). Dies führte zu einer erkennbar stärkeren Bestockung der Pflanzen im zweiten Versuchsjahr (Abb. 9), die vermutlich auch zu einem früheren Beginn von Reduktionsvorgängen geführt hat (HARMS, 1982; KROPF, 1992) und die Differenzierungen im Bestockungsverhalten beider Sorten zum Stadium EC 30 daher weniger deutlich erscheinen ließen. Die Nebentriebentwicklung in den weiteren Vegetationsphasen beider Versuchsjahre zeigte eindeutig, dass sortenbedingte Unterschiede für den Umfang der Reduktionsprozesse nicht von Bedeutung waren (Tab. 27, Tab. 28, Tab. 33 und Tab. 34).

Durch die höhere Nebentriebanlage entwickelte Toronto zumindest während der Bestockungsphase ein dichteres Wurzelsystem, was durch einmalig zum Stadium EC 30 durchgeführte Beprobungen ausgewählter Varianten mit der Bruchflächenmethode (BÖHM, 1979) in beiden Versuchsjahren festgestellt wurde (Daten nicht dargestellt). Toronto war hierdurch möglicherweise in der Lage, trotz der noch ungenügenden Wurzelentwicklung während der frühen Vegetationsstadien (FISCHBECK et al., 1992a) in der Bodenlösung verfügbaren NO_3^- -N schneller zu erschließen. WIESLER und HORST (1994) wiesen bei ihren Versuchen mit Maissorten einen Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Wurzellängendichte und der N-Aufnahmeleistung nach. Der rasche Aufbau eines dichten und gleichmäßigen Wurzelsystems kann die NO_3^- -Aufnahme begünstigen, wenn der Transport zur Wurzel limitierend für die Aufnahme wird, wie die Ergebnisse von FISCHER (1981) und KAGE (1997) zeigten. Dies ist vor allem dann zu vermuten, wenn ein größerer Anteil des NO_3^- -N-Transports zur Wurzeloberfläche nicht über Massenfluss, sondern über Diffusion erfolgt, wie verschiedene Arbeiten gezeigt haben (STREBEL et al., 1980; BARRACLOUGH, 1986; STREBEL und DUYNISVELD, 1989). Eine weitergehende Untersuchung der Wurzelsysteme beider Sorten konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Zusätzliche Untersuchungen müssten klären, inwieweit die Wurzelsysteme von Batis und Toronto genotypischen Differenzierungen unterliegen und zu sortenbedingten Unterschieden in der NO_3^- -Aufnahme beitragen könnten, wie es andere Arbeiten aufgezeigt haben (BRAUN und FISCHBECK, 1975; COX et al., 1985b; WIESLER, 1991; LE GOUIS et al., 2000).

HEYLAND und KNOPF (1980) und FISCHBECK et al. (1992a) zeigten, dass für die N-Aufnahme während der Bestockungsphase weniger das N-Angebot im Boden als die

N-Aufnahmekapazität der Pflanze einen limitierenden Faktor darstellt. Durch frühzeitige Steigerung des Biomasseertrages erhöht sich die N-Aufnahmekapazität, was in der Regel zu einer höheren Akkumulation von N in der oberirdischen Biomasse führt (LÖFFLER und BUSCH, 1982; PACCAUD et al., 1985; FEIL, 1987). Spätestens mit Beginn der Schossphase werden durch N-Düngung hervorgerufene Differenzierungen in der N-Aufnahme erkennbar (HEYLAND und KNOFF, 1980; FISCHBECK et al., 1992a). Genotypische Unterschiede in der Bestandesentwicklung in früheren Vegetationsphasen sind bislang nur in wenigen Fällen aufgezeigt worden (SCHNUG und STRAMPE, 1988; VIEDT, 1991; GÖHLICH, 1996). In Übereinstimmung mit diesen Ergebnissen konnten im ersten Versuchsjahr während der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) keine sortenbedingten Unterschiede in der N-Akkumulation festgestellt werden (Tab. 12). Toronto wies zwar bereits zu Schossbeginn (EC 30) eine höhere N-Konzentration in der Biomasse auf (Tab. 11). Da Batis auf eine Erhöhung der N-Düngung zu Vegetationsbeginn mit einer erkennbar höheren Zunahme des Trockenmassertrages reagierte, wurde die aufgenommene N-Menge stärker verdünnt, wodurch sich eine geringere N-Konzentration in der Biomasse von Batis ergab (Tab. 11 und Tab. 13). Im Versuchsjahr 2000 wies Toronto bereits zum Ende der Bestockungsphase (EC 30) sowohl eine höhere N-Aufnahme als auch einen höheren Trockenmassertrag auf. Trotz des Verdünnungseffektes wies Toronto aber wie auch im Vorjahr regelmäßig eine höhere N-Konzentration auf. Die Erhöhung der N-Aufnahme mit zunehmender N-Düngung fiel aber deutlich geringer aus als der Effekt auf die Trockenmassebildung. Der geringere Einfluss der N-Startgabe zu Vegetationsbeginn beruhte zum einen auf der witterungsbedingt höheren N-Freisetzung des Bodens, zum anderen dürfte er aber auch in Zusammenhang stehen mit der deutlich fortgeschritteneren Pflanzenentwicklung. Beide Sorten verfügten vermutlich über ein insgesamt besser entwickeltes Wurzelsystem und dürften bereits zu einem frühen Zeitpunkt höhere N-Mengen aufgenommen haben. Hierauf deutet auch der Verlauf der N-Aufnahme in den ungedüngten Pflanzen hin (Tab. 12 und Tab. 14). Im Gegensatz zum Vorjahr unterschied sich der Einfluss der N-Düngung auf die Steigerung der N-Aufnahme bei beiden Sorten nur unwesentlich. Allerdings ließ Batis wie auch im Vorjahr zu diesem Entwicklungsstadium eine stärkere Reaktion der N-Düngung auf die Steigerung der Trockenmasseproduktion erkennen. Aufgrund der geringeren N-Konzentration von Batis in den ungedüngten Pflanzen wirkte sich zusätzlicher N entsprechend stärker auf die Trockenmassebildung aus.

Aufgrund des intensiven Pflanzenwachstums zwischen Schossen und Blüte und dem entsprechend hohen N-Bedarf liegen in diesen Entwicklungsabschnitten die höchsten

N-Aufnahmeraten vor (HEYLAND und KNOPF, 1980). Zwischen dem Beginn der **Schossphase** und dem Ährenschieben wird dabei unabhängig von der N-Düngung die höchste N-Masse akkumuliert (FISCHBECK et al., 1992a). Da mit fortschreitender Vegetationsdauer die Biomasseproduktion schneller zunimmt als die N-Akkumulation (HARPER et al., 1987), sinkt die N-Konzentration in der oberirdischen Biomasse (Verdünnungseffekt) (ELLEN und SPIERTZ, 1980; GREENWOOD et al., 1990; FISCHBECK et al., 1992a), was durch die eigenen Ergebnisse bestätigt wird.

Spätestens gegen Ende der Schossphase traten die genotypischen Unterschiede im Verlauf der N-Akkumulation deutlich hervor. Bereits während der frühen Schossphase (EC 30 und EC 32) deutete sich bei hohem N-Angebot eine erkennbare Zunahme des Sortenunterschiedes in der N-Aufnahme (Tab. 12 und Tab. 14) zugunsten von Toronto an, die im Versuchsjahr 1999 überwiegend auf den Differenzierungen der N-Konzentration dieser Sorte beruhte und im Versuchsjahr 2000 zumindest teilweise auch in Zusammenhang mit der höheren Biomasseproduktion von Toronto in dieser Vegetationsphase gesehen werden muss. Vor allem das Versuchsjahr 1999 zeigte zudem, dass der Effekt der höheren N-Aufnahme von Toronto nur bei einem höheren N-Angebot deutlich hervortritt. Zwar wies Toronto in der frühen Schossphase im Mittel eine höhere tägliche N-Aufnahmerate auf (Tab. 15), bei geringerem N-Angebot (N0/0/0/0, N30/0/60/30, N40/0/60/80) fiel die tägliche N-Aufnahme von Toronto aber erkennbar geringer aus als bei Batis. Möglicherweise waren die teilweise erheblich dichteren Bestände von Toronto (Tab. 27) durch das limitierte N-Angebot des Bodens in ihrer N-Aufnahme bereits eingeschränkt, während sich bei ausreichender Verfügbarkeit von N so gut wie keine Einschränkung der N-Aufnahme ergab und die Bestände eine entsprechend hohe N-Menge assimilieren konnten. Im zweiten Versuchsjahr war die Sortendifferenzierung in dieser Hinsicht nicht eindeutig. Hierbei sind die insgesamt sehr günstigen Wachstums- und Entwicklungsbedingungen des zweiten Versuchsjahres zu berücksichtigen (Tab. 3 und Tab. 4), die beiden Sorten zugute kam und das Auftreten charakteristischer Sortenunterschiede, wie sie von FISCHBECK und DENNERT (1998) gezeigt wurden, möglicherweise auf frühere Vegetationsphasen verlagerte.

Die Sortenunterschiede in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse verringerten sich im weiteren Vegetationsverlauf vor allem bei geringer und mittlerer N-Versorgung, blieben aber bei hohem N-Angebot bis zur Milchreife deutlich erkennbar (Tab. 11 und Tab. 13). Die Unterschiede in der N-Konzentration haben in dieser Entwicklungsphase ihren Grund vor allem darin, dass Toronto die N-Aufnahme mit Erhöhung der N-Düngung deutlich stärker

steigerte als Batis, während die Steigerung der Trockenmasseproduktion bei beiden Sorten ähnlich verlief. Unter den günstigen Bedingungen des zweiten Versuchsjahres wies Toronto allerdings bereits gegen Ende der Schossphase auch eine erkennbar höhere Trockenmassbildung mit zunehmender N-Düngung auf als Batis (Tab. 8).

Der hohe N-Bedarf der Pflanzen sowie ablaufende Immobilisierungsvorgänge (FISCHBECK et al., 1990; BÄNZIGER, 1992; RECOUS und MACHET, 1999) führen häufig bereits gegen Ende der Schossphase zu einer deutlichen Reduktion der NO_3^- -N-Vorräte im Boden (FISCHBECK et al., 1992a; RETZER, 1995; GÖHLICH, 1996) und wirken zunehmend begrenzend auf die N-Aufnahme der Pflanzen (BÄNZIGER, 1992). Weizen ist aber prinzipiell in der Lage, N aus späten N-Düngungsmaßnahmen oder spät mineralisierten N-Reserven des Bodens insbesondere bei ausreichender Bodenfeuchte auch noch in späten Entwicklungsphasen effizient aufzunehmen (SPIERTZ und ELLEN, 1978; BÄNZIGER et al., 1992; FISCHBECK et al., 1992a; FISCHBECK et al., 1997a). Spät applizierter N hat dabei im Allgemeinen nur einen geringen Einfluss auf den Kornertrag (FISCHBECK et al., 1997b), so dass die N-Menge im Korn in der Regel erhöht wird. In den eigenen Versuchen führte ein hohes N-Angebot während der **Kornfüllungsphase** zu einer deutlichen Zunahme des Sortenunterschiedes in der N-Akkumulation der Biomasse wie es auch FISCHBECK und DENNERT (1998) nachweisen konnten. Die höhere N-Aufnahme, die Toronto gegenüber Batis bei hohem N-Angebot aufweist, zeigte sich damit auch in der Abreife und begünstigte die Einlagerung von N in die wachsenden Körner. Hierbei bestand eine deutliche Korrelation mit dem Witterungsverlauf. Im ersten Versuchsjahr reagierte Toronto auf das verbesserte N-Angebot nach der Spätdüngung gegenüber Batis annähernd mit einer Verdopplung der täglichen Trockenmasseproduktion (Tab. 9), die auch zu entsprechenden Differenzierungen in der N-Akkumulation bis zur Blüte führte (Tab. 12). Im zweiten Versuchsjahr dagegen ermöglichte ein deutlich ausgeglichenerer Witterungsverlauf in dieser Entwicklungsphase, dass Batis seinen bis dahin bestehenden Entwicklungsrückstand gegenüber Toronto ausgleichen konnte. Die hieraus resultierende höhere N-Akkumulation reichte allerdings nicht aus, den stärkeren Rückgang in der N-Konzentration von Batis zu kompensieren.

Bis zur Blüte werden häufig zwischen 70 und 90 % des zur Reife in der Weizenpflanze akkumulierten N aufgenommen (AUSTIN et al., 1977b; SIMMONS und MOSS, 1978; LOFFLER et al., 1985; VAN SANFORD und MACKOWN, 1987; HEITHOLT et al., 1990; BERTHOLDSSON und STOY, 1995a). Für die nachblütliche N-Aufnahme sind verschiedentlich genotypische Unterschiede nachgewiesen worden (AUSTIN et al., 1977b;

COX et al., 1985b; MI et al., 2000) und waren auch in den eigenen Untersuchungen erkennbar (Tab. 15 und Tab. 16). Toronto nahm in beiden Versuchsjahren nach der Blüte im Mittel der Varianten noch 26 % der bis zur Reife akkumulierten N-Masse auf (Tab. 12 und Tab. 14), während der restliche N-Bedarf der wachsenden Körner durch Translokation aus den vegetativen Organen gedeckt wurde. Im ersten Versuchsjahr führte die höhere Kornertragsleistung von Batis (Tab. 29, Abb. 10) zu einer etwas höheren nachblütlichen N-Aufnahme gegenüber Toronto. Im zweiten Versuchsjahr, in dem Batis und Toronto bei hohem N-Angebot ähnliche Ertragsleistungen erzielten (Tab. 30, Abb. 10), verringerte sich der Sortenunterschied aber deutlich. Für beide Sorten war N aus der vegetativen Biomasse somit die wichtigste N-Quelle während der Kornfüllungsphase. Die Differenzierungen in der Einlagerung von N in die wachsenden Körner (Tab. 35 und Tab. 36) fielen geringer aus als die der Akkumulation von Korn-Biomasse (Tab. 29 und Tab. 30). Toronto konnte in beiden Versuchsjahren und nahezu allen geprüften Varianten einen höheren Anteil des N-Bedarfs für die wachsenden Körner aus der Remobilisation von Vorblüten-N decken. Dies ist allerdings nicht ausschliesslich auf die Differenzierungen der vorblütlichen N-Aufnahme zurückzuführen, denn Toronto war offensichtlich in der Lage, den in der vegetativen Biomasse gespeicherten N zusätzlich mit höherer Effizienz zu mobilisieren und in die Körner zu verlagern (Tab. 37 und Tab. 38). Lediglich in der ungedüngten Variante, die wie auch in den Untersuchungen von FISCHBECK und DENNERT (1998) regelmäßig eine höhere N-Akkumulation gegenüber Toronto aufzeigte (Tab. 12 und Tab. 14), ergab sich tendenziell ein Vorteil von Batis in der N-Mobilisation. Eine Verbesserung des N-Status der Pflanze verzögert im Allgemeinen den Eintritt in die Seneszenzphase. In der Folge bleibt die Photosynthesekapazität länger erhalten (SINCLAIR und HORIE, 1989; FISCHER, 1993), C-Gerüste und Reduktionsäquivalente stehen länger zur Verfügung und aus der vegetativen Biomasse remobilisierter N kann mit geringeren Verlusten in translozierbare N-Verbindungen eingebaut werden, wie die Ergebnisse von SCHJØRRING (1991) und HOLTAN-HARTWIG und BOCKMANN (1994) zeigten. Die Mobilisation von N aus vegetativen Organen ist neben externen Faktoren wie die Verfügbarkeit von N und Wasser (ENGELS und MARSCHNER, 1995) auch von genotypischen Eigenschaften abhängig, wie u.a. die Ergebnisse von VAN SANFORD und MACKOWN (1987) und ISFAN et al. (1991) gezeigt haben. Neben sortenspezifischen Differenzierungen der Nitratreduktaseaktivität (DALLING et al., 1975) wurden hierbei Unterschiede in der Aktivität von Blattproteasen nachgewiesen (REED et al., 1980; CREGAN und VAN BERKUM, 1984; OURRY et al., 1989). Daneben wird die N-Mobilisation aber vor allem von Differenzierungen der „Sink“-Aktivität der wachsenden

Körner beeinflusst (MACKOWN et al., 1992; PUGNAIRE und CHAPIN, 1992; FELLER und FISCHER, 1994). Insgesamt trug bei Toronto mobilisierter Vorblüten-N in beiden Versuchsjahren im Mittel zu knapp 68 % zum Korn-N-Ertrag bei, bei Batis lag der Anteil mit 56 % (1999) bzw. 63 % (2000) deutlich niedriger. Mit steigender N-Versorgung nahm der Beitrag der Vorblüten-Reserven zum Korn-N-Ertrag grundsätzlich ab, weil den Pflanzen deutlich mehr NO_3^- -N während der späten Vegetationsphase zur Aufnahme über die Wurzel zur Verfügung stand und die über die höheren Trockenmassezunächse angedeutete höhere Photosynthesekapazität eine entsprechend höhere NO_3^- -Assimilation zuließ (SINCLAIR und HORIE, 1989; FISCHER, 1993). In den ungedüngten Pflanzen fiel die Mobilisierung von Vorblüten-N in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von BERTHOLDSSON und STOY (1995a) geringer aus. Hier stammen im Mittel 50 % (1999) bzw. 60 % (2000) des Korn-N aus Vorblüten-Reserven, wobei Batis einen geringfügig höheren Anteil aufwies als Toronto.

N-Metabolismus und Biomasseentwicklung

Unter den vorliegenden Standortbedingungen wird der von den Pflanzen benötigte N überwiegend in Form von NO_3^- aufgenommen (RETZER, 1995). NO_3^- -N wird bei hohem N-Angebot nur teilweise in der Wurzel reduziert, sondern zu einem erheblichen Anteil über das Xylem in den Spross verlagert (BEEVERS und HAGEMAN, 1969; ANDREWS, 1986; CRAMER und LEWIS, 1993). Übersteigt die NO_3^- -N-Aufnahme die Assimilationskapazität bzw. den Bedarf der Pflanze an reduziertem N, wird NO_3^- -N vorwiegend in den Vakuolen akkumuliert (JUSTES et al., 1994). Dies kann unter Bedingungen hoher N-Mineralisierung oder als Folge einer N-Düngungsmaßnahme der Fall sein (SATTELMACHER et al., 1994). Bei späterem N-Mangel kann NO_3^- -N aus den Vakuolen wieder freigesetzt (BARNEIX et al., 1984; RUFTY et al., 1984) und im Cytoplasma reduziert werden (OAKS, 1986; STULEN, 1986; LE VAN QUY et al., 1991).

Da nennenswerte NO_3^- -N-Mengen nur bei hohem N-Angebot (N40/0/60/80; N80/40/40/80) auftraten (Tab. 17, Tab. 19, Abb. 4 und Abb. 5), wird im Folgenden nur auf diese Varianten Bezug genommen. Vermutlich wurde bei geringer N-Düngung bereits ein großer Anteil des aufgenommenen NO_3^- -N in der Wurzel reduziert (ANDREWS, 1986). Die NO_3^- -N-Akkumulation in den Varianten mit hoher N-Versorgung (Tab. 18 und Tab. 20) deutet darauf hin, dass die Assimilationskapazität (BARNEIX et al., 1984; RUFTY et al., 1984; OAKS, 1986) bzw. der N-Bedarf (JUSTES et al., 1994) der Pflanze deutlich überschritten wurde. Offensichtlich ist Toronto in der Lage, den während der frühen

Vegetationsphase angebotenen N schneller als Batis aufzunehmen und zu assimilieren. Dies zeigt die höhere NO_3^- -N-Konzentration und trotz geringerer Trockenmasseerträge höhere NO_3^- -N-Akkumulation von Toronto gegenüber Batis zu Beginn der Schossphase (EC 30). Neben der signifikant höheren N-Konzentration wies aber auch die deutliche höhere Nitratreduktaseaktivität (NRA) von Toronto gegenüber Batis (Tab. 25 und Abb. 8) darauf hin, dass die NO_3^- -Assimilation in diesem frühen Entwicklungsstadium nicht limitierend für die N-Aufnahme gewesen sein dürfte. In vielen Arbeiten wurde gezeigt, dass Unterschiede in der NO_3^- -Reduktion in erster Linie auf Unterschieden in der NO_3^- -Aufnahme zurückzuführen sind (RODGERS und BARNEIX, 1988; IMSANDE und TOURAINE, 1994), während demgegenüber Differenzierungen in der NRA (WILKINSON und CRAWFORD, 1993; LAUERER, 1996) oder der Verfügbarkeit von Reduktionsäquivalenten (WARNER und HUFFAKER, 1989) von untergeordneter Bedeutung sind. Genotypische Unterschiede in der Aufnahmerate für NO_3^- sind in der Literatur vielfach beschrieben (ENGELS und MARSCHNER, 1995). Dabei bleibt allerdings häufig unklar, inwieweit tatsächlich sortenspezifische Mechanismen für Unterschiede in der NO_3^- -Aufnahme verantwortlich sind oder Differenzierungen in der Wachstumsrate für Unterschiede im N-Bedarf und hieraus resultierend in der NO_3^- -Aufnahme sorgen (RODGERS und BARNEIX, 1988; SWIADER et al., 1991; TOURAINE et al., 1994). Die in den eigenen Untersuchungen gefundenen Sortendifferenzierungen in den NO_3^- -N-Konzentrationen der Pflanzen sind möglicherweise auf Unterschiede im Aneignungsvermögen für in der Bodenlösung enthaltenen NO_3^- -N zurückzuführen, was in Zusammenhang mit der sortenunterschiedlichen Ausbildung des Wurzelsystems während der Bestockungsphase stehen könnte, wie es u.a. auch in den Untersuchungen von WIESLER (1991) gezeigt wurde. Die bereits erwähnten Differenzierungen in der Entwicklung des Wurzelsystems dürften Toronto in der Erschließung des NO_3^- -N der Bodenlösung während der Bestockungsphase begünstigt haben. Im zweiten Versuchsjahr traten während dieser Vegetationsphase insgesamt nur geringe NO_3^- -N-Konzentrationen auf, die keine Hinweise auf mögliche Sortenunterschiede erkennen ließen (Tab. 19).

Weitere markante Sortenunterschiede wurden gegen Ende der Schossphase (EC 37) erkennbar. Ab dem Ährenschieben (EC 49) erreichte Batis zu allen Terminen signifikant höhere NO_3^- -N-Konzentrationen im Spross, die während der Kornfüllungsphase auch zu signifikanten Unterschieden in der NO_3^- -N-Akkumulation führten (Tab. 18 und Tab. 20). Eine Ausnahme bildete das Stadium EC 92 im zweiten Versuchsjahr, in dem bei beiden Sorten

praktisch kein NO_3^- -N mehr in der oberirdischen Biomasse nachzuweisen war. Die geringeren Gehalte an reduziertem N in der oberirdischen Biomasse von Batis deuten auf eine insgesamt geringere NO_3^- -N-Assimilation dieser Sorte hin. Anders als während der frühen Vegetationsstadien stehen aber ausreichend verfügbare NO_3^- -N-Reserven zur Verfügung, die mit steigendem N-Angebot deutlich zunahm, ohne dass die Akkumulation von reduziertem N in gleichem Maße gesteigert wurde. Da die Unterschiede in der Trockenmassebildung beider Sorten während der späteren Entwicklungsphase vergleichsweise gering ausfielen (Tab. 7 und Tab. 8), ist anzunehmen, dass beide Sorten keine deutlichen Unterschiede in ihren Photosyntheseleistungen aufwiesen. Möglicherweise nahm aber aufgrund der geringeren N-Konzentration des Sprosses die photosynthetische Aktivität von Batis auch früher ab (FELLER und FISCHER, 1994). Ausreichend NO_3^- -N war offensichtlich noch in der Bodenlösung verfügbar und wurde zumindest teilweise auch aufgenommen, konnte allerdings von Batis in deutlich geringerem Umfang assimiliert werden, so dass schließlich eine mehr als doppelt so hohe NO_3^- -N-Menge akkumulierte (Tab. 18, Tab. 20, Abb. 4 und Abb. 5). Die verringerte NO_3^- -N-Assimilation von Batis während späterer Vegetationsstadien kann verschiedene Ursachen haben. Eine effektive Assimilation von NO_3^- -N ist vor allem eine Frage der ausreichenden Energieversorgung und findet nur bei ausreichender Versorgung mit Kohlenhydraten statt (BEEVERS und HAGEMAN, 1980; ASLAM und HUFFACKER, 1984; ENGELS und MARSCHNER, 1995). Möglicherweise weist Batis gegenüber Toronto bereits zu einem früheren Zeitpunkt Einschränkungen der Photosyntheseaktivität auf, die zu einer verringerten Bereitstellung von Reduktionsäquivalenten und C-Skeletten führte. Die Ergebnisse von KAISER und FÖRSTER (1989) zeigten, dass bereits unter leichten Trockenstressbedingungen sowohl die Photosynthese als auch die Nitratreduktion vermindert sind. Die Sortendifferenzierungen im Kohlenhydrat-Status der Pflanzen ergaben in dieser Hinsicht allerdings keine eindeutigen Hinweise, so dass die Ursachen der sortenspezifischen NO_3^- -Anreicherung in der oberirdischen Biomasse nicht abschließend aufgeklärt werden konnten. Die Speicherung des NO_3^- -N in den Vakuolen des Sprosses bei Überschreiten der Assimilationskapazität der Pflanze bedeutet auch eine räumlichen Trennung von Enzym und Substrat (ENGELS und MARSCHNER, 1995). Inwieweit zwischengespeicherter NO_3^- -N dann später tatsächlich für die NO_3^- -Assimilation verfügbar ist, wird von verschiedenen Faktoren bestimmt. Hierzu gehören neben der Pflanzenart und den Transporteigenschaften des Tonoplasten (BLOM-ZANDSTRA et al., 1990), die Verfügbarkeit anderer mineralischer Anionen (BLOM-ZANDSTRA und LAMPE, 1983) und der Kohlenhydrat-Status der Pflanze, auch der Gehalt an organischen Säuren, die gegen das in den Vakuolen gespeicherte NO_3^- -N

ausgetauscht werden und so die NO_3^- -Verfügbarkeit im Cytoplasma, dem Ort der NO_3^- -Reduktion erhöhen können (STEINGRÖVER et al., 1986). Auch bei hoher NO_3^- -N-Konzentration in der Pflanze und ausreichender Verfügbarkeit von Reduktionsäquivalenten und C-Skeletten aus der aktuellen Photosynthese kann es daher zu einer Abnahme der NO_3^- -N-Reduktion kommen wie u.a. die Ergebnisse von RUFTY et al. (1982) gezeigt haben.

Die Aktivität der NR gilt als der erste und geschwindigkeitsbestimmende Schritt der NO_3^- -Assimilation (BEEVERS und HAGEMAN, 1969) und stand daher bei der Suche nach limitierenden Mechanismen der N-Assimilation im Mittelpunkt zahlreicher Arbeiten (CROY und HAGEMAN, 1970; DECKARD et al., 1973; EILRICH und HAGEMAN, 1973; DALLING et al., 1975; DECKARD et al., 1977; GALLAGHER et al., 1983). Nicht in allen Untersuchungen konnten allerdings eindeutige Zusammenhänge zwischen der NRA und der N-Akkumulation in der Biomasse hergestellt werden (RAO und CROY, 1972; HEITHOLT et al., 1990). Insbesondere während der späteren Vegetationsphase zeigte sich, dass andere Faktoren wie die Assimilationskapazität der Pflanze weitaus stärker beeinflussen als die NRA (SIMMONS und MOSS, 1978; HAGMA, 1979). In den eigenen Untersuchungen wies die NRA nur in den frühen Vegetationsstadien eine genotypische Variabilität auf (Tab. 25, Tab. 26 und Abb. 8), die sich konsistent zu den bereits dargestellten genotypischen Differenzierungen der NO_3^- -N-Aufnahme (Tab. 12 und Tab. 14) verhielt. Demnach ist Toronto vermutlich bereits während der Bestockungsphase in der Lage, aufgenommenen NO_3^- -N schneller zu assimilieren als Batis. Dies steht in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten, die sortenspezifische Unterschiede in der NRA ebenfalls in frühen Vegetationsstadien nachweisen und zumindest teilweise mit Differenzierungen in der Akkumulation von reduziertem N in der oberirdischen Biomasse in Verbindung bringen konnten (EILRICH und HAGEMAN, 1973; DALLING und LOYN, 1977). Bereits zum Stadium EC 32 gingen die sortentypischen Unterschiede allerdings erkennbar zurück und verschwanden zum Ende der Schossphase gänzlich, obwohl weiterhin Sortenunterschiede in der NO_3^- -N-Konzentration der oberirdischen Biomasse nachzuweisen waren. Nach der Blüte geht die NRA im Allgemeinen deutlich zurück, wobei Genotypen mit geringerer Korn-N-Konzentration nach den Ergebnissen von ELLISON et al. (1983) und HEITHOLT et al. (1990) eine deutlich zügigere Abnahme aufweisen. Möglicherweise sind die Unterschiede in der N-Aufnahme nach der Blüte zwischen Batis und Toronto aber zu gering, um erkennbare Differenzen in der NRA zu erhalten. Eindeutige Zusammenhänge

konnten im Gegensatz zu den frühen Vegetationsphasen nicht hergestellt werden. Nach der N-Spätdüngung war bei beiden Sorten in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von DECKARD et al. (1973) und EILRICH und HAGEMAN (1973) eine erhöhte NRA nachzuweisen (Tab. 25 und Tab. 26), die den Aktivitätsrückgang in diesen Varianten insgesamt deutlich verzögerte. Es ergaben sich in den eigenen Untersuchungen aber keine Hinweise auf sortentypische Differenzierungen, obwohl offensichtliche Unterschiede in der N-Aufnahme nach N-Spätdüngungsmaßnahmen bestanden wie bereits die Ergebnisse von FISCHBECK und DENNERT (1998) zeigten. Dies steht in Einklang mit anderen Arbeiten (RAO et al., 1977; DECKARD und BUSCH, 1978; SIMMONS und MOSS, 1978; REED et al., 1980). Abgesehen davon, dass die Bestimmung der *in-vitro*-NRA aufgrund der optimalen Reaktionsbedingungen in den meisten Fällen nicht mit der *in-situ*-Reduktionsrate übereinstimmt (LAUERER, 1996) und selbst die wiederholte Bestimmung der Blatt-NRA kein umfassendes Bild über die tatsächliche Reduktionsleistung während der Ontogenese ergibt (DEEGE, 1987), dürfte die räumliche und zeitliche Differenz zwischen dem Ort der Nitratreduktion und dem Ort der N-Akkumulation zu groß sein, als dass sich hier unmittelbare Zusammenhänge herstellen ließen (DEEGE, 1987).

Da die NO_3^- -Aufnahme und NO_3^- -Assimilation energieverbrauchende Prozesse darstellen, besteht eine enge Beziehung zwischen NO_3^- - und CO_2 -Assimilation (KAISER, 1997). Die Aufnahme von NO_3^- erfolgt gegen einen elektrochemischen Gradienten (CLARKSON, 1986) und auch der Weitertransport in den Spross benötigt Energie (PITMANN, 1977; JACKSON et al., 1980; TOURAINE und GRIBNON, 1982). Bevor NO_3^- in organischen Verbindungen eingebaut werden kann, ist eine Reduktion zu NH_4^+ erforderlich, was die ausreichende Bereitstellung von Reduktionsäquivalenten und C-Gerüsten voraussetzt (BEEVERS und HAGEMAN, 1980; MIFLIN und LEA, 1980). Da die im Spross gespeicherten wasserlöslichen Kohlenhydrate (WLK) den Hauptanteil der Kohlenhydrat-Reserven der Pflanze repräsentieren (THORNE, 1982; SCHNYDER, 1993), wurde zur genaueren Beschreibung des Kohlenhydrat-Status der Pflanzen neben dem Verlauf der Trockenmasseproduktion die Entwicklung der WLK in der oberirdischen Biomasse verfolgt. Mit der Ausbildung einer großen photosynthetisch aktiven Blattmasse wiesen die Pflanzen bereits während der Schossphase hohe Konzentrationen an WLK in der oberirdischen Biomasse auf, was in Übereinstimmung steht mit den Ergebnisse von WARDLAW (1968) und ELLEN (1990). Während intensiver Wachstumsphasen der Pflanzen werden die gebildeten Assimilate schnell in andere Verbindungen überführt. Der Zeitpunkt des Ährenschiebens bzw.

der Blüte ist normalerweise durch einen Rückgang der relativen Wachstumsrate gekennzeichnet. Da die Bildung von Photosyntheseprodukten allerdings weiter fortschreitet, während die Kornfüllungsphase mit ihrem Bedarf an Assimilaten noch nicht eingesetzt hat, ist die Nachfrage nach Photosyntheseprodukten relativ gering. Neu gebildete Assimilate werden daher auch in den ersten Wochen nach der Blüte als WLK im Spross eingelagert (WARDLAW und PORTER, 1967; MEHRHOFF, 1990; BÄNZIGER, 1992; DAVIDSON und CHEVALIER, 1992; SCHNYDER, 1993). Dieser grundsätzliche Verlauf der WLK-Konzentration bestätigte sich auch in den eigenen Untersuchungen (Tab. 21, Tab. 24, Abb. 6 und Abb. 7).

Im Versuchsjahr 1999 war die Entwicklungsphase zwischen Ährenschieben und Blüte durch hohe Trockenmassezuwächse (Tab. 7) und damit einem entsprechend höheren Kohlenhydratbedarf gekennzeichnet, der zu deutlich geringeren WLK-Konzentrationen führte als im zweiten Versuchsjahr (Tab. 17 und Tab. 19). Mit beginnender Seneszenz und damit abnehmender Photosyntheseaktivität der Pflanze und gleichzeitig steigendem Assimilatbedarf für die wachsenden Körner können die WLK-Reserven des Sprosses nach der Milchreife schnell bereitgestellt werden (SCHNYDER, 1993). In Übereinstimmung mit den Ergebnissen u.a. von KÜHBAUCH und THOME (1989) sank die WLK-Konzentration im Spross daher rasch ab. Vermutlich kommt es zumindest zu einer kurzzeitigen Konkurrenz um Reduktionsäquivalente und C-Skelette, wenn die Steigerung des N-Angebotes zu einer Erhöhung der NO_3^- -Aufnahme und NO_3^- -Assimilation führt (CHAMPIGNY et al., 1991; LE VAN QUY et al., 1991), was häufig mit einem Abfall der WLK-Konzentrationen verbunden ist (SPIERTZ und ELLEN, 1978; BÄNZIGER, 1992; ELLEN, 1993b; GÖHLICH, 1996). Die geringeren WLK-Konzentrationen in den hoch mit N versorgten Pflanzen lässt auf einen entsprechend höheren Kohlenhydratbedarf und -umsatz in andere Verbindungen schließen (HÖFNER und ORLOVIUS, 1977). N-Mangel kann allerdings dazu führen, dass der Umsatz der primär gebildeten Kohlenhydrate in andere Verbindungen deutlich limitiert wird bzw. die aktuelle Photosyntheseleistung den momentanen Kohlenhydratbedarf übersteigt. Die WLK-Konzentration der oberirdischen Biomasse ist daher in Pflanzen, in denen das N-Angebot verringert ist, höher als in ausreichend mit N versorgten Pflanzen (ELLEN, 1990; BÄNZIGER et al., 1992). Daneben hat eine gesteigerte N-Düngung weitere indirekte Effekte, die ebenfalls zu einer Verringerung der WLK-Einlagerung insbesondere in späteren Entwicklungsstadien führen kann. Hierzu gehört die mit einer höheren N-Düngung einhergehende Förderung der Anlage und Ausbildung von Ertragsorganen, die vor allem

während der späteren Kornfüllungsphase zu einer Erhöhung des Assimilatbedarfs führen (SPIERTZ und ELLEN, 1978). Auch die mit höherer N-Düngung einhergehende Verzögerung der Seneszenz führt zu einem höheren Kohlenhydratbedarf für Wachstumsprozesse (EVANS, 1983). Durch N-Düngung gesteigerte Wachstumsintensitäten erhöhen zudem die Respirationsverluste und können ebenfalls zu einer Verminderung der WLK beitragen (AUSTIN et al., 1977a).

Im Einklang mit diesen Ergebnissen war auch in den eigenen Untersuchungen unabhängig vom Entwicklungsstadium mit zunehmender N-Versorgung bei beiden Sorten im Mittel der Varianten ein deutlicher Rückgang der WLK-Konzentrationen vorhanden (Tab. 21 und Tab. 23). Der Abfall der WLK-Konzentration war dabei in der Regel so stark, dass es trotz der zunehmenden Biomasseproduktion zu einer deutlichen Abnahme der WLK-Masse kam (Tab. 22 und Tab. 24). Sortenunterschiede in der WLK-Konzentration traten vor allem während der frühen Vegetationsphase auf, hier wies Toronto signifikant geringere Konzentrationen auf als Batis (Tab. 21 und Tab. 23). Die Ursache dürfte in dem deutlich besseren N-Status von Toronto liegen, der den Abbau der WLK-Reserven bzw. den Umsatz in andere Verbindungen entsprechend begünstigte. Möglicherweise wird auch die Speicherkapazität des Blattes für WLK-Reserven durch die Akkumulation von NO_3^- -N in den Vakuolen begrenzt wie Ergebnisse von STULEN (1986) vermuten ließen. Ursächlich für eine Abnahme der Kohlenhydratsynthese ist allerdings nicht die Anwesenheit von NO_3^- -N im Gewebe, sondern entscheidende Bedeutung kommt der von der Konkurrenz zwischen Reduktionsäquivalenten und C-Skeletten ausgehenden Regulation zu, wie u.a. die Untersuchungen von CHAMPIGNY et al. (1991) und LE VAN QUY et al. (1991) gezeigt haben. Der Mehrbedarf an Reduktionsäquivalenten und C-Skeletten infolge einer erhöhten N-Versorgung wird allerdings schnell kompensiert, da sowohl die Photosyntheserate als auch die Blattflächendauer durch einen verbesserten N-Status erhöht und die bioenergetischen Kosten für den gesteigerten N-Metabolismus rasch gedeckt werden (EVANS, 1983; STULEN, 1986; BÄNZIGER et al., 1994b; FEIL, 1998). In Übereinstimmung hiermit glichen sich bereits während der Schossphase die Sortenunterschiede weitgehend an. Ein Rückgang in den WLK-Konzentrationen folgte auch den N-Spätdüngungsmaßnahmen, insbesondere im zweiten Versuchsjahr, was in Einklang mit den Ergebnissen von BÄNZIGER et al. (1994b) steht. Nur unter Bedingungen limitierter N-Versorgung (N0/0/0/0, N60/0/0/0) war weiterhin eine Zunahme der WLK-Konzentration festzustellen. Deutliche Sortenunterschiede wie in den frühen Vegetationsstadien waren dabei aber nicht festzustellen. Es ist aber nicht

auszuschließen, dass mögliche Sortenunterschiede durch den Einfluss des N-Angebotes auf die WLK-Konzentration überlagert wurden. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von BÄNZIGER et al. (1994b) kompensierte ein zusätzliches N-Angebot während später Vegetationsphasen bei beiden Sorten nicht nur den Rückgang der WLK-Reserven zur Blüte, sondern führte aufgrund des verbesserten N-Status der Pflanzen zu einer deutlichen Zunahme bis zur Milchreife (EC 75). Während der Kornfüllungsphase wies Batis teilweise geringere WLK-Konzentrationen auf als Toronto, was möglicherweise ebenfalls in Zusammenhang mit Differenzierungen in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse beider Sorten steht. In beiden Versuchsjahren konnte der Rückgang der WLK-Konzentration nicht durch die mit zunehmender N-Düngung gesteigerte Biomasseproduktion kompensiert werden, so dass auch die WLK-Akkumulation eine deutliche Abhängigkeit von der N-Versorgung zeigte (Tab. 22 und Tab. 24). Andere Untersuchungen stellten dagegen eine von der N-Düngung weitgehend unabhängige WLK-Akkumulation fest und interpretierten die Reduktion der WLK-Konzentration mit steigendem N-Angebot als Verdünnungseffekt der stärkeren Förderung des Biomassewachstums (HÖFNER und ORLOVIUS, 1977; ELLEN, 1990; ELLEN, 1993b).

Mobilisierte vorblütliche WLK-Reserven tragen auch direkt zur Kornertragsbildung bei (MCCAIG und CLARKE, 1982; ELLEN, 1990; GEBBING et al., 1999). Größere Bedeutung für die Kornertragsbildung hatten die WLK-Reserven vor allem bei geringem N-Angebot, das aufgrund der früher einsetzenden Seneszenz eine Verkürzung der Kornfüllungsphase nach sich zog. Die Assimilate für die wachsenden Körner stammten im Mittel zu 18 % (1999) bzw. 34 % (2000) aus der Mobilisierung von WLK-Reserven. Über eine mögliche genotypische Variabilität in der Mobilisation von WLK-Reserven berichten verschiedene Arbeiten (AUSTIN et al., 1977a; DAVIDSON und BIRCH, 1978; ELLEN, 1990; MEHRHOFF, 1990; PAPAKOSTA und GAGIANAS, 1991). In den eigenen Untersuchungen konnten allerdings keine deutlichen genotypischen Unterschiede festgestellt werden. Tendenziell war erkennbar, dass Toronto bei geringem N-Angebot einen höheren Anteil der WLK-Reserven für die Kornertragsbildung nutzte als Batis, während es sich bei hohem N-Angebot umgekehrt verhielt. Dies korrespondierte weitgehend mit den in Abhängigkeit des N-Angebotes auftretenden Sortendifferenzierungen in der Trockenmassebildung (Tab. 9 und Tab. 10) und der N-Akkumulation (Tab. 12 und Tab. 14) und weist möglicherweise auch auf entsprechende Differenzierungen der Photosyntheseleistungen hin, die in Abhängigkeit der N-Versorgung beider Sorten während der Abreife aufgetreten sein könnten. Die Ausbildung der Einzel-

kornmasse bzw. der Tausendkornmasse wurde durch die Handhabung der N-Düngung kaum beeinflusst (Tab. 31 und Tab. 32), was in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von BÄNZIGER et al. (1994b) darauf schließen lässt, dass die mögliche Konkurrenz zwischen Reduktionsäquivalenten und C-Skeletten nicht in vorrangiger Verbindung steht mit Sortendifferenzierungen in der Aufnahme und Verwertung von N aus Spätdüngungsmaßnahmen. Auch die im Vergleich zu den festgestellten Sortenunterschieden in der NO_3^- -Konzentration geringen Differenzierungen im WLK-Haushalt während der Kornfüllung lassen darauf schließen, dass anderen Prozessen für die Sortendifferenzierungen im N-Haushalt späterer Vegetationsphasen größere Bedeutung zukommt.

N-Konzentration und N-Aufnahme des Korns

Aus dem Verlauf der Trockenmassebildung sowohl während der vegetativen Phase als auch während der Kornfüllung (Tab. 7 und Tab. 8) ergaben sich, wie bereits gezeigt wurde, zunächst keine eindeutigen Hinweise auf Differenzierungen in den Photosyntheseleistungen beider Sorten. Geringe Sortenunterschiede waren in der Effizienz der Verlagerung von Assimilaten in die wachsenden Körner (Ernteindex) festzustellen (Tab. 29 und Tab. 30). Batis wies zwar regelmäßig einen etwas höheren Ernteindex auf, während Toronto nur bei mittlerem N-Angebot und optimaler Verteilung (N30/0/60/30) eine vergleichbare Effizienz erreichen konnte. Insgesamt fielen die Unterschiede aber vergleichsweise gering aus. Batis erreichte allerdings eine höhere Mobilisationseffizienz für die bis zur Blüte im Spross gespeicherten WLK. Zudem akkumulierte Batis, vermutlich aufgrund der geringeren N-Konzentration, eine höhere WLK-Masse im Spross. Toronto war daher in stärkerem Maße auf die aktuelle Photosynthese angewiesen, um den Assimilatbedarf für die wachsenden Körner zu decken, konnte aber durch hohe und aufgrund des besseren N-Status vermutlich auch länger anhaltenden Photosyntheseleistungen die geringe Effizienz der WLK-Mobilisation regelmäßig überkompensieren. Deutliche genotypische Unterschiede zeigten sich in der Tausendkornmasse (Tab. 31 und Tab. 32), deren geringe Variabilität bei beiden Sorten auf eine enge genetische Determinierung schließen lässt (JENNER et al., 1991). In den meisten Fällen wird das Kornwachstum nicht durch die Versorgung mit Assimilaten limitiert (RAWSON und EVANS, 1971). Abnehmende Tausendkornmassen, wie sie bei den hohen Korndichten im zweiten Versuchsjahr infolge eines hohen N-Angebots vor allem bei Toronto erkennbar wurden (Tab. 31 und Tab. 32), deuten allerdings auf eine beginnende Limitierung der Versorgung mit Assimilaten hin, wenn abnehmende Photosyntheseleistungen nach der Milchreife nicht durch ausreichende WLK-Reserven

(Tab. 22 und Tab. 24) ergänzt werden können (SCHNYDER, 1993). Insgesamt dürften aber die erkennbaren genotypischen Unterschiede im C-Haushalt zumindest während der Kornfüllungsphase zu gering gewesen sein, als dass sie wesentlich zu den Sortendifferenzierungen in der Korn-N-Konzentration beigetragen haben könnten.

In Übereinstimmung mit den Versuchen von FISCHBECK und DENNERT (1998) wies Toronto gegenüber Batis in beiden Versuchsjahren in nahezu allen Varianten höhere N-Konzentrationen im Korn auf (Tab. 35 und Tab. 36). Bei geringer und mittlerer N-Düngung konnten aber keine signifikanten Sortenunterschiede in der eingelagerten N-Masse des Kornes festgestellt werden, d.h. auf diesem Düngungsniveau wurde die höhere N-Konzentration von Toronto regelmäßig durch geringere Kornerträge und umgekehrt die aufgenommene N-Menge von Batis regelmäßig durch die höhere Kornertragsleistung kompensiert. Erst wenn bei einem hohen N-Angebot ($240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) der N-Bedarf für maximale Kornertragsleistungen deutlich überschritten wurde, zeigten sich genotypische Unterschiede und Toronto lagerte gegenüber Batis deutlich höhere N-Mengen in die Körner ein. Auch andere Untersuchungen bestätigen, dass die negative Korrelation zwischen Kornertrag und Korn-N-Konzentration häufig genotypische Differenzierungen der Korn-N-Konzentration maskiert bis ein ausreichend hohes N-Angebot den Bedarf für maximale Kornertragsleistungen deckt (FOWLER et al., 1990). Möglicherweise wurden die Photosyntheseraten der Pflanzen bei hohem N-Angebot während der Kornfüllung durch andere Faktoren stärker limitiert als durch die N-Konzentration der Biomasse (EVANS, 1989). Denkbar ist auch, dass das Kornwachstum bei beiden Sorten bereits zu einem Zeitpunkt beendet wurde, zu dem noch potentiell verfügbare WLK-Reserven sowie grünes Pflanzengewebe vorhanden war, wie verschiedene Arbeiten gezeigt haben (EVANS und WARDLAW, 1976; JENNER et al., 1991). Zusätzliche Untersuchungen müssten klären, inwieweit diese Mechanismen für die beschriebenen Sortendifferenzierungen bei Batis und Toronto verantwortlich sein könnten und insbesondere zu der gegenüber Toronto geringeren Ausnutzung von N-Spätdüngungsmaßnahmen von Batis beigetragen haben könnten.

Die genotypischen Unterschiede in der Korn-N-Masse wurden erkennbar stärker von Differenzierungen der N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse als von der N-Remobilisation während der Kornfüllungsphase bestimmt, was mit den Ergebnissen von BÄNZIGER (1992) übereinstimmt. Bereits in frühen Vegetationsstadien waren deutliche Unterschiede in der N-Aufnahme festzustellen, die im gesamten Vegetationsverlauf zu Differenzierungen in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse führten. Nur bei

geringem N-Angebot wies Batis in der Tendenz eine höhere N-Aufnahme auf. Je höher das N-Angebot, desto größer wurde der Sortenunterschied in der N-Aufnahme von Toronto gegenüber Batis. Im Allgemeinen sind Sortenunterschiede in stärkerem Maße auf Variationen der Trockenmassebildung zurückzuführen als auf Unterschiede in der N-Konzentration (HEITHOLT et al., 1990; BÄNZIGER, 1992; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b; EHDAIE und WAINES, 2001). Im Vergleich von Batis und Toronto war allerdings die Variation der Korn-N-Konzentration von ausschlaggebender Bedeutung für die Differenzierungen der N-Akkumulation. Lediglich bei deutlich limitiertem N-Angebot (N0/0/0/0) zeigte sich in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von FOWLER et al. (1990) die Bedeutung des Kornertrages für Sortenunterschiede im Korn-N-Ertrag. Auch wenn die Unterschiede in der N-Effizienz nicht sehr deutlich ausfielen (Tab. 37 und Tab. 38), so war doch erkennbar, dass der größere Anteil der Unterschiede in der N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse auf Differenzierungen der N-Masse des Korns beruht, während demgegenüber die Variation der N-Masse des Strohs deutlich geringer ausfiel. Neben der geringeren N-Konzentration der oberirdischen Biomasse von Batis, führte die geringere Effizienz der N-Mobilisation dazu, dass erkennbar höhere N-Mengen im Stroh verbleiben. Dies konnte auch durch teilweise höhere N-Aufnahmen nach der Blüte nicht ausgeglichen werden.

N-Effizienz

Zur Charakterisierung von Art und Umfang, mit der Pflanzen den ihr angebotenen N nutzen, wird häufig der Begriff der N-Effizienz verwendet (MOLL et al., 1982; BOCK, 1984), der sich vereinfacht in die Komponenten N-Aufnahmeeffizienz und N-Verwertungseffizienz unterteilen lässt (SATTELMACHER et al., 1994). Sortentypische Unterschiede ließen sich in beiden Merkmalen feststellen (Tab. 37 und Tab. 38). Die höhere N-Aufnahme von Toronto gegenüber Batis spiegelte sich aufgrund der geringen Unterschiede im Verlauf der Trockenmassebildung in einem Sortenunterschied in der N-Ausnutzung wieder (Tab. 37, Tab. 38 und Abb. 14). Die Variation in der N-Ausnutzung war aber bei beiden Sorten relativ gering und erst eine N-Menge von $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ließ einen deutlichen Sortenunterschied erkennen. Neben der gegenüber Toronto geringeren N-Aufnahme von Batis während der frühen Vegetationsstadien, führten vor allem die Differenzierungen der N-Aufnahme während später Vegetationsphasen zu einem erkennbaren Rückgang der N-Ausnutzung von Batis, vor allem bei hohem N-Angebot. Dies steht in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten, die ebenfalls bei Überschreiten der optimalen N-Menge einen deutlichen Abfall der

N-Ausnutzung feststellten (KUHLMANN et al., 1989; FISCHBECK et al., 1992b; GÖHLICH, 1996; MAKOWSKI et al., 1999). Die Ursache für die mit zunehmendem N-Angebot generell abnehmende N-Ausnutzung liegt zum einen darin, dass bei Erhöhung der N-Düngung die Umsetzung von Dünger-N in Kornertrag und Korn-N-Masse mit jeder Einheit N weniger effizient ablief, wie die absinkende Verwertungseffizienz (Tab. 37 und Tab. 38) bei beiden Sorten zeigte. Zum anderen befindet sich Dünger-N bei hohem N-Angebot bis zur vollständigen Aufnahme länger im Boden und ist dort entsprechend größeren Verlusten durch Auswaschung, Immobilisation oder gasförmiger Freisetzung ausgesetzt (RETZER, 1995; RECOUS und MACHET, 1999). Insgesamt war die N-Ausnutzung in beiden Versuchsjahren deutlich höher als die üblicherweise in der Literatur beschriebenen Werte (VÖMEL und EWERT, 1981; POWLSON et al., 1986; WEBSTER et al., 1986; RAUHE et al., 1987; RIGA et al., 1988; FINK, 1994; SIELING und HANUS, 1997), bestätigte aber frühere Ergebnisse am Standort Roggenstein (FISCHBECK et al., 1992a; RETZER, 1995). Die gefundenen hohen N-Ausnutzungswerte stehen möglicherweise in Zusammenhang mit dem Auftreten von „Priming“-Effekten wie auch die Ergebnisse anderer Untersuchungen mit der Differenzmethode vermuten lassen (JENKINSON et al., 1985; RAO et al., 1991; RETZER, 1995).

Neben einer höheren N-Ausnutzung wies Toronto gegenüber Batis auch eine höhere N-Verwertungseffizienz auf. Für den deutlichen Sortenunterschied war, wie bereits gezeigt, vor allem die höhere N-Remobilisation von Toronto bei hohem N-Angebot verantwortlich. Insgesamt lag die N-Verwertungseffizienz (Tab. 35 und Tab. 36) bei beiden Sorten etwas unter den häufig für Mitteleuropa angegebenen Werten (FEIL, 1987; BÄNZIGER et al., 1992; FISCHBECK et al., 1992b; ELLEN, 1993a; FISCHBECK et al., 1993; BÄNZIGER et al., 1994a; FINK, 1994; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b; RETZER, 1995; FEIL und BÄNZIGER, 1999). Im Allgemeinen weist der NHI nur eine geringe genotypische Variabilität auf, was häufig mit den bereits hohen Werten bei Weizen begründet wird (DESAI und BHATIA, 1978; DAY et al., 1985; PACCAUD et al., 1985; BÄNZIGER, 1992; CZAUDERNA, 1992; FEIL, 1998). Bei beiden Sorten war in Übereinstimmung mit der Literatur mit steigender N-Versorgung eine Abnahme des NHI verbunden (HALLORAN, 1981; FISCHBECK et al., 1992b; FINK, 1994; BERTHOLDSSON und STOY, 1995b; RETZER, 1995). Im Versuchsjahr 1999 zeigte sich vor allem bei höchster N-Düngung von 240 kg ha^{-1} N ein deutlicher Rückgang und hier vor allem bei stark anfangsbetonter N-Düngung, wenn das Ertragsoptimum deutlich überschritten wurde. Die effizienteste

Einlagerung von aufgenommenen N ins Korn wurde in beiden Jahren bei mäßiger Andüngung und verzögerter zweiter N-Gabe erzielt, was die Ergebnisse von FISCHBECK et al. (1992b) und RETZER (1995) bestätigte.

Kornertrag und Ertragsstruktur

Wie bereits der Verlauf der Trockenmasseproduktion (Tab. 7 und Tab. 8) zeigte, unterlag die Ertragsbildung beider Sorten einem erkennbaren Jahrgangseinfluss. Zwar bestätigte das Versuchsjahr 1999 im Mittel der geprüften Varianten die signifikant höhere Kornertragsleistung von Batis, die insbesondere bei geringem N-Angebot deutlich wurde (FISCHBECK und DENNERT, 1998). Bei optimaler Handhabung der N-Düngung (Variante N40/0/60/80) war aber bereits erkennbar, dass beide Sorten unter den Versuchsbedingungen am Standort Roggenstein ein durchaus vergleichbares Ertragspotential besitzen, obwohl sie in der Beschreibenden Sortenliste (BUNDESSORTENAMT, 1998) nicht einer Ertragsgruppe zugeordnet sind (Tab. 1). Die für die Ertragsbildung insgesamt sehr günstigen Umweltbedingungen des zweiten Versuchsjahres konnte Toronto bei hoher N-Versorgung auch bei einer stärker anfangsbetonten und damit suboptimalen N-Düngung in eine Kornertragsleistung umsetzen, die tendenziell über denen der Sorte Batis lag (Tab. 30 und Abb. 10). In allen vorausgegangen Versuchsjahren konnte Toronto regelmäßig die aus der geringeren Tausendkornmasse resultierende Ertragsdifferenz nicht ausgleichen (FISCHBECK und DENNERT, 1998). Im Versuchsjahr 2000 dagegen kompensierten deutlich höhere Konzahlen je Fläche, die vor allem über eine Steigerung der Ährenzahlen erzielt wurden, die geringere Tausendkornmasse von Toronto gegenüber Batis.

Die Bildung des Kornertrages ist das Ergebnis vieler Einzelschritte, deren Zusammenwirken über die Betrachtung der Ertragsstruktur ersichtlich wird. Die Ertragsstruktur stellt grundsätzlich eine genotypische Eigenschaft dar, wird allerdings in erheblichen Maße von Standort und Jahreswitterung (HÄNSEL, 1965) und dem pflanzenverfügbaren N-Angebot beeinflusst (LE GOUIS et al., 2000). Die Ergebnisse von FISCHBECK und DENNERT (1998) zeigten, dass Batis und Toronto im Hinblick auf die Ausbildung von Bestandesdichte und Kornzahl Ähre⁻¹ unterschiedlich auf ein differenziertes N-Angebot reagierten. Dies bestätigen auch die eigenen Untersuchungen.

Hohe Kornerträge sind an die Anlage einer ausreichenden Speicherkapazität (Körner je Fläche) gebunden, wobei grundsätzlich dem hohen Kompensationsvermögen der einzelnen Ertragskomponenten eine große Bedeutung zukommt (DIEPHOLDER, 1994). Mit Erhöhung

der N-Düngung ist bis zum Erreichen des Maximalertrages im Allgemeinen eine Steigerung des Kornertrages verbunden, was in der Regel mit dem positiven Effekt auf Ährenzahl und der Kornzahl je Ähre und damit der Kornzahl je Fläche zu assoziieren ist, während die Einzelkornmasse in der Regel nur wenig beeinflusst wird (DARWINKEL, 1983; DIEPHOLDER, 1994). Auch in der eigenen Untersuchung fiel bei beiden Sorten die Variation der Einzelkornmasse in Abhängigkeit der N-Düngung im Vergleich zu den weiteren Ertragskomponenten relativ gering aus (Tab. 31 und Tab. 32). Zudem blieb die Sortendifferenzierung in diesem Merkmal weitgehend konstant. Der bestimmende Faktor war somit die Kornzahl je Fläche, auf die 92 % (1999) bzw. 81 % (2000) der Variation des Kornertrages zurückzuführen war. Die Kornzahl je Fläche (Tab. 31 und Tab. 32) nahm bei beiden Sorten mit steigender N-Düngung zunächst zu, da sowohl die Anzahl der ährentragenden Halme als auch die Anzahl Körner je Ähre bei erhöhter N-Versorgung gesteigert wurde. Dabei hatte die N-Verteilung bei beiden Sorten einen deutlichen Einfluss. Allgemein kann die Kornzahl je Fläche durch die Anzahl Ähren je Fläche, Ährchen je Ähre und Blüten je Ährchen beeinflusst werden (GEISLER, 1983).

Der Haupteffekt einer gesteigerten N-Düngung in der frühen Entwicklungsphase liegt in der Förderung der Nebentrieblanlage (DARWINKEL, 1983; SPIERTZ und DE VOS, 1983), die sich, wie bereits angesprochen, auch im vorliegenden Versuch zeigte. Die Anzahl ährentragender Halme lässt sich durch Düngungsmaßnahmen bis einschließlich Schossbeginn (EC 30) fördern, was neben der Förderung der Triebanlage im Wesentlichen auf die Minderung von Reduktionsprozessen zurückzuführen ist (KNOPF, 1977; HEYLAND und KNOPF, 1980; DARWINKEL, 1983; HEYLAND und TRIEBEL, 1986; POMMER und FINK, 1989; POMMER und FINK, 1992; RETZER, 1995). Dieser Effekt war im Versuchsjahr 1999 auf allen N-Niveaus nachzuweisen, während er aufgrund des höheren Angebotes an bodenbürtigem N im Versuchsjahr 2000 bei beiden Sorten nur bei höherer N-Düngung auftrat. Eine schossbetonte N-Düngung führte bei Toronto zu deutlich höheren Bestandesdichten als bei Batis, dessen Variation in der Bestandesdichte sich in Einklang mit den Ergebnissen von FISCHBECK und DENNERT (1998) in erkennbar geringeren Grenzen bewegte. Wie bereits erwähnt, belegten die Ergebnisse der Einzelpflanzenanalyse (Tab. 33 und Tab. 34), dass für dieses sortenunterschiedliche Verhalten, vor allem Unterschiede in den Anlageprozessen verantwortlich sind, während Sortenunterschiede in den Reduktionsprozessen während der Schossphase von untergeordneter Bedeutung waren (Tab. 33 und Tab. 34). Der zu Schossbeginn ermittelte Sortenunterschied wird durch die in Abhängigkeit

der N-Versorgung während der frühen Schossphase stattfindenden Reduktionsprozesse nicht erkennbar verändert und setzt sich in der sortenunterschiedlichen Abstufung der Anzahl ährentragender Halme bis zur Reife fort (Tab. 31 und Tab. 32).

Die Anzahl ährentragender Halme und die ausgebildete Kornzahl je Ähre stehen in der Regel in negativer Beziehung zueinander (HARMS, 1982; ANDERL et al., 1983; HEYLAND und TRIEBEL, 1986; PUHL, 1986; BRENNER und MANGSTL, 1987). Auffallend waren besonders die im Versuchsjahr 1999 deutlich höheren Kornzahlen der Sorte Toronto bei verringerten Bestandesdichte aufgrund einer verzögerten zweiten N-Gabe (Tab. 31 und Tab. 32). Auch Batis wies höhere Kornzahlen bei verminderter Bestandesdichte auf, während die durch anfangsbetonte hohe N-Düngung (N80/40/40/80) stark bestockten Bestände bei beiden Sorten zu verringerten Kornzahlen führten. Die Kornzahl je Ähre ist das Ergebnis der Anlage- und Reduktionsprozesse von Ährchen und Blüten und setzt sich zusammen aus der Anzahl fertiler Ährchen je Ähre und der Anzahl fertiler Blüten je Ährchen.

Mit einer erhöhten N-Versorgung während der Bestockungsphase (Doppelringsstadium) wird die Ährchenanlage positiv beeinflusst (KNOPF, 1977; SPIERTZ und ELLEN, 1978; HARMS, 1982; DARWINKEL, 1983; LANDES, 1989; RETZER, 1995). In der vorliegenden Untersuchung ließen sich an den ungedüngten Pflanzen keine Sortendifferenzierungen im Umfang der Ährchenanlage feststellen. Erst mit steigender N-Versorgung traten erkennbare Sorteneffekte auf, die allerdings in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von RETZER (1995) bei beiden Sorten insgesamt nur gering ausfielen, da einerseits die vorhandene Boden-N-Nachlieferung auf dem Standort Roggenstein einen erheblichen N-Mangel ausschliessen dürfte und sich andererseits auch eine hohe Triebanlage nicht negativ auf die Ährchenanlage auswirkt, wenn die Ährchenzahlen von Nebentrieben nur wenig unter denen der Haupttriebe liegen (STERN und KIRBY, 1979; KROPF, 1992). Die Ergebnisse von RAWSON (1971) zeigten, dass die Ährchenanlage genotypisch bedingt ist, wobei die untersuchten Genotypen durch ihre weltweite Herkunft erhebliche Unterschiede in ihrer photoperiodischen Reaktion aufwiesen. KROPF (1992) führte die geringen Unterschiede in der Ährchendifferenzierung ihrer Versuche auf die ähnliche Tageslängenreaktion der untersuchten Weizensorten zurück, von der auch in dieser Untersuchung auszugehen ist. Auch HARMS (1982) folgerte, dass andere Faktoren einen größeren Einfluß auf die Ährchenanlage ausüben als die N-Versorgung.

Während die Ährchenanlage kaum durch ansteigende N-Versorgung beeinflusst wurde, nahm die Fertilität der Ährchenanlage in Übereinstimmung mit Ergebnissen aus der Literatur (LIMBERG, 1964; FUCHS, 1975; SPIERTZ und ELLEN, 1978; HEYLAND und KNOPF, 1980; HARMS, 1982; DARWINKEL, 1983; POMMER und FINK, 1989; POMMER und FINK, 1992; RETZER, 1995) mit erhöhter N-Versorgung während der Schossphase zu (Tab. 33 und Tab. 34). Besonders ein erhöhtes N-Angebot nach dem Stadium EC 32 bewirkte eine Abschwächung der Ährchenreduktionen, wobei sich nur sehr geringe Sortenunterschiede zugunsten von Batis ergaben. Der geringfügige Vorteil einer hohen Anfangsdüngung auf die Ährchenanlage ging bei beiden Sorten aufgrund der in den stark bestockten Beständen erhöhten inner- und zwischenpflanzlichen Konkurrenz um Assimilate und andere Wachstumsfaktoren (z.B. Licht, Wasser) durch die reduzierte Ährchenfertilität wieder verloren. Trotz der teilweise deutlich höheren Triebbildung von Toronto ermöglichte vermutlich die höhere N-Aufnahme eine Assimilatversorgung, die nicht zu höheren Reduktionsprozessen der Ährchenanlage gegenüber Batis führte. Zudem erhöht eine zunehmende Triebbildung nicht zwangsläufig die innerpflanzliche Konkurrenz, da nach KROPF (1992) die Vitalität des Vegetationskegels verbessert wird, was gegenüber geringer bestockter Pflanzen zu einer verbesserten Blütenanlage führen kann. Konkurrenzeffekte treten erst dann auf, wenn der Einflüßbereich benachbarter Pflanzen erreicht wird und vor allem die Entwicklungsmöglichkeiten der zuletzt angelegten Nebentriebe eingeschränkt wird (KROPF, 1992).

Toronto wies bereits in den ungedüngten Pflanzen eine höhere Anzahl fertiler Blüten je Ährchen auf, wobei die geringeren Bestandesdichten im Versuchsjahr 1999 generell höhere Blütenzahlen zuließen. Unter den Bedingungen dieses Versuchsjahres konnte die Sorte Batis von einem erhöhten N-Angebot während der Schossphase stärker profitieren, was auch durch die höhere Förderung der Kornzahlen je Ähre insgesamt zum Ausdruck kommt. Lediglich bei Betonung der Schossergabe zum Stadium EC 32 fiel die Wirksamkeit der N-Düngung auf die Steigerung der Kornzahlen je Ähre gegenüber der ungedüngten Pflanze ähnlich aus. Im Versuchsjahr 2000 profitierten die Kornzahlen je Ähre bei der Sorte Toronto in allen Varianten stärker von der ergänzenden N-Düngung als bei Batis und führte somit zu einer erkennbaren Abschwächung der durch die höheren Triebzahlen verstärkt ablaufenden Reduktionsprozesse. Während bei Toronto die Steigerung der Kornzahlen je Fläche im Versuchsjahr 1999 stärker auf die Förderung der Ährenzahlen zurückzuführen ist, kam unter den Bedingungen des Versuchsjahres 2000 mit deutlich höheren Triebzahlen der Förderung

des Merkmals Kornzahl je Ähre vornehmlich durch Abschwächung von Reduktionsvorgängen der Ähre größere Bedeutung zu.

In Abhängigkeit von den Anlage- und Reduktionsprozessen der übrigen Ertragskomponenten war in der Tausendkornmasse eine sortenunterschiedliche Reaktion auf eine variierte N-Düngung festzustellen, die zudem einem deutlichen Jahrgangseinfluss unterlag (Tab. 31 und Tab. 32). Im Vergleich zu den anderen Ertragskomponenten war aber bei beiden Sorten eine deutlich geringere Reaktion auf die N-Düngung festzustellen. Beide Sorten erzielten mit einer N-Menge von 120 bis 180 kg ha⁻¹ N die beste Einkörnung. In weitgehender Übereinstimmung mit der Literatur schaffte dabei eine Betonung der Schossergabe zum Stadium EC 32 die besten Voraussetzungen für hohe Einzelkornmassen, da die Einzelpflanzen dann eine generell höhere Vitalität aufweisen (KROPF, 1992). Somit bestätigen die vorliegenden Ergebnisse die häufig gefundene positive Beziehung zwischen Kornzahl je Ähre und Einzelkornmasse (FISCHBECK et al., 1990; RETZER, 1995). Hohe Bestandesdichten und damit verminderte Kornzahlen je Ähre führten in beiden Versuchsjahren zu einem tendenziellen Rückgang in der Tausendkornmasse. Die Sorte Batis reagierte häufig erkennbar stärker auf die ergänzende N-Düngung als dies bei Toronto der Fall war. Zudem reagierte Toronto im Versuchsjahr 2000 auf die hohen Kornzahlen je Fläche in den Varianten mit höchster N-Menge erkennbar mit einem Abfall in der Einzelkornmasse. Durch die Anlage von relativ vielen Nebentrieben, in denen in der Regel kleine Körner ausgebildet werden, nimmt die relative Anzahl leichter Körner zu. Zudem dürfte die verschärfte Konkurrenz um Assimilate auch die Kornausbildung der Haupttriebähren behindert haben.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Hinblick auf die der Arbeit zugrundeliegenden Versuchsfragen (Kap. 1) lassen sich aus den dargestellten Ergebnissen folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Die Untersuchungen belegen, dass die im Jugendstadium feststellbaren Sortenunterschiede in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse von Batis und Toronto in Verbindung stehen mit Differenzierungen im Aneignungsvermögen für während der Bestockungsphase pflanzenverfügbaren N. Die Aufnahme von N in frühen Vegetationsphasen wird durch die noch geringe Aufnahmekapazität der Pflanzen und der unzureichenden Wurzelentwicklung begrenzt. Die deutlich höhere Aktivität der Nitratreduktase zeigt, dass Toronto während der Bestockungsphase pflanzenverfügbaren NO₃⁻-N schneller assimiliert als Batis. Als „Sink“ für

den zusätzlich aufgenommen N dient Toronto vor allem eine Erhöhung der Nebentriebbildung. Die hiermit in Verbindung stehende sortenunterschiedliche Ausbildung des Adventivwurzelsystems ermöglicht Toronto gegenüber Batis eine schnellere Erschließung weiterer NO_3^- -N-Reserven des Bodens. Günstige Bedingungen für die Ertragsbildung (Temperatur, PAR, N-Düngung) wirken sich zusätzlich förderlich auf die Differenzierungen der NO_3^- -Aufnahme und NO_3^- -Assimilation aus. Die geringere Bestandesdichte von Batis begünstigt im Allgemeinen die Einzeltriebentwicklung und fördert die Trockenmassebildung, was zusätzlich zu einer unterschiedlich starken Verdünnung des aufgenommenen N im Jugendstadium führt. Da die Handhabung der N-Düngung im weiteren Vegetationsverlauf die Entwicklung der Biomasseproduktion bei beiden Sorten zunehmend ähnlich beeinflusst, werden die aus der höheren N-Konzentration resultierenden Sortenunterschiede in der N-Aufnahme bei geringem und mittlerem N-Angebot zunehmend maskiert. Nur ein ausreichend hohes N-Angebot, das den N-Bedarf der Pflanzen für das Wachstum deutlich übersteigt, zeigt dagegen die Sortenunterschiede in der N-Akkumulation an. Mit Verringerung des N-Angebotes nimmt die Bedeutung der sortenbedingten Unterschiede im Kornertrag zu und übersteigt bei fehlender N-Düngung die Differenzierungen in der N-Konzentration, so dass die regelmäßig angedeuteten höheren N-Entzüge von Batis unter Bedingungen eines stark limitiertem N-Angebots daher vor allem auf den höheren Kornertragsleistungen von Batis auf diesem N-Niveau beruhen.

Sortenbedingte Differenzierungen in der Akkumulation von reduziertem N sind bereits während der frühen Schossphase festzustellen und stehen in deutlicher Abhängigkeit von der Höhe des N-Angebotes. Gezeigt hat sich, dass Toronto ein hohes N-Angebot auch während der Kornfüllungsphase effizienter nutzen kann als Batis. Aufgrund der geprüften Düngungsvarianten war nicht abschließend zu klären, ob es sich hierbei um eine Wiederholung bzw. Aufrechterhaltung der sortenspezifischen N-Aufnahme aus frühen Vegetationsphasen handelt. Der bessere N-Status von Toronto begünstigt aber in jedem Fall die Aufrechterhaltung hoher Photosyntheseleistungen, die Akkumulation von Reservekohlenhydraten sowie die Mobilisation von N aus der vegetativen Biomasse, die besonders bei Vorliegen einer günstigen Ertragsstruktur gefördert wird und entscheidend zur höheren Effizienz der N-Spätdüngungsmaßnahmen bei Toronto beiträgt. Die langjährig geringeren Schwankungen in der Kornzahl je Fläche und in der Tausendkornmasse belegen, dass Batis regelmäßig unter den jeweiligen Restriktionen des Versuchsjahres eine hohe Einzelkornmasse erreicht, wobei sich hier auch die höhere Verwertungseffizienz positiv auswirkt. Der Spielraum für eine

zusätzliche N-Aufnahme ins Korn ist dagegen im Unterschied zu Toronto gering, was durch die höheren N-Mengen im Stroh dokumentiert wird und die Effizienz einer hohen N-Spätdüngung deutlich verringert.

Im Hinblick auf die regelmäßig auftretenden sortenspezifischen Abstufungen in der Ertragsstruktur konnte gezeigt werden, dass die Sorten vor allem in den Merkmalen Bestandesdichte und Kornzahl unterschiedlich auf Höhe und Zeitpunkt der N-Düngung reagieren. Hohe Erträge sind bei Toronto auf eine hohe Ährenzahl oder auf eine hohe Kornzahl je Ähre zurückzuführen, während bei Batis vor allem die Ausbildung einer hohen Einzelkornmasse von Bedeutung ist. Damit wirkt sich vor allem die N-Versorgung während der frühen Vegetationsphase sortentypisch unterschiedlich aus. Während sich das N-Angebot in der Schossphase erkennbar stärker bei Batis auswirkt, sind bei Toronto in höherem Maße Kompensationsmechanismen zwischen Start- und Schossergabe wirksam. Die geringste Variation aller Ertragskomponenten weist die Tausendkornmasse aus. Die höheren Kornerträge von Batis gegenüber Toronto bei limitierter N-Versorgung beruhen vor allem auf dieser Ertragskomponente, während für die Sortendifferenzierungen bei höherem N-Angebot die Kornzahl je Fläche zunehmende Bedeutung erlangt. Batis schwankt in diesem Merkmal deutlich weniger, während ein zunehmendes N-Angebot besonders in frühen Stadien bei Toronto zu einer deutlichen Zunahme führt, was schließlich selbst unter sehr günstigen Bedingungen während der Abreife eine Verringerung der Tausendkornmasse zur Folge hat.

In dieser Arbeit konnten somit einige Aspekte der sortenunterschiedlichen Aufnahme von N in frühen Vegetationsphasen sowie der sortenspezifischen Verwertung von N für die Ausbildung der Ertragstruktur bei den Sorten Batis und Toronto aufgeklärt werden. Die Ergebnisse zu den aufgezeigten Mechanismen der sortenunterschiedlichen Regulation von N-Spätdüngungsmaßnahmen sollten aber durch weitere Untersuchungen, eventuell auch unter Einbeziehung eines größeren Sortenspektrums, noch ergänzt und abgesichert werden. Ergäben sich weitere Hinweise, dass den aufgezeigten sortenspezifischen Differenzierungen von Batis und Toronto eine größere Anzahl unterschiedlicher Regulationsphänomene zu Grunde liegt, könnten hieraus neue Zugänge zu ihrer systematischen Beeinflussung durch die Weizenzüchtung erschlossen werden.

6 Zusammenfassung

Die Winterweizensorten Batis und Toronto zeigten in mehrjährigen Feldversuchen regelmäßige Sortenunterschiede in der Aufnahme und Verwertung von Stickstoff. Dabei traten auch signifikante Wechselwirkungen Sorte x N-Düngung auf, die mit einfachen Annahmen zur negativen Beziehung zwischen Kornertrag und Kornprotein-Konzentration von Winterweizen nicht übereinstimmen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Einblicke in die möglichen Ursachen der sortenbedingten Unterschiede zwischen Batis und Toronto zu erhalten. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand die Aufklärung der während der Jugendentwicklung feststellbaren Unterschiede in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse und der Auswirkungen einer unterschiedlichen Handhabung der N-Düngung, insbesondere der N-Spätdüngung, im weiteren Vegetationsverlauf beider Sorten. Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Untersuchung der sortenbedingten Abstufungen in der Ertragsstruktur, die sich regelmäßig unter dem Einfluss eines differenzierten N-Angebotes zeigte.

In einem zweijährigen Feldversuch wurden deshalb die Sorten Batis und Toronto in Abhängigkeit einer nach Menge und Applikationszeitpunkt variierten mineralischen N-Düngung geprüft. Das N-Angebot variierte von 60 bis 240 kg ha⁻¹ N und wurde in bis zu vier Teilgaben (VB, EC 30, EC 32, EC 49) ausgebracht. Darüber hinaus waren ungedüngte Kontrollparzellen in den Versuch integriert. Zur Beschreibung der Ertragsbildung erfolgten zu insgesamt acht Terminen Zwischenernten der oberirdischen Biomasse und neben dem Verlauf der Trockenmassebildung und der Entwicklung der Pflanzen- und Triebzahlen, wurde die Aufnahme und Assimilation von N sowie dessen Verwertung untersucht. Hierzu wurden charakteristische Merkmale des C/N-Stoffwechsels bestimmt und in den Pflanzenproben die Gehalte an N, NO₃⁻-N, wasserlöslichen Kohlenhydraten sowie die Aktivität an Nitratreduktase ermittelt. Die Ertragsermittlung erfolgte anhand von Parzellenerträgen und mittels Ertragsstrukturanalyse von Einzelpflanzen.

Bereits im Jugendstadium zeigten sich signifikante Sortenunterschiede in der N-Konzentration der oberirdischen Biomasse, denen hauptsächlich Differenzierungen im Aneignungsvermögen des in der Bodenlösung verfügbaren NO₃⁻-N zu Grunde lagen. Toronto wies eine deutlich höhere Nitratreduktaseaktivität während der Jugendentwicklung auf und war in der Lage, den während der Bestockungsphase pflanzenverfügbaren N schneller als

Batis zu assimilieren. Als „Sink“ für den zusätzlich aufgenommenen N diente Toronto vor allem eine Erhöhung der Nebentriebbildung.

Im weiteren Vegetationsverlauf konnten Sortenunterschiede in der N-Akkumulation vor allem bei hoher N-Düngung festgestellt werden, denen eine zunehmend geringere N-Ausnutzung des pflanzenverfügbaren N-Angebotes durch Batis zu Grunde lagen. Bei geringer und mittlerer N-Versorgung zeigten sich dagegen kaum Unterschiede in der N-Aufnahme, da die höhere N-Konzentration von Toronto durch den zunehmend ähnlichen Verlauf der Biomassebildung beider Sorten maskiert wurde. Für die Sortenunterschiede im Korn-N-Ertrag waren neben Unterschieden in der N-Aufnahme auch Differenzierungen in der Mobilisation von vorblütlichem N aus der vegetativen Biomasse verantwortlich. Die Variation in der Gesamt-N-Aufnahme beider Sorten beruhte vor allem auf Differenzierungen der N-Einlagerung ins Korn, während die Variation der Stroh-N-Masse deutlich geringer ausfiel. Mit Verringerung des N-Angebotes nahm die Bedeutung sortenbedingter Unterschiede im Kornertrag zu und überlagerte schließlich bei fehlender ergänzender N-Düngung die Differenzierungen in der N-Konzentration des Korns. Die regelmäßig angedeuteten höheren N-Entzüge von Batis unter stark limitiertem N-Angebot beruhten vor allem auf diesem Effekt.

Auf die sortenspezifische Ausbildung der Ertragsstruktur wirkte sich vor allem die Handhabung der N-Düngung in frühen Vegetationsstadien aus. Hierbei zeigte sich, dass bei Toronto in höherem Maße als bei Batis Kompensationsmechanismen zwischen Start- und Schossergabe wirksam waren. Differenzierungen in den Reduktionsprozessen von Ertragsorganen waren dagegen gegenüber Unterschieden in der Organanlage von untergeordneter Bedeutung. Die höheren Kornertragsleistungen von Batis bei limitiertem N-Angebot beruhten vor allem auf der hohen Tausendkornmasse dieser Sorte, während für die Sortendifferenzierungen bei höherer N-Düngung die Kornzahl je Fläche zunehmende Bedeutung erlangte. Unter sehr günstigen Bedingungen während der Abreife konnte Toronto trotz absinkender Tausendkornmasse bei ausreichend hoher N-Versorgung ähnliche Ertragsleistungen wie Batis erzielen.

7 Literatur

ANDERL, A., A. MANGSTL und L. REINER (1983). Der Einfluss des Standortes auf Ertrag und Ertragsstruktur bei Winterweizen untersucht an der Datenbasis von ISPFPLANZ. Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch **59**(8): 946-973.

ANDREWS, M. (1986). The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. *Plant Cell and Environment* **9**: 511-519.

ANDREWS, M., J.D. MORTON, M. LIEFFERING und L. BISSET (1992). The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of a range of temperate cereals and pasture grasses. *Annals of Botany* **70**: 271-276.

ASLAM, M. und R.C. HUFFACKER (1984). Dependency of nitrate reduction on soluble carbohydrates in primary leaves of barley under aerobic conditions. *Plant Physiology* **75**: 623-628.

ASLAM, M., R. TRAVIS, D.W. RAINS und R.C. HUFFAKER (1996). Effect of ammonium on the regulation of nitrate and nitrite transport systems in roots of intact barley (*Hordeum vulgare* L.). *Planta* **200**: 58-63.

AUSTIN, R.B., J.A. EDRICH, M.A. FORD und R.D. BLACKWELL (1977a). The fate of dry matter, carbohydrates and ¹⁴C lost from leaves and stems of wheat during grain filling. *Annals of Botany* **41**: 1309-1321.

AUSTIN, R.B., M.A. FORD, J.A. EDRICH und R.D. BLACKWELL (1977b). The nitrogen economy of winter wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **88**: 159-167.

BÄNZIGER, M. (1992). Nitrogen efficiency of spring wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Dissertation. ETH Zürich.

BÄNZIGER, M., B. FEIL, J.E. SCHMID und P. STAMP (1992). Genotypic variation in grain nitrogen content of wheat as affected by mineral nitrogen supply in the soil. *European Journal of Agronomy* **1**: 155-162.

BÄNZIGER, M., B. FEIL, J.E. SCHMID und P. STAMP (1994a). Utilization of late-applied nitrogen by spring wheat genotypes. *European Journal of Agronomy* **3**: 63-69.

BÄNZIGER, M., B. FEIL und P. STAMP (1994b). Competition between nitrogen accumulation and grain growth for carbohydrates during grain filling of wheat. *Crop Science* **34**: 440-446.

BARNEIX, A.J., P.A. ARNOZIS und M.R. GUITMAN (1992). The regulation of nitrogen accumulation in the grain of wheat plants (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum* **86**: 609-615.

BARNEIX, A.J., D.M. JAMES, E.F. WALSON und E.J. LEWIS (1984). Some effects of nitrate abundance and starvation on metabolism and accumulation of nitrogen in barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Sonja). *Planta* **162**: 469-476.

BARRACLOUGH, P.B. (1986). The growth and activity of winter wheat roots in the field: nutrient uptakes of high-yielding crops. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **106**: 45-52.

BEEVERS, L. und R.H. HAGEMAN (1980). Nitrate and nitrate reduction. In: MIFLIN, B.J. *The biochemistry of Plants*. New York, Academic Press. **5**: 169-202.

- BEEVERS, L. und R.M. HAGEMAN (1969).** Nitrate reductase in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology **20**: 491-522.
- BENINATI, N.F. und R.H. BUSCH (1992).** Grain protein inheritance and nitrogen uptake and redistribution in a spring wheat cross. Crop Science **32**: 1471-1475.
- BEN-ZIONI, A., Y. VAADIA und S.H. LIPS (1971).** Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products in the shoot. Physiologia Plantarum **24**: 288-290.
- BERTHOLDSSON, N.-O. und V. STOY (1995a).** Accumulation of biomass and nitrogen during plant growth in highly diverging genotypes of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science **175**: 167-181.
- BERTHOLDSSON, N.-O. und V. STOY (1995b).** Yields of dry matter and nitrogen in highly diverging genotypes of winter wheat in relation to N-uptake and N-utilization. Journal of Agronomy and Crop Science **175**: 285-295.
- BHATIA, C.R. und R. RABSON (1976).** Bioenergetic considerations in cereal breeding for protein improvement. Science **194**: 1418-1421.
- BLACKLOW, W.M. und L.D. INCOLL (1981).** Nitrogen stress of winter wheat changed the determinants of yield and the distribution of nitrogen and total dry matter during grain filling. Australian Journal of Plant Physiology **8**: 191-200.
- BLOM-ZANDSTRA, G., H.T.M. KOOT, J. VAN HATTUM und A.C. BORSTLAP (1990).** Interactions of uptake of malate and nitrate into isolated vacuoles from lettuce leaves. Planta **183**: 10-16.
- BLOM-ZANDSTRA, G. und J.E.M. LAMPE (1983).** The effect of chloride and sulfate salts on the nitrate content in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.). Journal of Plant Nutrition **6**: 611-628.
- BLOM-ZANDSTRA, M. und J.E.M. LAMPE (1985).** The role of nitrate in osmoregulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown at different light intensities. Journal of Experimental Botany **36**: 1043-1052.
- BLOOM, A., R.M. CALDWELL, J. FINAZZO, R.J. WARNER und J. WEISSBART (1989).** Oxygen and Carbon dioxide fluxes from barley shoots depend on nitrate assimilation. Plant Physiology **91**: 352-356.
- BLOOM, A.J., L.E. JACKSON und D.R. SMART (1993).** Root growth as a function of ammonium and nitrate in the root zone. Plant Cell and Environment **16**: 199-206.
- BLUM, A. (1998).** Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. Euphytica **100**: 77-83.
- BOCK, B.R. (1984).** Efficient use of nitrogen in cropping systems. In: HAUCK, R.D. Nitrogen in crop production. Madison, American Society of Agronomy: 273-294.
- BÖHM, W. (1979).** Methods of studying root systems. Heidelberg, Springer Verlag.
- BRAUN, H. und G. FISCHBECK (1975).** Untersuchungen über sortenunterschiedliche Stickstoffaufnahme bei zwei Winterweizensorten. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau **141**: 141-150.
- BRENNER, K. und A. MANGSTL (1987).** Prognose des optimalen N-Sollwertes bei Wintergetreide. Kali-Briefe (Büntehof) **18**: 699-726.
- BUNDESSORTENAMT (1998).** Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Hannover, Landbuch Verlag.

- CAMPBELL, W.H. und J.R. KINGHORN (1990).** Functional domains of assimilatory nitrate reductase and nitrite reductases. *Trends in Biochemical Sciences* **15**: 315-319.
- CAMPBELL, W.H. und J. SMARELLI (1986).** Nitrate reductase: Its biochemistry and regulation. In: NEYRA, C.A. *Biochemical basis of plant breeding: 2. Nitrogen metabolism.* Boca Raton, FL, CRC Press: 1-39.
- CHAMPIGNY, M.L., T. LE VAN QUY, M.H. VALADIER und A. MOYSE (1991).** Short-term effects of nitrate on CO₂ photoassimilation and sucrose synthesis in wheat leaves. *Physiologie Végétale* **312**: 469-476.
- CHEVALIER, P. und L.E. SCHRADER (1977).** Genotypic differences in nitrate absorption and partitioning of N among plant parts in maize. *Crop Science* **17**: 897-901.
- CLARKSON, D.T. (1986).** Regulation of the absorption and release of nitrate by plant cells: A review of current ideas and methodology. In: LAMBERS, H., J.J. NEETESON und I. STULEN. *Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants.* Dordrecht, Martinus Nijhoff Publisher: 3-25.
- COOPER, H.D. und D.T. CLARKSON (1989).** Cycling of amino-nitrogen and other nutrients between shoots and roots in cereals - a possible mechanism integrating shoot and root in the regulation of nutrient uptake. *Journal of Experimental Botany* **40**: 753-762.
- COX, M., C.O. QUALSET und D.W. RAINS (1986).** Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. III. Nitrogen translocation in relation to grain yield and protein. *Crop Science* **26**: 737-740.
- COX, M.C., C.O. QUALSET und D.W. RAINS (1985a).** Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. I. Dry matter and nitrogen accumulation. *Crop Science* **25**: 430-435.
- COX, M.C., C.O. QUALSET und D.W. RAINS (1985b).** Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Science* **25**: 435-439.
- CRAMER, M.D. und O.A.M. LEWIS (1993).** The influence of NO₃⁻ and NH₄⁺ nutrition on the carbon and nitrogen partitioning characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants. *Plant and Soil* **154**: 289-300.
- CRAWFORD, N.M. (1995).** Nitrate: Nutrient and signal for plant growth. *The Plant Cell* **7**: 859-868.
- CRAWFORD, N.M., J.Q. WILKINSON und S.T. LABRIE (1992).** Control of nitrate reduction in plants. *Australian Journal of Plant Physiology* **19**: 379-385.
- CREGAN, P.B. und P. VAN BERKUM (1984).** Genetics of nitrogen metabolism and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. *Theoretical and Applied Genetics* **67**: 97-111.
- CROY, L.I. und R.H. HAGEMAN (1970).** Relationship of nitrate reductase activity to grain protein production in wheat. *Crop Science* **10**: 280-285.
- CZAUDERNA, R. (1992).** Ertragsbildung und Ertragsstruktur von Winterweizensorten unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushaltes und der Nährstoffaneignung. Dissertation. Universität Kiel.

- DALLING, M.J., G.M. HALLORAN und J.H. WILSON (1975).** The relation between nitrate reductase activity and grain nitrogen productivity in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **26**: 1-10.
- DALLING, M.J. und R.H. LOYN (1977).** Level of activity of nitrate reductase at the seedling stage as a predictor of grain nitrogen yield in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* **28**: 1-4.
- DARWINKEL, A. (1983).** Ear formation and grain yield of winter wheat as affected by time of nitrogen supply. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **31**: 211-225.
- DAVIDSON, D.J. und P.M. CHEVALIER (1992).** Storage and remobilization of water-soluble carbohydrates in stems of spring wheat. *Crop Science* **32**: 186-190.
- DAVIDSON, J.L. und J.M. BIRCH (1978).** Responses of standard australian and mexican wheat to temperature and water stress. *Australian Journal of Agricultural Research* **29**: 1091-1106.
- DAY, G.E., G.M. PAULSON und R.G. SEARS (1985).** Relationships among important traits in the nitrogen economy of winter wheat. *Journal of Plant Nutrition* **8**: 357-368.
- DE LA TORRE, A., B. DELGADO und C. LARA (1991).** Nitrate-dependent O₂ evolution in intact leaves. *Plant Physiology* **96**: 292-301.
- DECKARD, E.L. und R.H. BUSCH (1978).** Nitrate reductase assays as a prediction test for crosses and lines of spring wheat. *Crop Science* **18**: 289-293.
- DECKARD, E.L., R.J. LAMBERT und R.H. HAGEMAN (1973).** Nitrate reductase activity in corn leaves as related to yields of grain and grain protein. *Crop Science* **17**: 293-296.
- DECKARD, E.L., K.A. LUCKEN, L.R. JOPPA und J.J. HAMMOND (1977).** Nitrate reductase activity, nitrogen distribution, grain yield, and grain protein of tall and semidwarf near-isogenic lines of *Triticum aestivum* and *T. turgidum*. *Crop Science* **17**: 293-296.
- DEEGE, R. (1987).** Zum Einfluss der in-vitro-Nitratreduktase-Aktivität auf die N-Speicherung genetisch unterschiedlicher Winterweizen- und Sommergersten-Genotypen. Dissertation. Universität Gießen.
- DESAI, R.M. und C.R. BHATIA (1978).** Nitrogen uptake and nitrogen harvest index in durum wheat cultivars varying in their grain protein concentration. *Euphytica* **27**: 561-566.
- DHUGGA, K.S. und J.G. WAINES (1989).** Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop Science* **29**: 1232-1239.
- DIEPHOLDER, M. (1994).** Untersuchungen zur Ableitung von Richtlinien für die Optimierung der N-Düngung zu Winterweizen. Dissertation. TU München.
- DODDEMA, H. und H. OTTEN (1979).** Uptake of nitrate by mutants of *Arabidopsis thaliana* disturbed in uptake or reduction of nitrate. III. Regulation. *Physiologia Plantarum* **45**: 339-346.
- DRAPER, S.R. und B.A. STEWART (1980).** Procedures for the comparative assessment of quality in crop varieties. III. Methods used in assessing grain protein content, Hagberg falling number, ease of milling and the baking quality of wheat varieties. *Journal of the National Institute of Agricultural Botany* **15**: 1-14.
- EHDAIE, B. und J.G. WAINES (2001).** Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. *Field Crops Research* **73**: 47-61.

- EILRICH, G.L. und R.H. HAGEMAN (1973).** Nitrate reductase activity and its regulation to accumulation of vegetative and grain nitrogen in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science* **13**: 59-66.
- EL BASSAM, N. (1998).** A concept of selection for "low input" wheat varieties. In: BRAUN, H.-J., F. ALTAY, W.E. KRONSTAD, S.P.S. BENIWAL und A. MCNAB. *Wheat: Prospects for global improvement*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher: 153-158.
- ELLEN, J. (1990).** Effect of nitrogen and plant density on growth, yield and chemical composition of two winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science* **164**: 174-183.
- ELLEN, J. (1993a).** Growth, yield and composition of four winter cereals. I. Biomass, grain yield and yield formation. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **41**: 153-165.
- ELLEN, J. (1993b).** Growth, yield and composition of four winter cereals. II. Nitrogen and carbohydrate economy. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **41**: 235-246.
- ELLEN, J. und J.H.J. SPIERTZ (1980).** Effects of rate and timing of nitrogen dressing on grain yield formation of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Fertilizer Research* **1**: 177-190.
- ELLISON, F., N.F. DERERA und D.G. PEDERSON (1983).** Inheritance of physiological characters associated with yield variation in bread wheat. *Euphytica* **32**: 241-255.
- ENGELS, C. und H. MARSCHNER (1995).** Plant uptake and utilization of nitrogen. In: BACON, P.E. *Nitrogen fertilization in the environment*. New York, Marcel Dekker: 41-81.
- EVANS, J. (1983).** Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology* **72**: 297-302.
- EVANS, J.R. (1989).** Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* **78**: 9-19.
- EVANS, L.T. und I.F. WARDLAW (1976).** Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. *Advances in Agronomy* **28**: 301-359.
- FEIL, B. (1987).** Untersuchungen zur Physiologie und Morphologie alter und neuer Weizensorten (*Triticum aestivum* L.) unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushaltes. Dissertation. Universität Kiel.
- FEIL, B. (1998).** Physiologische und pflanzenbauliche Aspekte der inversen Beziehung zwischen Ertrag und Proteinkonzentration bei Getreidesorten: Eine Übersicht. *Pflanzenbauwissenschaften* **2**(1): 37-46.
- FEIL, B. und M. BÄNZIGER (1999).** Beziehungen zwischen dem Kornertrag und den Konzentrationen von Protein, Phosphor und Kalium in den Körnern von Sommerweizensorten. *Pflanzenbauwissenschaften* **3**(1): 1-8.
- FELLER, U. und A. FISCHER (1994).** Nitrogen metabolism in senescing leaves. *Critical Reviews in Plant Sciences* **13**(3): 241-273.
- FERNANDES, M.S. und R.O.P. ROSSIELLO (1995).** Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. *Critical Reviews in Plant Sciences* **14**(2): 111-148.
- FINK, M. (1994).** Einfluss der Wechselwirkungen zwischen Gülledüngung, mineralischer N-Düngung, Bodenbearbeitung und Fungizidbehandlung auf Wachstum, N-Aufnahme, Ertrag und N-Verwertung bei Winterweizen. Dissertation. Universität Kiel.

- FISCHBECK, G. und J. DENNERT (1998).** Sortenbedingte Differenzierungen der Aufnahme und Verwertung von Stickstoff bei Winterweizen. *Pflanzenbauwissenschaften* **2**(4): 176-182.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT und F.X. MAIDL (1997a).** Aufnahme von Stickstoff bei Einsatz von Spätdüngungsmaßnahmen zu Winterweizen. *Pflanzenbauwissenschaften* **1**(2): 49-56.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT und F.X. MAIDL (1997b).** Auswirkungen von N-Spätdüngungsmaßnahmen zu Winterweizen auf oberirdische Biomasse, Kornertrag und Proteingehalt bei unterschiedlicher N-Grunddüngung. *Pflanzenbauwissenschaften* **1**(4): 145-153.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT und R. MÜLLER (1990).** N-Dynamik des Bodens, Ertragsbildung und Stickstoffentzug von Winterweizen bei unterschiedlicher Höhe und Verteilung der mineralischen N-Düngung. *Journal of Agronomy and Crop Science* **164**: 297-311.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT und R. MÜLLER (1992a).** Ermittlung der N-Aufnahme von Winterweizen bei unterschiedlicher Höhe und Verteilung der mineralischen N-Düngung. *Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch* **69**(1): 89-109.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT und R. MÜLLER (1992b).** Untersuchungen zur Verwertung des Stickstoffs in der oberirdischen Biomasse von Winterweizen-Feldbeständen bei unterschiedlicher Höhe und Verteilung der mineralischen N-Düngung. *Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch* **69**(2): 131-147.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT und R. MÜLLER (1993).** Untersuchungen zur Optimierung der N-Aufnahme von Winterweizenbeständen durch ergänzende Düngungsmaßnahmen. *Journal of Agronomy and Crop Science* **171**: 82-95.
- FISCHER, R.A. (1981).** Optimizing the use of water and nitrogen through breeding of crops. In: MONTEITH, J. und C. WEBB. *Soil water and nitrogen in mediterranean-type environments*. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers: 249-278.
- FISCHER, R.A. (1993).** Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research* **33**: 57-80.
- FOWLER, D.B., J. BRYDON, B.A. DARROCH, M.H. ENTZ und A.M. JOHNSTON (1990).** Environment and genotype influence on grain protein concentration of wheat and rye. *Agronomy Journal* **82**: 655-664.
- FRIEND, D.J.C. (1965).** Tillering and leaf production in wheat as affected by temperature and light intensity. *Canadian Journal of Botany* **43**: 1063-1076.
- FUCHS, W. (1975).** Untersuchungen zum Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Anlage und Ausbildung des Ertragsmerkmals Ährchenzahl je Ähre bei Winterroggen, Winterweizen und zweizeiliger Sommergerste. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **19**(4): 277-286.
- FUNK, R. (1993).** Verlagerung und Abbau von Nitrat in tieferen Bodenschichten süddeutscher Ackerstandorte. Dissertation. TU München.
- GALLAGHER, L.W., M.S. KHAIRY, D.W. RAINS, C.O. QUALSET und R.C. HUFFAKER (1983).** Nitrogen assimilation in common wheat differing in potential nitrate reductase activity and tissue nitrate concentrations. *Crop Science* **23**: 913-919.

- GEBBING, T., H. SCHNYDER und W. KÜHBAUCH (1998).** Carbon mobilization in shoot parts and roots of wheat during grain filling: assesment by $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ steady-state labelling, growth analysis and balance sheets of reserves. *Plant, Cell and Environment* **21**: 301-313.
- GEBBING, T., H. SCHNYDER und W. KÜHBAUCH (1999).** The utilization of pre-anthesis reserves in grain filling of wheat. Assessment by steady-state $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ labelling. *Plant, Cell and Environment* **22**: 851-858.
- GEISLER, G. (1983).** Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Berlin, Paul Parey.
- GEISLER, G. und D. MAARUFI (1975).** Untersuchungen zur Bedeutung des Wurzelsystems von Kulturpflanzen. I. Der Einfluss des Bodenwassergehaltes und der Stickstoffdüngung auf Pflanzenwachstum, Wurzelmorphologie, Transpiration und Stickstoffaufnahme. *Journal of Agronomy and Crop Science* **141**: 211-230.
- GLAAB, J. (1996).** Das posttranslationale Regulationssystem der Nitratreduktase höherer Pflanzen. Dissertation. Universität Würzburg.
- GÖHLICH, F. (1996).** Stickstoffeffizienz von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) während der frühen Vegetationsphase in Abhängigkeit von der Stickstoffverfügbarkeit und der Saatstärke. Dissertation. ETH Zürich.
- GOODING, M.J. und W.P. DAVIES (1997).** Wheat production and utilization. Systems, quality and the environment. Wallingford, CAB International.
- GRANSTEDT, R.C. und R.C. HUFFAKER (1982).** Identification of the leaf vacuole as a major nitrate storage pool. *Plant Physiology* **70**: 410-413.
- GREENWOOD, D.J. (1978).** A theoretical model for the decline in the protein content in plants during growth. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **91**: 461-466.
- GREENWOOD, D.J., G. LEMAIRE, G. GOSSE, P. CRUZ, A. DRAYCOTT und J.J. NEETESON (1990).** Decline of percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* **66**: 425-436.
- GREGORY, P.H., B. MARSHALL und P. BISCOE (1981).** Nutrient relations of winter wheat. 3. Nitrogen uptake, photosynthesis of flag leaves and translocation of nitrogen to grain. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **96**: 539-547.
- GRIFFITHS, B. und D. ROBINSON (1992).** Root-induced nitrogen mineralization. A nitrogen balance model. *Plant and Soil* **139**: 253-263.
- GUTSCHIK, V.P. (1981).** Evolved strategies in nitrogen acquisition by plants. *The American Naturalist* **118**(5): 607-637.
- HAGEMAN, R.H., D. FLESHER und A. GITTER (1961).** Diurnal variation and other light effects influencing the activity of nitrate reductase and nitrogen metabolism in corn. *Crop Science* **1**: 201-204.
- HAGMAN, R.H. (1979).** Integration of nitrogen assimilation in relation to yield. In: HEWITT, E.J. und C.V. CUTTING. Nitrogen assimilation of plants. London, Academic Press: 591-648.
- HALLORAN, G.M. (1981).** Cultivar differences in nitrogen translocation in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **32**: 535-544.

- HANISCH, T., C.H. CATE und H. BRETELER (1981).** Role of sugars in nitrate utilization by roots of dwarf bean. *Physiologia Plantarum* **52**: 129-135.
- HÄNSEL, H. (1965).** Physiologie der Ertragsbildung und die Züchtung auf Ertrag bei Getreide. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* **54**: 97-110.
- HARMS, H. (1982).** Organogenese und Ertragsbildung der Weizenähre in Haupt- und Nebentrieben in Abhängigkeit von N-Versorgung, Standraum und Saatzeit. Dissertation. Universität Kiel.
- HARPER, J.E. und G.M. PAULSEN (1967).** Changes in reduction and assimilation of nitrogen during the growth cycle of winter wheat. *Crop Science* **7**: 205-209.
- HARPER, L.A., R.R. SHARPE, G.W. LANGDALE und J.E. GIDDENS (1987).** Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil, plant, and aerial nitrogen transport. *Agronomy Journal* **79**: 965-973.
- HAUNZ, F.X. (1990).** Untersuchungen über die Auswirkungen von Bodenverdichtungen in einer Fruchtfolge mit Körnerleguminosen. Dissertation. TU München.
- HEITHOLT, J.J., L.I. CROY, N.O. MANESS und H.T. NGUYEN (1990).** Nitrogen partitioning in genotypes of winter wheat differing in grain N concentration. *Field Crops Research* **23**: 133-144.
- HERNANDEZ, H.H., D.E. WALSH und A. BAUER (1974).** Nitrate reductase of wheat - its relation to nitrogen fertilisation. *Cereal Chemistry* **51**: 330-336.
- HEWITT, E.J. (1979).** Primary nitrogen assimilation from nitrate with special reference to cereals. *Crop physiology and cereal breeding. Proceedings of a eucarpia workshop*, 14-16 November 1978, Wageningen, Pudoc.
- HEYLAND, K.U. und H.E. KNOPF (1980).** N-Angebot und N-Aufnahme und ihr zeitlicher Bezug zur Ertragsbildung von Winterweizen und Wintergerste. *Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch* **57**(3): 359-375.
- HEYLAND, K.-U. und U. TRIEBEL (1986).** Gezielte Stickstoffdüngung zur gesteuerten Ertragsbildung von Winterweizen unter Berücksichtigung verschiedener anbautechnischer Maßnahmen. *Bodenkultur* **37**: 133-148.
- HOFF, T., B.M. STUMMANN und K.W. HENNINGSEN (1992).** Structure, function and regulation of nitrate reductase in higher plants. *Physiologia Plantarum* **82**: 197-204.
- HOFF, T., H.-N. TRUONG und M. CABOCHE (1994).** The use of mutants and transgenic plants to study nitrate assimilation. *Plant Cell and Environment* **17**: 489-506.
- HÖFNER, W. und K. ORLOVIUS (1977).** Einfluss der N-Düngung auf den ¹⁴C-Einbau in die Komponenten der äthanollöslichen Fraktion von Sommerweizen verschiedener Entwicklungsstadien. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **140**: 491-504.
- HOLE, D.J., A.M. EMRAN, Y. FARES und M.C. DREW (1990).** Induction of nitrate transport in maize roots, and kinetics of influx, measured with nitrogen-13. *Plant Physiology* **93**: 642-647.
- HOLTAN-HARTWIG, L. und O.C. BOCKMAN (1994).** Ammonia exchange between crops and air. *Norwegian Journal of Agricultural Science* **14**: 5-14.
- HUANG, B.-R., H.M. TAYLOR und B.L. MCMICHAEL (1991).** Behaviour of lateral roots in winter wheat as affected by temperature. *Environmental and Experimental Botany* **31**: 187-192.

- HUPPE, H.C. und D.H. TURPIN (1994).** Integration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **45**: 577-607.
- HUSTED, S., M. MATTSON und J.K. SCHJOERRING (1996).** Ammonia compensation points in two cultivars of *Hordeum vulgare* L. during vegetative and generative growth. *Plant Cell and Environment* **19**: 1299-1306.
- IMSANDE, J. und B. TOURAINE (1994).** N demand and the regulation of nitrate uptake. *Plant Physiology* **105**: 3-7.
- ISFAN, D., I. CSERNI und M. TABI (1991).** Genetic variation of the physiological efficiency index of nitrogen in triticale. *Journal of Plant Nutrition* **14**: 1381-1390.
- JACKSON, W.A., W.L. PAN, R.H. MOLL und E.J. KAMPRATH (1986).** Uptake, translocation and reduction of nitrate. In: NEYRA, C.A. *Biochemical basis of plant breeding: 2. Nitrogen metabolism*. Boca Raton, FL, CRC Press. **2**: 73-108.
- JACKSON, W.A., R.J. VOLK und D.W. ISRAEL (1980).** Energy supply and nitrate assimilation in roots systems. In: TANAKA, A. *Carbon-nitrogen interaction on crop production*. Tokyo, Japan Society for the Promotion of Science: 25-40.
- JACKSON, W.A., R.J. VOLK und T.C. TUCKER (1972).** Apparent induction of nitrate uptake in nitrate-depleted plants. *Agronomy Journal* **64**: 518-521.
- JENKINSON, D.S., R.H. FOX und J.H. RAYNER (1985).** Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called "priming" effect. *Journal of Soil Science* **36**: 425-444.
- JENNER, C.F., T.D. UGALDE und D. ASPINALL (1991).** The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* **18**: 211-226.
- JOHNSON, C.B., W.J. WHITTINGTON und G.C. BLACKWOOD (1976).** Nitrate reductase as a possible predictive test of crop yield. *Nature* **262**: 133-134.
- JOHNSON, V.A., P.J. MATERN und S.L. KUHR (1978).** Genetic improvement of wheat protein. *International symposium on seed protein improvement*, Neuherberg.
- JUSTES, E., B. MARY, J.-M. MEYNARD, J.-M. MACHET und L. THELIER-HUCHE (1994).** Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany* **74**: 397-407.
- KAGE, H. (1997).** Zur relativen Bedeutung von Massenfluß und Diffusion beim Nitrattransport zur Wurzel. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **160**: 171-178.
- KAISER, W.M. (1997).** II. Regulatory interaction of carbon- and nitrogen metabolism. *Progress in Botany* **58**: 150-163.
- KAISER, W.M. und J. FORSTER (1989).** Low CO₂ prevents nitrate reduction in leaves. *Plant Physiology* **96**: 363-367.
- KASPERBAUER, M.J. und D.L. KARLEN (1986).** Light mediated bioregulation of tillering and photosynthate partitioning in wheat. *Physiologia Plantarum* **66**: 159-163.
- KIBITE, S. und L.E. EVANS (1984).** Causes of negative correlations between grain yield and grain protein concentration in common wheat. *Euphytica* **33**: 801-810.

- KING, B.J., M.Y. SIDDIQI, T.J. RUTH, R.L. WARNER und A.D.M. GLASS (1993).** Feedback regulation of nitrate influx in barley roots by nitrate, nitrite and ammonium. *Plant Physiology* **102**: 1279-1286.
- KIRKBY, E.A. und M.J. ARMSTRONG (1980).** Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate assimilation of the shoot of castor oil plants. *Plant Physiology* **65**: 286-290.
- KLEINHOF, A. und R.L. WARNER (1990).** Advances in nitrate assimilation. In: MIFLIN, B.J. und P.J. LEA. *The biochemistry of plants*. San Diego, CA, Academic Press. **16**: 89-120.
- KNOFF, H.E. (1977).** N-Angebot und N-Aufnahme und ihr zeitlicher Bezug zur Ertragsbildung bei Winterweizen und Wintergerste. Dissertation. Universität Bonn.
- KRAMER, T. (1979).** Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* **28**: 209-218.
- KROPF, U. (1992).** Vegetative und generative Entwicklung von Haupt- und Nebentrieben des Winterweizens (*Triticum aestivum* L., cv. *Kanzler* und cv. *Ares*) - Felderhebungen auf ausgewählten Standorten der Bundesrepublik Deutschland in den Vegetationsperioden 1986/87 und 1987/88. Dissertation. Universität Kiel.
- KÜHBAUCH, W. und U. THOME (1989).** Nonstructural carbohydrates of wheat stems as influenced by sink-source manipulations. *Plant Physiology* **134**: 243-250.
- KUHLMANN, H., P.B. BARRACLOUGH und A.H. WEIR (1989).** Utilization of mineral nitrogen in the subsoil by winter wheat. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **152**: 291-295.
- LAINÈ, P., A. OURRY und J. BOUCAUD (1995).** Shoot control of nitrate uptake rates by roots of *Brassica napus* L.: Effects of localized nitrate supply. *Planta* **196**: 77-83.
- LANDES, A. (1989).** Phänologie, Morphogenese und Ertragsbildung von Weizen und Gerste unter dem Einfluss von Herbizidapplikationen zu unterschiedlich generativen Stadien bei verschiedenen Sorten und variiertes Stickstoffversorgung. Dissertation. Universität Kiel.
- LAUERER, M. (1996).** Wachstum, Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt von *Nicotiana tabacum* mit reduzierter Nitratreduktaseaktivität. Bayreuth, Selbstverlag.
- LAWLOR, D.W. (1994).** Relation between carbon and nitrogen assimilation, tissue composition and whole plant function. In: ROY, J. und E. GARNIER. *A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions*. The Hague, SPB Academic Publishing: 47-60.
- LAWLOR, D.W., A.C. KENDALL, A.J. KEYS und F.A. BOYLE (1988).** Nitrate nutrition and temperature effects on wheat: Synthesis of plant growth and nitrogen uptake in relation to metabolic and physiological processes. *Journal of Experimental Botany* **39**: 329-343.
- LE GOUIS, J., D. BÉGHIN, E. HEUMEZ und P. PLUCHARD (2000).** Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy* **12**: 163-173.
- LE VAN QUY, T., T. LAMAZE und M.L. CHAMPIGNY (1991).** Short-term effects of nitrate on sucrose synthesis in wheat leaves. *Planta* **185**: 53-57.
- LEE, R.B., J.V. PURVES, R.G. RATCLIFF und L.R. SAKER (1992).** Nitrogen assimilation and the control of ammonium and nitrate absorption by maize roots. *Journal of Experimental Botany* **43**: 1385-1396.

- LIMBERG, P. (1964).** Der Einfluss von Stickstoff auf Entwicklung und Ertragsbildung. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau **119**(2): 119-137.
- LOCHMANN, R., R.R. VAN DER PLOEG und B. HUWE (1989).** Zur Parametrisierung der Stickstoff-Mineralisierung in einem Ackerboden unter Feldbedingungen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde **152**: 319-324.
- LÖFFLER, C.M. und R.H. BUSCH (1982).** Selection for grain protein, grain yield, and nitrogen partitioning efficiency in hard red spring wheat. Crop Science **22**: 591-595.
- LOFFLER, C.M., T.L. RAUCH und R.H. BUSCH (1985).** Grain and plant protein relationship in hard red spring wheat. Crop Science **25**: 521-524.
- MACKOWN, C.T. und P.R. MCCLURE (1988).** Development of accelerated net nitrate uptake. Plant Physiology **87**: 161-166.
- MACKOWN, C.T., D.A. VAN SANFORD und N. ZHANG (1992).** Wheat vegetative nitrogen compositional changes in response to reduced reproductive sink strength. Plant Physiology **99**: 1469-1474.
- MAKOWSKI, D., D. WALLACH und J.M. MEYNARD (1999).** Models of yield, grain protein, and residual mineral nitrogen responses to applied N for winter wheat. Agronomy Journal **91**: 377-385.
- MANNHEIM, T., J. BRASCHKAT und H. MARSCHNER (1997).** Ammoniakemissionen aus alternden Pflanzen und bei der Zersetzung von Ernterückständen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde **160**: 125-132.
- MARSCHNER, H. (1995).** Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press.
- MARTINOIA, E., U. HECK und A. WIENECKEN (1981).** Vacuoles as storage compartments for nitrate in barley leaves. Nature **289**: 292-294.
- MASLE, J. (1985).** Competition among tillers in winter wheat: consequences for growth and development of the crop. In: DAY, W. und R.K. ATKIN. Wheat growth and modeling. New York, Plenum Press. **86**: 33-54.
- MAY, L., D.A. VAN SANFORD, C.T. MACKOWN und P.L. CORNELIUS (1991).** Genetic variation for nitrogen use in soft red x hard winter wheat populations. Crop Science **31**: 626-630.
- MCCAIG, T.N. und J.M. CLARKE (1982).** Seasonal changes in nonstructural carbohydrates levels of wheat and oats grown in a semiarid environment. Crop Science **22**: 963-970.
- MCKENDRY, A.L., P.B.E. MCVETTY und L.E. EVANS (1995).** Selection criteria for combining high grain yield and high grain protein concentration in bread wheat. Crop Science **35**: 1597-1602.
- MEHRHOFF, R. (1990).** Untersuchungen zum Metabolismus wasserlöslicher Kohlenhydrate (WLK) sowie der Respiration in vegetativen Organen von Weizen. Dissertation. Universität Bonn.
- MI, G., L. TANG, F. ZHANG und J. ZHANG (2000).** Is nitrogen uptake after anthesis in wheat regulated by sink size? Field Crops Research **68**: 183-190.
- MIFLIN, B.J. und P.J. LEA (1980).** Ammonia assimilation. In: MIFLIN, B.J. The biochemistry of plants. New York, Academic Press. **5**: 169-202.

- MOLL, R.H., E.J. KAMPRATH und W.A. JACKSON (1982).** Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* **74**: 562-564.
- MORRIS, C.F. und G.M. PAULSEN (1985).** Development of hard winter wheat after anthesis is affected by nitrogen nutrition. *Crop Science* **25**: 1007-1010.
- MULLER, B. und B. TOURAINE (1992).** Inhibition of NO₃⁻ uptake by various phloem-translocated amino acids in soybean seedlings. *Journal of Experimental Botany* **43**: 615-623.
- OAKS, A. (1986).** Biochemical aspects of nitrogen metabolism in a whole plant context. In: LAMBERS, H., J.J. NEETESON und I. STULEN. *Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants*. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publisher: 133-151.
- OURRY, A., J. BIGOT und J. BOUCAUD (1989).** Protein mobilization from stubble and roots, and proteolytic activities during post-clipping regrowth of ryegrass. *Journal of Plant Physiology* **134**: 298-303.
- PACCAUD, F.X., A. FOSSATI und C. HONG SHENG (1985).** Breeding for yield and quality in winter wheat: Consequences for nitrogen uptake and partitioning efficiency. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* **94**: 89-100.
- PAPAKOSTA, D.K. (1994).** Analysis of wheat cultivar differences in grain yield, grain nitrogen yield and nitrogen utilization efficiency. *Journal of Agronomy and Crop Science* **172**: 305-316.
- PAPAKOSTA, D.K. und A.A. GAGIANAS (1991).** Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal* **83**: 864-870.
- PATE, J.S. (1983).** Patterns of nitrogen metabolism in higher plants and their ecological significance. In: LEE, J.A., S. MCNEILL und I.H. RORISON. *Nitrogen as an ecological factor*. Oxford, Blackwell: 225-255.
- PATE, J.S. und D.B. LAYZELL (1990).** Energetics and biological costs of nitrogen assimilation. In: MIFLIN, B.J. und P.J. LEA. *The biochemistry of plants*. San Diego, CA, Academic Press. **16**: 1-42.
- PÉREZ, P., R. MARTINEZ-CARRASCO, I.M. MARTIN DEL MOLINO, B. ROJ und M. ULLOA (1989).** Nitrogen uptake and accumulation in grains of three winter wheat varieties with altered source-sink ratios. *Journal of Experimental Botany* **40**: 707-710.
- PITMANN, M. (1977).** Ion transport into the xylem. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **28**: 71-88.
- POMMER, G. (1990).** Accumulation and translocation of nitrogen in cultivars of winter wheat with different demands for nutrition. In: EL BASSAM, N., M. DAMBROTH und B.C. LOUGHMAN. *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 33-37.
- POMMER, G. und K. FINK (1989).** Untersuchungen über die Wirkung von Gülle und Mineraldüngung auf die Ertragsbildung von Winterweizensorten. *Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch* **46**(6): 749-755.
- POMMER, G. und K. FINK (1992).** Ausrichtung der zweiten Stickstoffgabe bei Winterweizen an der Entwicklung der Ährenanlagen in den Hauptthalmen. *Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch* **69**(4): 447-451.

- POWLSON, D.S., G. PRUDEN, A.E. JOHNSTON und D.S. JENKINSON (1986).** The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment: recovery and losses of ¹⁵N-labelled fertilizer applied in spring and inputs of nitrogen from the atmosphere. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **107**: 591-609.
- PUGNAIRE, F.I. und F.S. CHAPIN (1992).** Environmental and physiological factors governing nutrient resorption efficiency in barley. *Oecologia* **90**: 120-126.
- PUHL, T. (1986).** Über die Bedeutung von Stickstoff-Form und -Verteilung für die Ertragsbildung von Winterweizen unter variierten Standortbedingungen und Pflanzenschutzintensitäten. *Kali-Briefe (Büntehof)* **18**: 319-341.
- QUILLERÈ, I., C. DUFOSSÈ, Y. ROUX, C. FOYER, M. CABOCHE und J.F. MOROT-GAUDRY (1994).** The effects of deregulation of NR genes expression on growth and nitrogen metabolism of *Nicotiana plumbaginifolia* plants. *Journal of Experimental Botany* **45**: 1205-1211.
- RAO, A.C.S., J.L. SMITH, R.I. PAPENDICK und J.F. PARR (1991).** Influence of added nitrogen interactions in estimating recovery efficiency of labelled nitrogen. *Soil Science Society of America: Journal* **55**: 1616-1621.
- RAO, K.P., D.W. RAINS, C.O. QUALSET und R.C. HUFFAKER (1977).** Nitrogen nutrition and grain protein in two spring wheat genotypes differing in nitrate reductase activity. *Crop Science* **17**: 283-286.
- RAO, S.C. und L.I. CROY (1972).** Protease and nitrate reductase seasonal patterns and their relation to grainprotein production of "high" versus "low" protein varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **20**: 1138-1141.
- RAUHE, K., J. HOBERÜCK und B. SIEGERT (1987).** Untersuchungen zu langfristigen Wirkungsmechanismen von Stallmist- und Mineral-N im System Pflanze - Boden. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **31**: 711-718.
- RAVEN, J.A. (1985).** Regulation of pH and generation of osmolarity in vascular land plants: Cost and benefits in relation to efficiency of use of water, energy and nitrogen. *New Phytologist* **101**: 25-77.
- RAWSON, H.M. (1971).** An upper limit for spikelet number per ear in wheat, as controlled by photoperiod. *Australian Journal of Agricultural Research* **22**: 537-546.
- RAWSON, H.M. und L.T. EVANS (1971).** The contribution of stem reserves to grain development in a range of wheat cultivars of different height. *Australian Journal of Agricultural Research* **22**: 851-863.
- RECOUS, S. und J.-M. MACHET (1999).** Short-term immobilisation and crop uptake of fertilizer nitrogen applied to winter wheat: effect of date of application in spring. *Plant and Soil* **206**: 137-149.
- REED, A.J., F.E. BELOW und R.H. HAGEMAN (1980).** Grain protein accumulation and the relationship between leaf nitrate reductase and protease activities during grain development in maize (*Zea mays* L.). I. Variation between genotypes. *Plant Physiology* **66**: 164-170.
- REED, A.J., D.T. CANVIN, J.H. SHERRARD und R.H. HAGEMAN (1983).** Assimilation of [¹⁵N]nitrate and [¹⁵N]nitrite in leaves of five plant species under light and dark conditions. *Plant Physiology* **71**: 291-294.

- RETZER, F. (1995).** Untersuchungen zur Stickstoffverwertung von Weizenbeständen. Dissertation. TU München.
- RIGA, A., E. FRANCOIS, J.P. DESTAIN, J. GUIOT und R. OGER (1988).** Fertilizer nitrogen budget of $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$ and $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ split-applied to winter wheat in microplots on a loam soil. *Plant and Soil* **106**: 201-208.
- RODGERS, C.O. und A.J. BARNEIX (1988).** Cultivar differences in the rate of nitrate uptake by intact wheat plants as related to growth rate. *Physiologia Plantarum* **72**: 121-126.
- RUFY, T.W., C.D. RAPER und S.C. HUBER (1984).** Alterations in internal partitioning of carbon in soybean plants in response to nitrogen stress. *Canadian Journal of Botany* **62**: 501-508.
- RUFY, T.W., R.J. VOLK, P.R. MCCLURE, D.W. ISRAEL und C.D. RAPER (1982).** Relative content of NO_3^- and reduced N in xylem exudate as an indication of root reduction of concurrently absorbed $^{15}\text{NO}_3^-$. *Plant Physiology* **69**: 166-170.
- RUNGE, M. (1984).** Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In: LANGE, O.L., P.S. NOBEL, C.B. OSMOND und H. ZIEGLER. *Physiology plant ecology. III. Responses to the chemical and biological environment.* Heidelberg, Springer Verlag: 163-200.
- SATTELMACHER, B., W.J. HORST und H.C. BECKER (1994).** Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **157**: 215-224.
- SCHJØRRING, J.K. (1991).** Ammonia emission from the foliage of growing plants. In: SHARKEY, T.D., E.A. HOLLAND und H.A. MOONEY. *Trace gas emissions by plants.* New York, Academic Press: 267-292.
- SCHNUG, E. und U. STRAMPE (1988).** Sortentypische Unterschiede in der Nährelementkonzentration bei Winterweizen. *Journal of Agronomy and Crop Science* **160**: 163-172.
- SCHNYDER, H. (1993).** The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relations of wheat and barley during grain filling - a review. *New Phytologist* **123**: 233-245.
- SCHRADER, L.E. und R.J. THOMAS (1981).** Nitrate uptake, reduction and transport in the whole plant. In: BEWLEY, J.D. *Nitrogen and carbon metabolism.* Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers: 49-93.
- SIDDIQI, Y.M., A.D.M. GLASS, T.J. RUTH und M. FERNANDO (1989).** Studies of the regulation on nitrate influx by barley seedlings using $^{13}\text{NO}_3^-$. *Plant Physiology* **90**: 806-813.
- SIELING, K. und H. HANUS (1997).** N-Aufnahme und N-Verwertungseffizienz zweier Weizensorten bei varrierter mineralischer N-Düngung. *Pflanzenbauwissenschaften* **1**(2): 57-62.
- SIMMONDS, N.W. (1995).** The relation between yield and protein in grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **67**: 309-315.
- SIMMONS, S.R. und D.N. MOSS (1978).** Nitrate reductase as a factor affecting N assimilation during grain filling period in spring wheat. *Crop Science* **18**: 584-586.
- SIMPSON, R.J., H. LAMBERS und M.J. DALLING (1982).** Translocation of nitrogen in a vegetative wheat plant (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum* **56**: 11-17.

- SIMPSON, R.J., H. LAMBERS und M.J. DALLING (1983).** Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). IV. Development of a quantitative model of the translocation of nitrogen to the grain. *Plant Physiology* **71**: 7-14.
- SINCLAIR, T.R. und T. HORIE (1989).** Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science* **29**: 90-98.
- SINGHAL, N.C., K.N. SRIVASTAVA und S.L. METHA (1989).** Pattern of dry matter and protein accumulation in developing wheat seeds and their relationship. *Indian Journal of Genetics* **49**: 95-102.
- SOLOMONSON, L.P. und M.J. BARBER (1990).** Assimilatory nitrate reductase: Functional properties and regulation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **41**: 225-253.
- SPANAKAKIS, A. und A. VIEDT (1990).** Performance of winter wheat cultivars under reduced nitrogen conditions. In: EL BASSAM, N., M. DAMBROTH und B.C. LOUGHMAN. Genetic aspects of plant mineral nutrition. Amsterdam, Kluwer Academic Publisher: 465-473.
- SPIERTZ, J.H.J. und N.M. DE VOS (1983).** Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant and Soil* **75**: 379-391.
- SPIERTZ, J.H.J., N.M. DE VOS und L. TEN HOLTE (1984).** The role of nitrogen in yield formation of cereals, especially of winter wheat. In: GALLAGHER, E.J. Cereal production. London, Butterworths: 249-258.
- SPIERTZ, J.H.J. und J. ELLEN (1978).** Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **26**: 210-231.
- SPÖRL, S. und J. GRAZ (1981).** Zur Abhängigkeit der N-Nachlieferung in Ackerböden von Feuchtigkeit und Temperatur. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **25**: 213-218.
- STEINGRÖVER, E., J. SIESLING und P. RATERING (1986).** Effect of one night with "low light" on uptake, reduction and storage of nitrate in spinach. *Physiologia Plantarum* **66**: 557-562.
- STERN, W.R. und E.J.M. KIRBY (1979).** Primordium initiation at the shoot apex in four contrasting varieties of spring wheat response to sowing date. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **93**: 203-215.
- STREBEL, O. und W.H.M. DUYNISVELD (1989).** Nitrogen supply to cereals and sugar beets by mass flow and diffusion on a silty loam soil. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **152**: 135-141.
- STREBEL, O., H. GRIMME, M. RENGER und H. FLEIGE (1980).** A field study with nitrogen-15 of soil and fertilizer nitrate uptake and of water withdrawal by spring wheat. *Soil Science* **130**(4): 205-210.
- STULEN, I. (1986).** Interactions between nitrogen and carbon metabolism in a whole plant context. In: LAMBERS, H., J.J. NEETESON und I. STULEN. Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers. **261-278**.
- STUTTE, C.A. und P.R.F. DA SILVA (1981).** Nitrogen volatilization from rice leaves. 1. Effects of genotype and air temperature. *Crop Science* **21**: 596-600.

- SWIADER, J.M., Y. CHYAN und W.E. SPLITTSTOESSER (1991).** Genotypic differences in nitrogen uptake, dry matter production, and nitrogen distribution in pumpkins (*Cucurbita moschata* Poir.). *Journal of Plant Nutrition* **14**: 511-524.
- THEODORIDES, T.N. und C.J. PEARSON (1982).** Effect of temperature on nitrate uptake, translocation and metabolism in *Pennisetum americanum*. *Australian Journal of Plant Physiology* **9**: 309-320.
- THOME, U. und W. KÜHBAUCH (1985).** Change in the carbohydrate pattern in the cell content of wheat stems during grain-filling. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* **155**: 253-260.
- THORNE, G.N. (1982).** Distribution between parts of the main shoot and the tillers of photosynthate produced before and after anthesis in the top three leaves of main shoots of Hobbit and Maris Huntsman winter wheat. *Annals of Applied Biology* **101**: 553-559.
- TOTTMAN, D.R. (1987).** The decimal code for growth stages of cereals, with illustrations. *Annals of Applied Biology* **110**: 441-454.
- TOURAINÉ, B., D.T. CLARKSON und B. MULLER (1994).** Regulation of nitrate uptake at the whole plant level. In: ROY, J. und E. GARNIER. A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions. The Hague, SPB Academic Publishing: 11-30.
- TOURAINÉ, B. und C. GRIBNON (1982).** Energetic coupling of nitrate secretion into the xylem of corn roots. *Physiologie Végétale* **20**: 23-31.
- TOURAINÉ, B., N. GRIGNON und C. GRIGNON (1992).** Effect of phloem-translocated malate on NO₃⁻ uptake by roots of intact soybean plants. *Plant Physiology* **93**: 1118-1123.
- TSAI, C.Y., D.M. HUBER, D.V. GLOVER, H.L. WARREN und C.L. TSAI (1984).** Relationship of N-deposition to grain yield and N-response of three maize hybrids. *Crop Science* **24**: 277-281.
- VAN SANFORD, D.A. und C.T. MACKOWN (1987).** Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat. *Crop Science* **27**: 295-300.
- VIEDT, A. (1991).** Untersuchung zur Selektion auf Stickstoffeffizienz bei Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). Dissertation. Universität Göttingen.
- VIELEMAYER, H.-P., P. WEISSERT, W. PODLESÁK und R. JAUERT (1987).** Untersuchung des N-Aufnahmeverlaufs von Wintergetreide in Abhängigkeit von Standort, Jahr und N-Düngung. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* **31**(10): 657-666.
- VÖMEL, A. und U. EWERT (1981).** Stickstoffdüngung und Stickstoffverluste auf ackerbaulich genutzten Böden. *Berichte über Landwirtschaft* **197**: 205-222.
- VON WIRÉN, N., S. GAZZARRINI und W.B. FROMMER (1997).** Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. *Plant and Soil* **196**: 191-199.
- VOS, G.J.M., B. DUQUET, J.C. VEDY und J.A. NEYROUD (1993).** The course of 15N-ammonium nitrate in a spring barley cropping system. *Plant and Soil* **150**: 167-175.
- WARDLAW, I.F. (1968).** The control and pattern of the movement of carbohydrates in plants. *Botanical Review* **34**: 79-105.
- WARDLAW, I.F. und H.K. PORTER (1967).** The redistribution of stem sugars in wheat during grain development. *Australian Journal of Biological Science* **20**: 309-318.
- WARNER, R.L. und R.C. HUFFAKER (1989).** Nitrate transport is independent of NADH and NAD(P)H nitrate reductases in barley seedlings. *Plant Physiology* **91**: 947-953.

- WARNER, R.L. und A. KLEINHOF** (1992). Genetic and molecular biology of nitrate metabolism in higher plants. *Physiologia Plantarum* **85**: 245-252.
- WEBER, A.** (2001). Austausch stickstoffhaltiger Spurengase (NH₃, NO_x) zwischen Weizenpflanze und der Atmosphäre. Dissertation. TU München.
- WEBSTER, C.P., R.K. BELFORD und R.Q. CANNEL** (1986). Crop uptake and leaching losses of ¹⁵N labelled fertilizer nitrogen in relation to waterlogging of clay and sandy loam soils. *Plant and Soil* **92**: 89-101.
- WEILAND, R.T. und T.C. TA** (1992). Allocation and retranslocation of ¹⁵N by maize (*Zea mays* L.) hybrids under field conditions of low and high N fertility. *Australian Journal of Plant Physiology* **19**: 77-88.
- WETSELAAR, R. und G.D. FARQUHAR** (1980). Nitrogen losses from tops of the plants. *Advances in Agronomy* **33**: 263-301.
- WIESLER, F.** (1991). Sortentypische Unterschiede im Wurzelsystem und in der Nutzung des Nitratangebots des Bodens bei Mais. Dissertation. Universität Hohenheim.
- WIESLER, F. und W.J. HORST** (1994). Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. *Plant and Soil* **163**: 267-277.
- WILKINSON, J.Q. und N.M. CRAWFORD** (1993). Identification and characterization of a chlorate-resistant mutant of *Arabidopsis thaliana* with mutations in both nitrate reductase structural genes NIA1 and NIA2. *Molecular Genetics and Genomics* **239**: 289-297.
- WUEST, S.B. und K.G. CASSMAN** (1992). Fertilizer-nitrogen use efficiency in irrigated wheat: II. Partitioning efficiency of preplant versus late-season application. *Agronomy Journal* **84**: 689-694.
- ZHEN, R.G. und R.A. LEIGH** (1990). Nitrate accumulation by wheat (*Triticum aestivum*) in relation to growth and tissue N concentrations. In: VAN BEUSICHEM, M.L. *Plant nutrition - physiology and applications*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher: 17-20.
- ZIESERL, J.F., W.L. RIVENBARK und R.H. HAGEMAN** (1963). Nitrate reductase activity, protein content, and yield of four maize hybrids at varying plant populations. *Crop Science* **3**: 27-32.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

- Herrn Prof. Dr. G. Fischbeck für die Überlassung des Themas, seine mir gewährte Unterstützung und seine fachlichen Anregungen bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse,
- Herrn Prof. Dr. U. Schmidhalter für die Übernahme des Koreferates,
- der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung dieser Arbeit,
- Herrn Dr. R. Müller für die Bereitstellung der notwendigen Einrichtungen in Roggenstein und Herrn J. Dennert für die produktionstechnische Betreuung der Feldversuche,
- Frau G. Huber und Herrn D. Hirschel für die tatkräftige Mithilfe bei der umfangreichen Probennahme und –verarbeitung sowie allen namentlich nicht genannten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Versuchsstation Roggenstein für die gute Zusammenarbeit,
- Frau A. Zach und Frau I. Pfingstl für die unermüdliche Unterstützung bei der Probenaufbereitung und die zuverlässige Durchführung aller Pflanzenanalysen sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung für das angenehme Arbeitsklima und die Hilfsbereitschaft bei kleinen und großen Problemen,
- allen Hiwis, die an dieser Arbeit mitgewirkt haben für ihre Mithilfe: Frau B. Balarezo, Herrn H. Farjo, Herrn M.-A. Farjo, Frau B. Jacobsen, Frau S. Kellner, Frau C. Reinl, Frau V. Theilmann und Herrn S. Wielgoß,
- Herrn Dr. T. Gebbing und dem Lehrstuhl für Gründlandlehre der TU München für die freundliche Unterstützung bei den Kohlenhydratanalysen,
- Herrn Prof. W. M. Kaiser und dem Lehrstuhl für molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik der Universität Würzburg für die Unterrichtung in der Bestimmung der NRA,
- meinen Eltern, die mir diesen langen Ausbildungsweg ermöglicht haben und
- allen, die mir während dieser Zeit zur Seite standen, für ihre Unterstützung.
- Aber vor allem danke ich Cilli, ohne sie wäre diese Arbeit nicht entstanden.