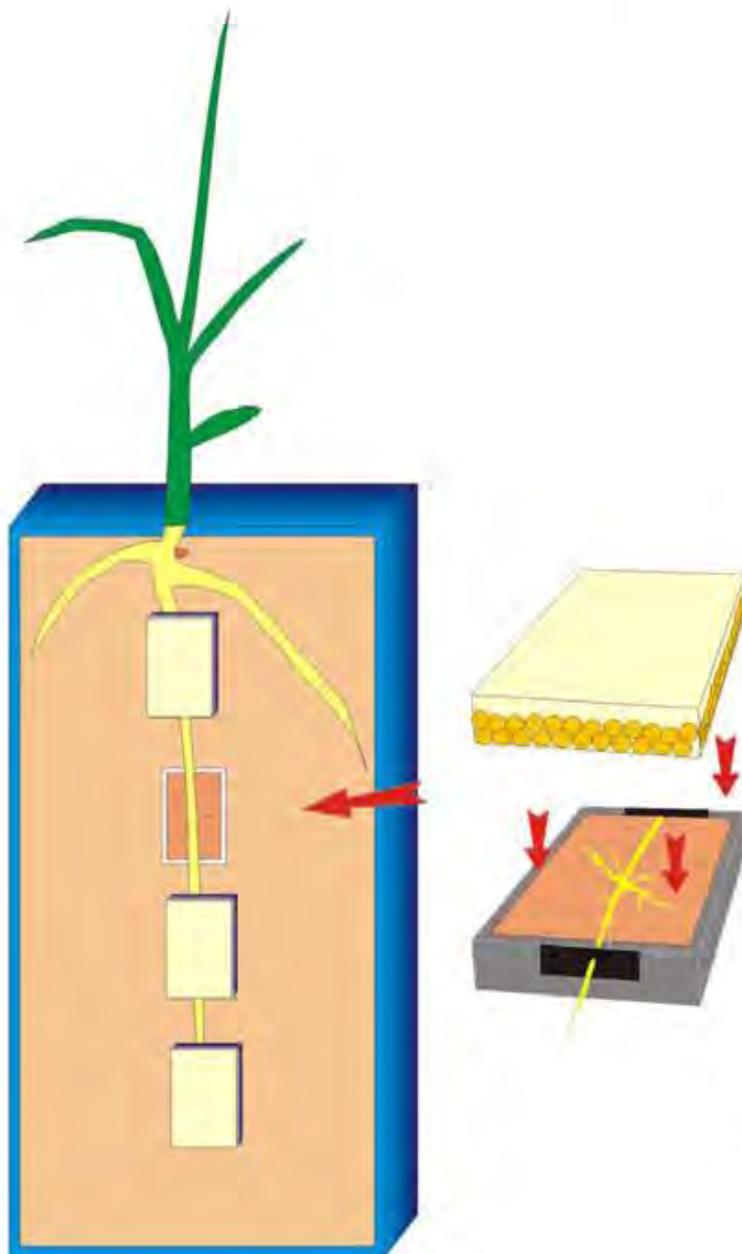


Bedeutung unterschiedlicher Wurzelzonen für die Nährstoffaufnahme von Mais (*Zea mays* L.) am Beispiel von Nitrat



Torsten Behrens



Cuvillier Verlag Göttingen

**Bedeutung unterschiedlicher Wurzelzonen für die
Nährstoffaufnahme von Mais (*Zea mays* L.)
am Beispiel von Nitrat**

Torsten Behrens

Cuvillier Verlag Göttingen 2002

CIP Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Behrens, Torsten:

Bedeutung unterschiedlicher Wurzelzonen für die Nährstoffaufnahme von Mais (*Zea mays* L.)
am Beispiel von Nitrat / Torsten Behrens

1. Aufl. – Göttingen : Cuvillier, 2002

ISBN

Diplomarbeit am Institut für Pflanzenernährung
des Fachbereichs Gartenbau der Universität Hannover 1996

© Cuvillier Verlag, Göttingen 2002

Nonnenstieg 8

37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Abstract

Mathematical models simulating nitrate uptake are subjected to the assumption that nitrate uptake of plant roots is uniform over the entire root system. Studies made with different experimental designs showed contradictory results. The objective of the present study was (a) to examine the nitrate uptake of young maize plants with different current techniques and (b) to create a new technique to measure uptake rates of different root zones in situ. The experimental system of the anion-exchange method was introduced, in which nitrate uptake rates of different root zones of young maize plants grown in soil were measured. The measurement was carried out on an intact root system of the primary root and took the root hairs into account. Four measuring compartments filled with soil, were installed in the mini rhizotrons successively in front of the primary root. In the measuring compartments the soil was completely depleted of nitrate by using agar blocks containing an anion-exchanger resin. After removing the agar blocks, a defined amount of nitrate was re-supplied in the measuring compartments. Nitrate uptake was calculated in each compartment after an experiment duration of 12 hours by determining the nitrate depletion of the soil and the root surface of the special root zones grown in the compartments.

In the experimental system nitrogen losses occurred independent of nitrogen uptake like denitrification and immobilization. These losses were quantified and stopped.

It was possible to measure the influence of different light conditions before and during the measuring on the nitrate uptake of young maize plants with the presented method.

Nitrate uptake rates, resulting from the anion-exchange method, were compared with uptake rates found in solution culture experiments, carried out partly parallelly. For that, average uptake rates of the whole root system were determined with the depletion method and uptake rates of different root zones with the compartment method.

With the anion-exchange method nitrate uptake rates were insignificantly higher than the rates resulting from the solution culture experiments. Taking the root hairs in the soil experiment into account, the calculated nitrate uptake rates decreased by 60 - 85 %. No clear gradients let themselves be seen for the nitrate uptake rates for different root zones, however the ability for nitrate uptake was retained over the complete root.

Keywords: Nitrate uptake, root zones, *Zea mays* L.

Mathematische Modelle zur Simulation der Nitrataufnahme unterliegen der Voraussetzung, dass die Nitrataufnahme von Pflanzenwurzeln gleichmäßig über das gesamte Wurzelsystem geschieht. Untersuchungen mit unterschiedlichen Versuchsdesigns zeigten bislang widersprüchliche Ergebnisse. Das Ziel der gemachten Untersuchung war (a) die Messung der Nitrataufnahme mit bestehenden Methoden und (b) die Entwicklung einer neuen Methode zur Messung der Nitrataufnahme unterschiedlicher Wurzelzonen "in situ". In der vorliegenden Arbeit wurde das Versuchssystem der Anionenaustauschermethode zur Messung der Nitrataufnahmerate unterschiedlicher Wurzelzonen von durchgehend im Boden gewachsenen Maispflanzen vorgestellt. Die Messung erfolgte am intakten Wurzelsystem der primären Keimwurzel, wobei auch die Wurzelhaare mit berücksichtigt wurden. In Rhizotrone wurden dazu vier mit Boden gefüllte Messgefäße jeweils vor die Keimwurzel eingesetzt. Der Boden in den Messgefäßen wurde zu Versuchsbeginn mittels Auflegen eines Anionenaustauscherpaketes vollständig an Nitrat verarmt und anschließend eine definierte Nitratmenge eingestellt. Nach einer Dauer von 12 Stunden konnte die Nitratverarmung in den Bodenschalen und die darin gewachsene Wurzeloberfläche ermittelt werden, woraus die Nitrataufnahmerate an unterschiedlichen Wurzelzonen errechnet werden konnte.

Im Versuchssystem traten Stickstoffverluste unter anderem durch Denitrifizierung und Immobilisierung auf. Diese wurden anteilmäßig quantifiziert und in späteren Versuchen abgestellt.

Mit dieser Methode war es möglich, den Einfluss der Belichtung vor und während der Messung auf die Nitrataufnahmerate der Maispflanzen zu messen.

Die mit der Anionenaustauschermethode erzielten Nitrataufnahmeraten wurden mit denen zum Teil parallel durchgeführter Nährlösungsversuche verglichen. Dazu wurden die mittlere Aufnahme über das gesamte Wurzelsystem sowie die Aufnahmeunterschiede unterschiedlicher Wurzelzonen mit der Kompartimentmethode.

Mit der Anionenaustauschermethode wurden unwesentlich höhere Nitrataufnahmeraten gemessen, als in den Nährlösungsversuchen. Wurden allerdings die Wurzelhaare in die Berechnung mit einbezogen, so verminderten sich die Nitrataufnahmeraten um 60 - 85 %. Es zeigten sich keine eindeutigen Gradienten in den Aufnahmeunterschieden unterschiedlicher Wurzelzonen, allerdings blieb die Fähigkeit zur Nitrataufnahme über die gesamte Wurzel erhalten.

Schlagworte: Nitrataufnahme, Wurzelzonen, Zea mays L.

Inhaltsverzeichnis

A	Einleitung	1
B	Material und Methoden	4
1	Methodische Untersuchungen zur Verarmung von Boden an Nitrat mit nachfolgendem Angebot definierter Nitratmengen.	5
1.1	Versuchsdurchführung	6
1.2	Bestimmung der Nitratgehalte in Bodenextraktionslösungen	9
2	Voruntersuchungen zur Messung der Nitrataufnahmerate von Mais	9
2.1	Rhizotronversuch	10
2.1.1	Versuchsdurchführung	10
2.1.2	Bestimmung der Nitratgehalte in der Bodenextraktionslösung, des Wurzel- durchmessers, der Wurzellänge und der Wurzeloberfläche	14
2.1.3	Berechnung der Nitrataufnahmerate pro Einheit Wurzeloberfläche	14
2.2	Nährlösungsversuch	15
2.2.1	Versuchsdurchführung	15
2.2.2	Bestimmung der Nitratkonzentrationen in der Nährlösung und der Wurzel- Parameter	17
2.2.3	Berechnung der Nitrataufnahmerate pro Einheit Wurzeloberfläche	18
3	Nitratverarmung des Boden mittels einer Dialysemembran	18
4	Messung der N-Verluste durch Denitrifikation	20
5	Bestimmung der N-Verluste durch Immobilisierung	24
6	Einfluss von CAP auf die Nitrataufnahmerate	25
6.1	Messung der mittleren Nitrataufnahmerate über das gesamte Wurzelsystem	26
6.2	Messung der Nitrataufnahmerate unterschiedlicher Wurzelzonen in der Nährlösung	26
6.3	Kurzfristiger Einfluss von CAP auf die pH-Veränderungen während der Nitrataufnahme im Agar	28
7	Abschließende Untersuchung zur Messung der Nitrataufnahmerate von Mais nach der verbesserten Versuchsmethode	30

8	Statistik	31
C	Ergebnisse	32
1	Morphologische Untersuchungen	32
2	Methodische Untersuchungen zur Nitratverarmung des Bodens mit der Anionenaustauschermethode	35
2	Voruntersuchung zu Messung der Nitrataufnahmerate von Mais mit der Anionenaustauschermethode	36
4	Verbesserung der Anionenaustauschermethode durch eine Dialysemembran	39
5	Einfluss der Denitrifikation auf die N-Verluste aus den Messgefäßen	39
5.1	Messung der gasförmigen N-Verluste durch Denitrifikation durch Denitrifikation an unterschiedlichen Wurzelzonen	39
5.2	Messung der potentiellen gasförmigen N-Verluste durch Denitrifikation aus den Messschalen	40
5.3	Absenken des Bodenwassergehaltes nach der Nitratverarmung in den Messgefäßen	41
6	Überprüfung der N-Verluste aus den Messschalen ohne Pflanzen	42
7	Einfluss von des Antibiotikums Chloramphenicol auf die Nitrataufnahme von Mais	44
7.1	Überprüfung der mittleren Nitrataufnahmerate über das gesamte Wurzelsystem unter Antibiotikaeinfluss mit der Anionenaustauschermethode	44
7.2	Überprüfung der Nitrataufnahmerate unterschiedlicher Wurzelzonen unter Antibiotikaeinfluss mit der Kompartimentmethode	45
7.3	Einfluss von Chloramphenicol auf die pH-Veränderungen während der Nitrataufnahme im Agar	46
8	Abschließende Untersuchung zur Messung der Nitrataufnahmerate von Mais nach der verbesserten Anionenaustauschermethode	48

D	Diskussion	52
1	Mögliche Gründe für Unterschiede in der Nährstoffaufnahme unterschiedlicher Wurzelzonen	52
1.1	Anatomische Unterschiede im Wurzelbau mit zunehmendem Wurzelalter	52
1.2	Physiologische Ursachen für Unterschiede in der Nährstoffaufnahme entlang der Wurzel	59
2	Methoden zur Beurteilung der Nitrataufnahmerate unterschiedlicher Wurzelzonen	60
3	Beurteilung der ermittelten Ergebnisse zur Messung der Nitrataufnahmerate	62
4	Bedeutung unterschiedlicher Wurzelzonen für die Nährstoffaufnahme der Pflanze	69
E	Ausblick	75
F	Zusammenfassung	77
G	Literaturverzeichnis	78

A Einleitung

Das Wurzelsystem als eine *“black box“* hat das Interesse der Wissenschaftler bereits seit vielen Jahren geweckt. Aus diesem Grund ist auch die Bedeutung der Durchwurzelungsintensität im Boden oft im Zusammenhang mit der Nährstoffaufnahme der Pflanze untersucht worden (WIERSUM, 1962; CORNFORTH, 1968; MACKAY und BARBER, 1986). Dabei weisen die erzielten Ergebnisse insbesondere auf den Einfluss der Wurzellängendichten für die Aufnahme von wenig mobilen und in geringen Konzentrationen vorkommenden Ionen hin. Im Gegensatz dazu wird der Durchwurzelungsintensität für die Nutzung des Nitratangebots im Boden aufgrund der hohen Mobilität von Nitrat im Boden im allgemeinen nur eine geringe Bedeutung beigemessen, da der Nitrattransport auch aus größeren Entfernungen erfolgen kann (BURNS, 1980; ROBINSON und RORISON, 1983; BARRACLOUGH, 1989). So konnte in Gefäßversuchen (WIERSUM, 1962; CORNFORTH, 1968; ANDREWS und NEWMAN, 1970) sowie in Feldversuchen (KUHLMANN et al., 1989) gezeigt werden, dass bereits eine geringe Durchwurzelungsintensität ausreichend ist, um den Boden weitgehend an Nitrat zu verarmen. Gestützt wird diese Annahme auch durch Berechnungen mit Simulationsmodellen (z. B. BALDWIN et al., 1973; BURNS, 1980; De WILLINGEN und VAN NOORDWIJK, 1987), deren Ergebnisse erkennen lassen, dass von Veränderungen der Wurzellängendichte kaum ein Einfluss auf die Nitrataufnahme ausgeht. Interessanterweise konnte in einer neueren Untersuchung von WIESLER und HORST (1994) dagegen ein positiver Einfluss der Durchwurzelungsintensität auf die Nutzung des Nitratangebots des Bodens aufgezeigt werden. Aus den Ergebnissen kann die Bedeutung einer intensiven Durchwurzelung des Unterbodens für die Nutzung eines hohen Nitratangebots aus größeren Bodentiefen abgeleitet werden. Der Widerspruch zwischen diesem experimentellen Ergebnis und den Berechnungen mit Simulationsmodellen könnte nach ROBINSON et al. (1991) auf vereinfachende und nicht gerechtfertigte Annahmen beruhen, die den Modellen in der Regel unterstellt werden. Unter anderem setzt besonders das Modell von BALDWIN et al. (1973) voraus, dass die Pflanzenwurzel als einheitliches System Ionen über die gesamte Wurzel aufnimmt. Unterschiede in der Anatomie entlang der Wurzel, wie zum Beispiel die Ausbildung der Leitbündel, der Zustand der Endodermis, die Ausbildung der Exodermis oder zeitlich begrenzte Lebensfähigkeit der Wurzelhaare bleiben dabei völlig unberücksichtigt. Diese anatomischen Unterschiede im Aufbau der Wurzel müssen die Ionenaufnahme jedoch nach einer Annahme von MARSCHNER und RICHTER (1973) in den einzelnen Wurzelzonen beeinflussen. Aus diesem

Grund wurden verschiedene Methoden entwickelt, um die Ionenaufnahmeraten entlang der Wurzel zu bestimmen. Im allgemeinen wurde dabei für die meisten Ionen die stärkste Aufnahme an der Wurzelspitzenregion und dann zurückgehende Aufnahmeraten mit zunehmendem Abstand von der Wurzelspitze ermittelt. Der Hauptaufnahmebereich lag hierbei aufgrund der fehlenden Vakuolenbildung nicht etwa direkt an der meristematischen Zone, sondern einige Millimeter von ihr entfernt.

Für die Messung der Nitrataufnahme wurden dabei in der Regel wenige Tage alte Pflanzen verwendet, die in Nährlösung kultiviert wurden. Dabei lassen Messungen der Nitrataufnahme mittels nitratselektiver Mikroelektroden (HENDRIKSEN et al., 1989), ^{15}N markierter Nährlösung (LAZOF et al., 1992) Wurzelsegmenten (CRUZ et al., 1995) und geteilter Küvetten (SIEBRECHT et al., 1995) eine ausgeprägte Heterogenität der Nitrataufnahme zwischen den einzelnen Wurzelzonen erkennen. Bezüglich von in Boden herangezogenen Pflanzen liegen dagegen wegen der erschwerten Durchführbarkeit erst sehr wenige Untersuchungen hinsichtlich der Aufnahmeraten von Nährstoffen in unterschiedlichen Wurzelzonen vor. Einen methodischen Ansatz zur Messung der Phosphataufnahme verschiedener Wurzelzonen von in Boden kultivierten Pflanzen stellten erstmals ERNST et al. (1989) vor. Dabei wurden Agarstreifen mit markiertem (^{32}P) Phosphat auf die Grenzzone Boden/Wurzel gelegt, Audiogramme dieser Grenzzone hergestellt und die Pflanzen radiochemisch analysiert. Aus der Ausdehnung der Verarmungszone an Phosphat um die Wurzel konnten Rückschlüsse auf die Aufnahmekapazität unterschiedlicher Wurzelzonen gezogen werden. Für die Messung der Nitrataufnahmerate kann diese Methode jedoch nicht übertragen werden. Bestehende Methoden zur Nitrataufnahmerate wurden bislang so durchgeführt, dass die zur Messung herangezogenen Wurzeln einer Wurzelzone aus dem Boden herauspräpariert und anschließend mit nitrathaltigen Agarblöcken belegt wurden. Über die Ermittlung der Nitratverarmung der aufgelegten Agarblöcke (REIDENBACH und HORST, 1995) bzw. der Anreicherung von $^{15}\text{N-NO}_3$ in den Pflanzen (BRADY et al., 1993) konnten jeweils die Nitrataufnahmeraten verschiedener Wurzelzonen errechnet werden. Mittels dieser Methoden konnten signifikante Unterschiede in den Nitrataufnahmeraten unterschiedlicher Wurzelzonen nachgewiesen werden. Allerdings wurden dabei die Wurzeln einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt. Besonders die Wurzelhaare wurden dabei massiv geschädigt.