

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.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine weitgehend wurzelschonende Methode zur “*in situ*“-Messung von Nährstoffaufnahme­raten unterschiedlicher Wurzel­zonen an intakten Mais­pflanzen am Beispiel von Nitrat vorzustellen.

B Material und Methoden

Es gibt viele mögliche experimentelle Ansätze, um die Nitrataufnahmerate unterschiedlicher Wurzelzonen zu bestimmen. Ein Nachteil bisher bestehender Methoden zur Messung der Nitrataufnahmerate besteht jedoch darin, dass die Messungen nicht direkt im Boden stattfinden können. Die verwendeten Wurzeln werden daher je nach Methode vor bzw. während des Versuches ablaufes mehr oder weniger geschädigt.

In der vorliegenden Untersuchung soll eine Methode vorgestellt werden, deren Ziel es ist, Nitrataufnahmeraten an Wurzeln *“in situ“* zu messen. Dabei werden Maispflanzen elf Tage in Minirhizotronen kultiviert. In die Minirhizotrone werden dann nacheinander vier mit Boden gefüllte Messschalen jeweils vor der primären Keimwurzel eingesetzt (Abb. 1 A-C). Die Wurzel durchwächst die Messschalen, die dann mittels Anionenaustauscherpaketen vollständig an Nitrat verarmt werden (Abb.1 D). Nach einer festgesetzten Verarmungszeit wird in den Messgefäßen erneut eine definierte Nitratmenge angeboten (Abb.1 E). Nun werden die Wurzeln behutsam aus dem Boden präpariert (Abb. 1 F). Die Wurzeln werden kurzfristig in einer Kaliumchloridlösung aufbewahrt und anschließend die Wurzeloberfläche bestimmt (Abb. 1 G). Die Messgefäße werden mit dem Boden gefriergetrocknet (Abb. 1 H) und der Nitratgehalt im Boden ermittelt. Abschließend wird die Nitratverarmung im Boden aus der Angebotsmenge und der Nitratrestmenge bestimmt. Aus der Nitratverarmung und der Wurzeloberfläche wird die Nitrataufnahmerate pro Zeiteinheit bestimmt.