

Fachgebiet 4

Bodenkunde
80. Folge

Nr. 5/1984

K-Verarmung der Grenzflächen zwischen Boden und Wurzel in Beziehung zu den Bodenparametern und den Wurzeleigenschaften

(Potassium depletion of the soil-root interface in relation to soil parameters and
root properties)

Prof. Dr. A. Jungk, N. Claassen, R. Kuchenbuch

Universität Hannover, Institut für Pflanzenernährung, Hannover,
Bundesrepublik Deutschland

Abdruck von: Plant Nutrition 1982. Proceed. 9th Int. Plant Nutrition
Colloquium, Warwick University, England, Aug. 22.—27., 1982.
Vol. 1, 250—255

Zusammenfassung

Mit der quantitativen Autoradiographie und mit Dünnscheiben von rhizosphärem Boden wurde die Kaliumverarmung an den Wurzeln studiert. Im Radius von ungefähr 3 mm um junge Mais- und Rapswurzeln wurden steile Gradienten in der K-Konzentration gefunden. Sowohl der Grad der Verarmung als auch das räumliche Ausmass der Verarmungszone hing von der Bodentextur und vom K-Gehalt ab. Pro Einheit rhizosphären Boden überschritt die innerhalb von wenigen Tagen freigesetzte K-Menge die des austauschbaren K um einen Faktor von 2. Die Bodenlösung von verschiedenen Böden wurde auf ungefähr 2 $\mu\text{Mol K/l}$ verarmt.

Zur Simulation der K-Verarmung durch Wurzeln wurden Bodenproben wiederholt mit einer kalifreien Bodenlösung extrahiert. Auf diese Weise wurde die Gleichgewichtskonzentration auch auf 2 $\mu\text{Mol K/l}$ reduziert, und es wurden grosse Mengen von nichtaustauschbarem K vom Boden freigesetzt.

Bei 5 Pflanzenarten differierte die Rate der K-Aufnahme pro Einheit Wurzel deutlich in Abhängigkeit von der Länge der Wurzelhaare. Die K-Konzentration des Schosses von 3 Arten befand sich in enger Beziehung zum Produkt von a) Rate der K-Aufnahme pro cm Wurzel, b) dem Verhältnis Wurzel/Schoss und c) dem mittleren Alter der Wurzel.

Die Verfügbarkeit des Bodenkalkiums wird sowohl von Boden- als auch von Pflanzenfaktoren beeinflusst. Da die K-Konzentration der Bodenlösung niedrig ist, erfolgt der K-Transport vom Boden zur Pflanzenwurzel hauptsächlich durch Diffusion (Barber, 1962). Die Diffusion hängt von den Konzentrationsgradienten ab. Der Grad der K-Verarmung an der Wurzeloberfläche sollte daher wesentlich sein für die Bewegung von K zu den Wurzeln. Dazu kommt, dass die Verarmung der Bodenlösung die Freisetzung von K von nichtaustauschbaren Quellen vergrößert. Von den Pflanzenfaktoren ist in dieser Hinsicht das Verhältnis Wurzel/Schoss wichtig. Die anderen morphologischen Eigenschaften der Wurzeln beeinflussen aber die Kaliumversorgung von Pflanzen ebenfalls, so zum Beispiel die Ausbildung von Wurzelhaaren. Das Ziel der hier vorgelegten Arbeit bestand in der Beschaffung von quantitativen Informationen über die K-Verarmung von Boden in der Nachbarschaft von Wurzeln mit besonderer Bezugnahme auf den Einfluss der oben erwähnten Faktoren.

Materialien und Methoden

Die Verteilung des K um die Wurzeln herum wurde mit zwei verschiedenen Methoden bestimmt: (1) Mit der von Claassen u.a. (1981) beschriebenen quantitativen Autoradiographie nach der Markierung des Bodens mit ⁴³K. Die Filmdichte der Autoradiographien wurden mit einem Mikroskop-Photometer gemessen. Die Profile der K-Konzentration wurden in Kombination mit Desorptionstudien bestimmt. (2) Die Pflanzen wurden in kleinen Behältern kultiviert, in denen die Wurzeln vom Boden durch ein Nylonsieb getrennt waren, wie von Kuchebuch und Jungk (1982) dargestellt worden ist. Der den Wurzeln anliegende Boden wurde in Scheiben von 0,1 mm Dicke geschnitten, individuell analysiert und die Ergebnisse als Funktion des Abstandes von der Wurzel aufgetragen. Auf diese Weise wurde es möglich, die Bestimmung der K-Verteilung nahe bei den Wurzeln mit einer Bilanz der gemessenen K-Menge zu kombinieren als a) Verlust aus dem Boden und b) Aufnahme durch die Pflanze.

Die Länge der Wurzeln wurde ermittelt nach Newman (1966) und die Wurzelhaare nach dem von Hendriks u.a. (1981) veröffentlichten Verfahren. Die Konzentration der Bodenlösung wurde in der verdünnten Lösung bestimmt (Adams, 1974). Die reziproke Größe der relativen Wachstumskonstante wurden als mittleres Wurzelalter angenommen.

Ergebnisse und Besprechung

In Figur 1 werden die durch Autoradiographie ausgewerteten Verarmungsprofile von zwei Böden gezeigt. Das Profil der vom Boden freigesetzten K-Menge ist den Profilen der Phosphatverarmung von Bhar und Aye (1967) ähnlich. Die Zone der maximalen Verarmung entspricht ungefähr der durchschnittlichen Länge der Wurzelhaare (0,7 mm) der benutzten Maispflanzen. Der Grad der Verarmung befand sich in Beziehung zum austauschbaren K, das in Figur 1 durch Pfeile angedeutet wird. Die aus dem Boden nahe der Wurzeloberfläche freigesetzte Kaliummenge betrug ungefähr das Doppelte der vor der Verarmung vorhandenen Menge des austauschbaren K. Dies zeigt, dass die Pflanzen einen beträchtlichen Prozentsatz von nichtaustauschbarem K nutzen können. Diese Wirkung beschränkt sich aber auf die unmittelbare Umgebung der Wurzeln.

Bei Beginn des Versuchs war die Konzentration der Bodenlösung im Sandboden viel höher als im Schluffeihn. Aber nach 2,5 Tagen war sie in beiden Böden auf etwa 2 µMol K/l an der Wurzeloberfläche reduziert. Dies weist darauf hin,

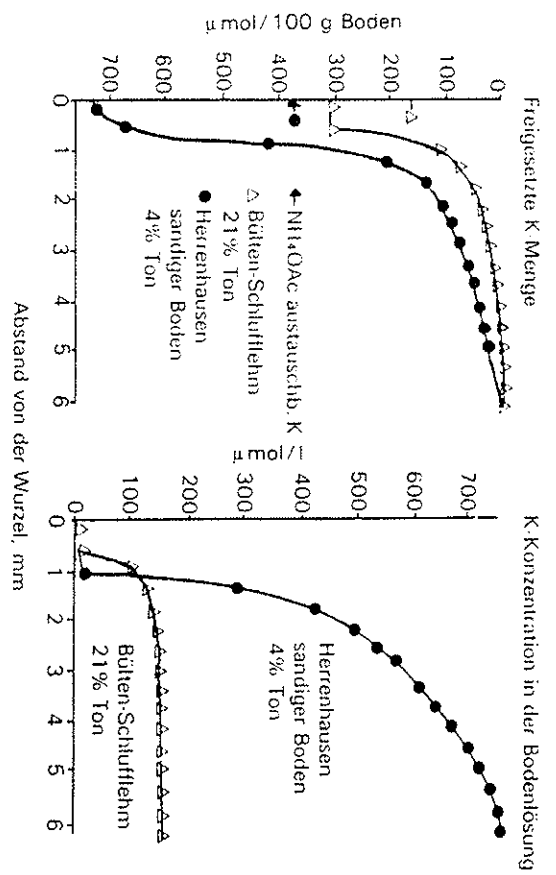


Fig. 1 Verarmung an mit ⁴³K markiertem Kalium im sandigen und Schluffleimboden um Maiswurzeln im Alter von 2,5 Tagen. Die Pfeile zeigen das austauschbare K vor der Verarmung an.

dass die Pflanze rasch das umgebende K bis auf eine bestimmte minimale Konzentration ausschöpft; dies verstärkt durch Schaffung des maximal möglichen Konzentrationsgradienten die Diffusion wie auch die Freisetzung von K aus nichtaustauschbaren Quellen.

Zwecks Simulation der K-Verarmung des Bodens durch Pflanzenwurzeln wurde mit ⁴³K markierter Blüten-Schluffeihn wiederholt mit einer Lösung extrahiert, die der Bodenlösung gleich war, der aber das Kalium entzogen war. Wie aus der Figur 2 ersehen werden kann, ging die K-Konzentration der Gleichgewichtslösung mit der Zahl der Extraktionen zurück. Der Wert flachte sich zwischen 2 und 3 µMol K/l ab; das ist die gleiche Konzentration wie in der Bodenlösung nahe den Wurzeln (Fig. 1). Es scheint daher, dass dieser Wert mehr vom Boden abhängt als von der Pflanzenwurzel; er stimmt auch mit den Ergebnissen von Scott und Smith (1966) überein. Woodhouse u.a. (1978) haben gefunden, dass diese K-Konzentration für die Deckung des Bedarfes der Pflanze ausreicht.

Das isotopisch austauschbare K, dessen Menge beträchtlich grösser war als die des gegen NH₄OAc austauschbaren K (166 µMol/100 g), nahm mit den ersten vier Extraktionen ab, doch weniger als die extrahierten Mengen. Diese Befunde zeigen eine Freisetzung von nichtaustauschbarem in eine austauschbare Form an. Die Abnahme wurde nach der 4. Extraktion offenbar drastisch vergrößert, als die Gleichgewichtskonzentration auf bis 3 µMol K absank. Die Kaliummenge, die als verfügbar betrachtet werden kann, ist die Summe des isotopisch austauschbaren und des extrahierten K. Nach 9 Extraktionen betrug diese 700 µMol/100 g Boden, war also viermal grösser als das Quantum des durch die konventionelle NH₄OAc-Methode im unbehandelten Boden bestimmten austauschbaren K.

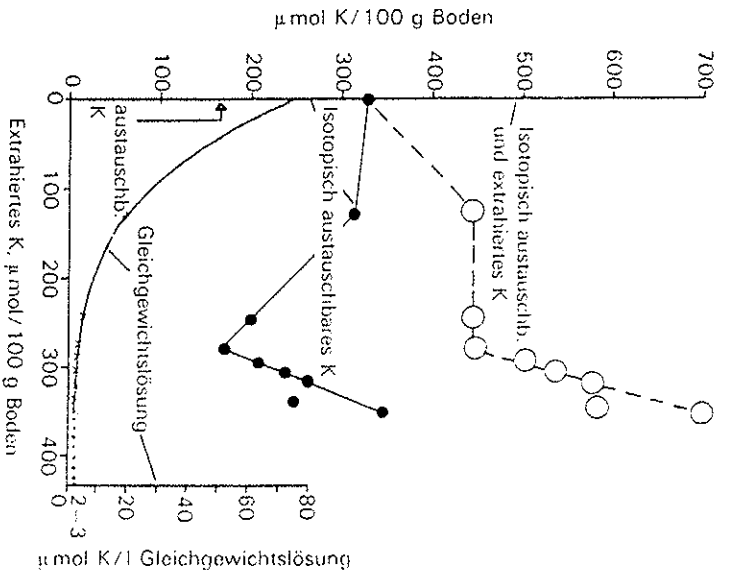


Fig. 2 Isotopisch austauschbares K, K-Konzentration der Gleichgewichtslösung und die Summe des isotopisch austauschbaren und des extrahierten K in Beziehung zur K-Menge, die durch wiederholte Extraktion mit einer kalifreien Bodenlösung von Büllen-Schluffeihn (21% Ton) bestimmt wurde.

Diese Ergebnisse mit Mais wurden durch jene mit Rappspflanzen durch Dümm-scheiben mit anschließender Analyse von rhizosphären Boden bestätigt (Fig. 3). Heisse HCl zeigte eine stärkere Verarmung des Bodens an als die NH_4OAc -Lösung, was die vorangehenden Befunde unterstreicht, wonach nichtaustauschbares K vom Boden freigesetzt wird in einem Radius der Länge eines Wurzelhaares, welche beim Raps 1,3 mm beträgt. Es wird daher gefolgert, dass Pflanzen durch die Reduktion der K-Konzentration in der Bodenlösung im Boden im Abstand von ungefähr 1 mm von der Wurzel grosse Mengen aus Kalireserven des Bodens mobilisieren können.

Figur 4 zeigt die Wirkung der ungleichen K-Versorgung auf die Verarmungsprofile. Sowohl der Konzentrationsgradient als auch der Abstand der Verarmung stiegen mit dem K-Gehalt. Von den Verarmungsprofilen ausgehend wurde berechnet, dass die Pflanze 125, 375 und 1500 kg K/ha aufnehmen könnte von verarmten, ungedüngten bzw. gedüngten Boden. Diese Berechnungen basieren auf folgenden Annahmen: zylindrische Bedingungen für die einzelnen Wurzeln, eine Wurzelichte von 4 cm/cm³ (was einen Abstand der Verarmung von 3 mm von der Wurzeloberfläche erlaubt) und 3 Millionen kg Boden. Die Menge des für die Wurzel verfügbaren K ist also viel mehr vergrössert worden durch die Zufuhr

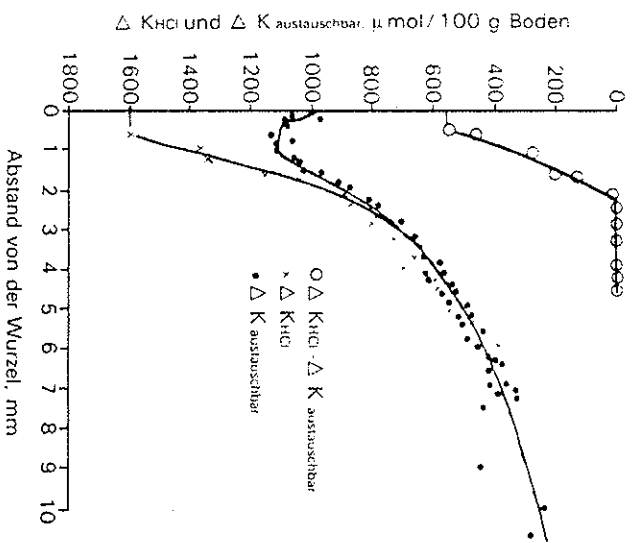


Fig. 3 K-Verarmung von Söderhof-Schluffeihn (12% Ton) um das Wurzelsystem von 7 Tage alten Raps. Die Daten wurden ermittelt durch Schnitt von Dümm-scheiben und Extraktion des Bodens mit 1 M NH_4OAc oder mit heisser (50°) HCl-Lösung.

von K als durch den Gehalt des Bodens an austauschbarem K. Dieses Bild wird noch akzentuierter durch das nicht austauschbare K, das in der obigen Berechnung nicht berücksichtigt worden ist.

Es kann angenommen werden, dass von den Pflanzenfaktoren sowohl das Verhältnis Wurzel/Spross als auch die Aufnahmerate pro Wurzeleinheit den grössten Einfluss auf die K-Versorgung des Schosses haben kann. Auch die Zeit des Kontaktes zwischen einer Wurzel mit dem Boden oder das durchschnittliche Wurzelalter mögen eine solche Wirkung ausüben. Diese drei Faktoren variieren beträchtlich zwischen den Pflanzenarten; doch wurde keine enge Korrelation zwischen einem dieser Faktoren und der K-Konzentration im Schoss gefunden. Die K-Konzentration im Schoss wird als Indikator der Verfügbarkeit des Boden-K bei Kalimangel betrachtet. Dagegen war das Produkt der drei Faktoren hoch korreliert mit dem K-Gehalt des Schosses bei 3 auf Büllen-Schluffeihn kultivierten Pflanzenarten bei 4 Kalistufen (Fig. 5).

Aus der Sicht dieser Untersuchung ist die Rate der K-Aufnahme pro cm Wurzel von grösstem Interesse und speziell die Ursachen der Differenzen. Aus den dargelegten Ergebnissen geht klar hervor, dass die Transportdistanz vom Boden zur Wurzel begrenzt ist. Die Länge der Wurzelhaare wird daher wichtig für den räumlichen Zugang der Wurzeln zu den Boden-nährstoffen geringer Mobilität. Bei Benutzung eines Bodens mit beschränkter K-Versorgung scheint in der Tat (Fig. 6)

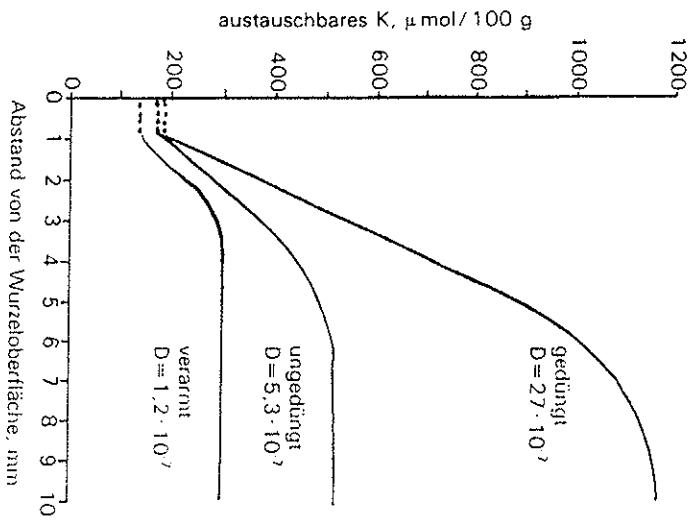


Fig. 4 Profile der K-Verarmung von Söderhof-Schlufflehm bei verschiedenen Gehalten an austauschbarem K. Der verarmte Boden war vorher mit Mais in Topfkulturen bepflanzt; dieser wurde gedüngt mit 1 mMol K/100 g. D = Diffusionskoeffizient ($\text{cm}^2/\text{Sek.}$)

eine positive Beziehung zwischen der Rate der K-Aufnahme pro cm Wurzel und dem Volumen des Zylinders der Wurzelhaare zu bestehen, das von der durchschnittlichen Länge der Wurzelhaare berechnet worden ist.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen die allgemeine Schlussfolgerung, wonach die Verfügbarkeit des Bodenkalkiums von zahlreichen Faktoren des Bodens und der Pflanzen abhängig ist sowie von deren Wechselwirkungen.

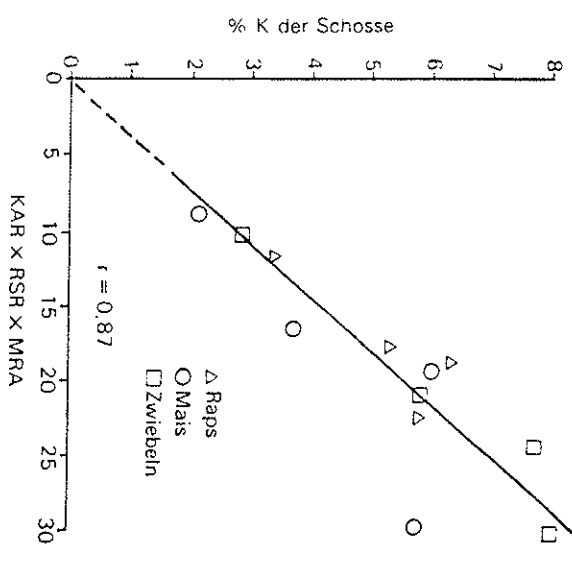


Fig. 5 K-Konzentration von Raps-, Mais- und Zwiebelschossen in Beziehung zum Produkt der Rate der K-Aufnahme pro cm Wurzel (KAR), Wurzel/Schoss-Verhältnis (RSR) und durchschnittliches Alter der Wurzel (MRA).

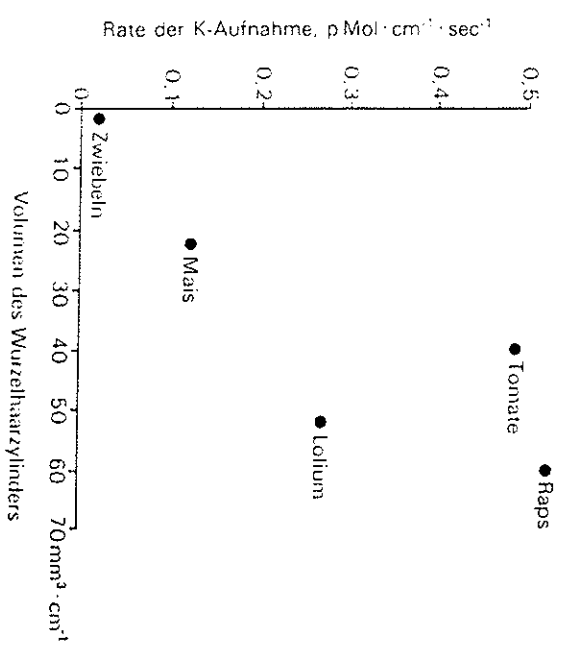


Fig. 6 Rate der K-Aufnahme pro cm Wurzel von verschiedenen Pflanzenarten, die auf Büllin-Schlufflehm (21% Ton) kultiviert wurden in Beziehung zum Volumen des Zylinders der Wurzelhaare.

Schrifttum

- Adams F.*: Soil solution, In: Carson, E.W. (ed.) *The plant root and its environment*. University Press of Virginia, Charlottesville, p. 443 (1974)
- Barber S.A.*: *Soil Science* **93**, 39–49 (1962)
- Bhat K.K.S., Nye P.H.*: *Plant and Soil* **38**, 161–175 (1973)
- Claassen N., Hendriks L., Jungk A.*: *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde* **44**, 306–316 (1981)
- Claassen N., Hendriks L., Jungk A.*: *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde* **44**, 533–545 (1981)
- Hendriks L., Claassen N., Jungk A.*: *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde* **44**, 486–499 (1981)
- Kuchenbuch R., Jungk A.*: *Plant and Soil*, submitted (1982)
- Newman E.J.*: *J. Applied Ecology* **3**, 139–145 (1966)
- Scott A.D., Smith S.J.*: *Clays and Clay Minerals* **26**, 69–81 (1960)
- Woodhouse P.J., Wild A., Clement C.R.*: *J. Experimental Botany* **29**, 885–894 (1978)