

# Wurzelverteilung von Kopfsalat und Möglichkeiten der Düngerplatzierung sowie N-Bevorratung des Pflanzballens zur Erhöhung der Düngereffizienz

## Root Distribution of Lettuce and Possibilities to Enhance Fertilizer Efficiency by Fertilizer Placement or Fertilizing the Peat Block with N

B. Steingrobe und M. K. Schenk  
(Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan und Institut für Pflanzenernährung der Universität Hannover)

### Einleitung

Zum Zeitpunkt des Auspflanzen sind die Erdpreßtöpfe von Salat meist an Stickstoff verarmt. Messungen ergaben N-Gehalte um 30 mg N/l Substrat. Bei den geringen Substratvolumina der Preßtöpfe bedeutet dies lediglich 2 mg N/Pflanze. Aber selbst ein nur wenige Tage andauernder N-Mangel im Jungpflanzenstadium kann von Salat nicht mehr ausgeglichen werden, so daß es zu Verzögerungen im Wachstum und zu Ertragseinbußen kommt (BURNS 1989). In der Praxis besteht daher die Auffassung, daß zum Auspflanzen eine hohe Stickstoffmenge angeboten werden muß, um die Anfangsversorgung von Salat zu sichern. Dies mag mit eine Ursache dafür sein, daß noch häufig über Sollwert gedüngt wird. Eine Erhebungsuntersuchung in 40 Betrieben zeigte, daß 40 % aller Gärtner mehr als 160 kg/ha und 18 % sogar mehr als 240 kg/ha gedüngt hatten (ZURHAKE 1984).

Der  $N_{min}$ -Sollwert liegt derzeit bei 140 kg/ha (SCHARPF 1991), wobei der N-Bedarf bei einem durchschnittlichen Ertrag von 400 dt/ha aber nur 80 kg N/ha beträgt (KRUG 1991).

Direkt nach der Pflanzung befinden sich die Wurzeln noch im Preßtopf. Große Mengen des ausgebrachten Stickstoffs sind somit nicht verfügbar und unterliegen bis zur Durchwurzelung des Bodens der Auswaschungsgefahr. Zudem beträgt die Durchwurzelungstiefe von Salat kaum mehr als 30 cm, so daß Stickstoff, der unter diese Bodenschicht verlagert wurde, nicht mehr aufgenommen werden kann.

In dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob eine Bevorratung des Pflanzballens oder eine Platzierung der Grunddüngung in Pflanzennähe die N-Versorgung zu Kulturbeginn verbessern und damit die Düngereffizienz steigern kann.

### Material und Methoden

Kopfsalat (*Lactuca sativa* var. *capitata*) der Sorte 'Clarion' wurde in 4 x 4 cm Preßtöpfe (Floradur A) ausgesät. Das Substrat enthält laut Herstellerangaben 180 mg N/l. Die Versuche zur Bevorratung wurden 1988, die zur Platzierung 1988 und 1989 auf Parabraunerden aus Löß durchgeführt. Die Pflanztermine lagen jeweils im April, ca. 3 Wochen nach der Aussaat. Die Pflanzabstände betragen 30 x 30 cm.

### Bevorratung

Einen Tag vor dem Auspflanzen wurden die Preßtöpfe mit 150 mg N/l Substrat in Form von  $NH_4NO_3$  bevorratet und gewässert, um Salzsäden zu vermeiden. Dies entsprach einer Gabe von knapp 10 mg N/Pflanze oder ca. 1 kg N/ha. Wenige Tage nach dem Pflanzen erhielt der Salat eine einmalige breitwürfige Düngergabe, um ein N-Angebot von 90, 120 und 150 kg N/ha (0-30 cm) einzustellen. Der  $N_{min}$ -Gehalt von 15 kg/ha wurde dabei berücksichtigt.

### Platzierung

Einen Tag nach dem Auspflanzen nicht bevorrateter Preßtöpfe wurden 15, 40, 60 und 80 kg N/ha als Kalksalpeter ausgebracht. Diese Düngermenge wurde in einem Radius von 10 cm um die einzelnen Pflanzen plaziert, so daß nur ca. 1/3 der gesamten Bodenfläche Dünger erhielt. Hierdurch entsprach die Konzentration des Düngers in Pflanzennähe einer flächendeckenden Düngergabe von 45, 120, 180 und 240 kg N/ha. Vier Wochen nach der Pflanzung wurde eine breitwürfige Kopfdüngung ausgebracht, um ein Gesamt-N-Angebot von 80, 100 und 120 kg N/ha (0-30 cm) einzustellen. Der  $N_{min}$ -Gehalt zur Pflanzung konnte durch vollständiges Abräumen (inkl. Wurzeln) einer Ölrettich-Vorkultur auf 10 kg N/ha gesenkt werden, die in der Düngerberechnung berücksichtigt wurden.

### Wurzellängendichten

Die Wurzellängendichten wurden in einem Stickstoffsteigerungsversuch erhoben, der von April (Pflanzung: 10. 4. 1987) bis Juni 1987 auf den gleichen Versuchsfeldern durchgeführt worden war. In der Angebotsstufe von 120 kg N/ha wurden wöchentlich Bohrzylinder (Ø 7 cm) direkt neben den Pflanzen und in einem Abstand von ca. 10 und 15 cm in diagonaler Richtung zur nächsten Pflanze in drei Tiefen (0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm) gezogen.

Die Wurzeln wurden ausgewaschen und von einer Teilprobe die Wurzellänge unter dem Binokular nach NEWMAN (1966) bestimmt. Die gesamte Wurzellänge in einem Bohrzylinder ergab bei Bezug auf das Volumen des Bohrkerns die Wurzellängendichte (cm Wurzel pro  $cm^3$  Boden) an der Position der jeweiligen Bohrung.

Im „Bevorratungsversuch“ wurden zu Kulturbeginn in einigen Varianten ebenfalls Proben genommen, um die Wurzelentwicklung direkt nach der Pflanzung zu beobachten.

### Analytik

In wöchentlichen Abständen wurden Ernten durchgeführt und die Sproßfrisch- und -trockengewichte sowie die Gesamt-N-Gehalte in der Trockensubstanz (Kjeldahlaufschluß mit Nitratreduktion) ermittelt.

Die Bestimmung des  $N_{\min}$ -Gehaltes erfolgte nach SCHARPF (1977). Die  $N_{\min}$ -Proben im Plazierungsversuch wurden sowohl im plazierte gedüngten Bodenbereich neben den Pflanzen als auch zwischen den Pflanzen genommen, getrennt analysiert und entsprechend der jeweiligen Flächenanteile gewichtet gemittelt.

Die Versuche wurden mit vier Wiederholungen durchgeführt (Wurzellängendichten: drei Wiederholungen). Die Daten wurden varianzanalytisch ausgewertet und Grenzdifferenzen nach TUKEY mit 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit berechnet.

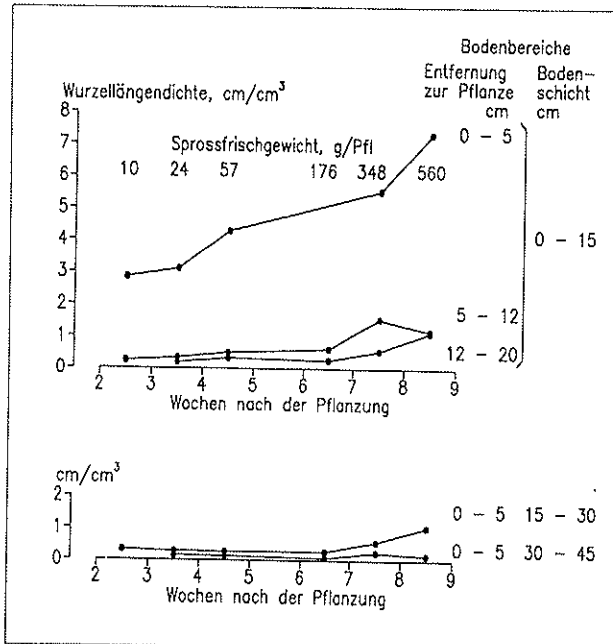
## Ergebnisse

### Wurzelentwicklung

Salat durchwurzelt den Boden im Frühjahr nur langsam. Abb. 1 zeigt, daß in den ersten drei Wochen nach der Pflanzung größere Wurzellängendichten nur in der Bodenzone direkt unter der Pflanze (Entfernung 0–5 cm) bis zu einer Tiefe von 15 cm auftraten.

Die Durchwurzlung der Bodenzone in einer Entfernung von über 5 cm zur Pflanze setzte erst nach 4–5 Wochen ein.

Abb. 1. Die Entwicklung der Wurzellängendichten bei Kopfsalat in der obersten Bodenschicht (0–15 cm) in unterschiedlicher Entfernung zur Pflanze (obere Darstellung) und in tieferen Bodenschichten (15–30 cm, 30–45 cm) unter der Pflanze (untere Darstellung) Development of root length density of lettuce in the upper soil layer (0–15 cm) in different distances to the plants (upper part) and in lower soil layers (15–30 cm, 30–45 cm) beneath the plants (lower part)



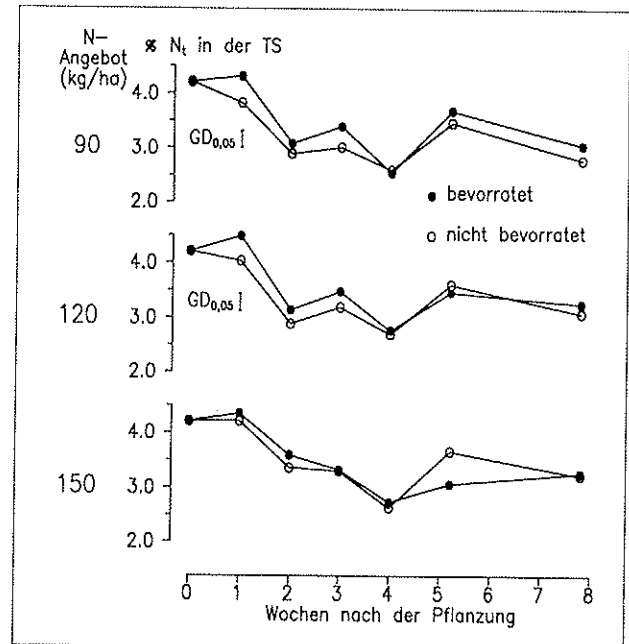
Die Pflanzen hatten zu diesem Zeitpunkt bereits ein Sproßfrischgewicht von über 50 g. Zu einer stärkeren Durchwurzlung des Bodenraumes zwischen den Pflanzen und auch der Bodenschicht von 15–30 cm kam es erst zwei Wochen vor der Ernte bei Frischgewichten über 170 g. In Bodenschichten unterhalb von 30 cm wurden auch zur Ernte kaum Wurzeln gefunden. In der Bodenschicht 15–30 cm betrug zur Ernte die Wurzellängendichte 0,51 cm/cm³ und 0,40 cm/cm³ in 5–12 bzw. 12–20 cm Entfernung von der Pflanze (nicht dargestellt).

Das gesamte N-Angebot wäre somit bei einer breitwürfigen Ausbringung erst in den letzten beiden Kulturwochen pflanzenverfügbar, während direkt nach dem Auspflanzen nur der Preßtopf und ein eng begrenzter Bodenbereich zur Stickstoffversorgung beitragen. Die Preßstöcke waren aber zum Pflanztermin weitgehend an Stickstoff verarmt. Im Mittel wurden ca. 30 mg N/l Substrat gemessen, was ungefähr 200 g N/ha bzw. 2 mg N/Pfl entspricht. Dies kann zu Engpässen in der Anfangsversorgung der Pflanzen führen.

### Bevorratung des Preßtopfes

Hierauf deutet auch der Vergleich der N-Gehalte bevorrateter und nicht bevorrateter Pflanzen in Abbildung 2 hin. Die Bevorratung der Preßstöcke betrug 150 mg N/l Substrat, was einer Aufwandmenge von 1 kg N/ha entsprach und das gesamte N-Angebot nicht nennenswert erhöhte. Dennoch hatten Pflanzen mit Bevorratung bei einem N-Angebot von 90 und 120 kg/ha in den ersten Kulturwochen höhere Gesamt-N-Gehalte in der Trockensubstanz als die nicht bevorrateten Varianten, während bei einem N-Angebot von 150 kg/ha keine nennenswerten Unterschiede auftraten. Erst ab der 3.–4. Kulturwoche, als die Pflanzen begannen, den Boden

Abb. 2. Gesamt-N-Gehalte in der Trockensubstanz (%  $N_t$  in der TS) von Salat bei unterschiedlicher N-Bevorratung des Pflanzballens und gestaffeltem N-Angebot Total N content in shoot dry matter (%  $N_t$  in TS) of lettuce influenced by fertilizing the peat block and different N-supply



Tab. 1. Einfluß der Bevorratung des Preßtopfes mit 150 mg N/l Substrat auf die kumulative N-Aufnahme von Kopfsalat bei einem N-Angebot von 90, 120 und 150 kg/ha

*Influence of fertilizing the peat block with 150 mg N/l substrate on cumulative N uptake of lettuce at a N-supply of 90, 120 and 150 kg/ha*

N-Angebot kg/ha	Behandlung	N-Aufnahme (mg/Pflanze)		
		1	2	3
90	nicht bevorratet	2,01	5,94	24,97
	bevorratet	4,94	10,25	36,80
120	nicht bevorratet	4,29	4,44	28,79
	bevorratet	5,80	9,14	35,19
150	nicht bevorratet	2,74	11,09	31,04
	bevorratet	5,59	11,61	36,64

stärker zu durchwurzeln, glichen sich die Gehalte beider Varianten an.

Die höheren N-Gehalte der bevorrateten Varianten ließen sich durch eine höhere N-Aufnahme in den ersten Wochen nach der Pflanzung erklären (Tab. 1). Die Unterschiede in der N-Aufnahme bevorrateter und nicht bevorrateter Varianten deuten darauf hin, daß die Pflanzen den Bodenstickstoff zu Kulturbeginn nicht ausreichend nutzen konnten, sondern auf die Versorgung aus dem Pflanzballen angewiesen waren. Eine Messung der Wurzellängen an den nicht bevorrateten Pflanzen der Variante „90 kg N/ha“ zeigte dann auch, daß sich eine Woche nach der Pflanzung nur ca. 11 % (92 cm) der insgesamt 835 cm Wurzeln einer Pflanze und auch in der zweiten Woche erst 35 % (510 von 1450 cm) der gesamten Wurzellänge außerhalb der Preßtöpfe befand.

Die Bevorratung bewirkte eine umso stärkere Erhöhung der N-Aufnahme, je geringer das gesamte N-Angebot war. Nach drei Wochen betrug der Unterschied in der aufgenommenen N-Menge der Variante „90 kg N/ha“ 12 mg N/Pfl, dies entspricht dem gesamten N-Vorrat im Pflanzballen.

Die verbesserte Anfangsversorgung wurde allerdings in keinem Fall ertragswirksam. Weder die Erhöhung des N-Angebotes von 90 auf 150 kg/ha noch die Bevorratung des Pflanzballens förderten das Wachstum in den ersten vier Wochen (Abb. 3). Auch der Endertrag nach acht Wochen Kulturdauer war nicht verschieden zwischen den Behandlungen, die Köpfe wogen ca. 500 g, wie es für die Vermarktung angestrebt wird (Tab. 2). Schon mit 90 kg N/ha ohne Bevorratung konnte also Höchstertag erzielt werden.

Tab. 2. Einfluß der Bevorratung des Preßtopfes auf den Ertrag von Kopfsalat und die gesamte N-Aufnahme pro ha zur Endernte in der 8. Kulturwoche

*Influence of fertilizing the peat block on yield and total N uptake per ha at the final harvest in the 8<sup>th</sup> week after planting*

N-Angebot kg/ha	Behandlung	Endernte 8. Kulturwoche	
		Ertrag g/Pfl	N-Aufnahme kg/ha
90	nicht bevorratet	500	76,6
	bevorratet	519	86,4
120	nicht bevorratet	497	83,8
	bevorratet	492	91,0
150	nicht bevorratet	510	86,6
	bevorratet	518	89,8

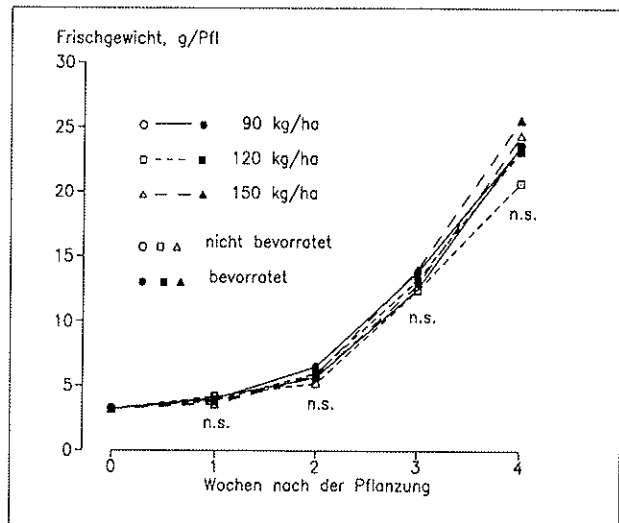


Abb. 3. Einfluß der Bevorratung des Pflanzballens auf die Ertragsentwicklung während der ersten vier Kulturwochen (N-Angebot 90, 120, 150 kg/ha)

*Influence of fertilizing the peat block on fresh matter development of lettuce during the first four weeks after planting (N-supply: 90, 120, 150 kg/ha)*

Die gesamte N-Aufnahme/ha wurde dagegen bei den niedrigen Angebotsstufen durch die Bevorratung leicht gefördert (Tab. 2). Dies kann aber keine Folge des nur um 1 kg N/ha erhöhten Angebots sein. Die Bevorratung förderte vielmehr das Wurzelwachstum bei den jungen Pflanzen, wie ein Vergleich der Wurzellängendichten in der dritten Woche nach der Pflanzung bei der 120-kg-Variante zeigt (Tab. 3). Dadurch konnte das N-Angebot des Bodens stärker genutzt werden.

Die bevorrateten Pflanzen der Variante „120 kg N/ha“ hatten bis zur dritten Woche ca. 7 mg N mehr aufgenommen, dies bedeutet bei einer Bestandesdichte von 111 000 Pfl/ha eine Mehraufnahme von unter 1 kg N/ha. Da zur Endernte die Mehraufnahme aber bei über 7 kg N/ha lag, kann vermutet werden, daß die Wurzellängendichte durch die Bevorratung während der ganzen Kulturzeit etwas erhöht gewesen war.

#### Plazierung der Grunddüngung

In einem weiteren Versuch sollte geprüft werden, ob eine Bevorratung von ca. 1 kg/ha möglicherweise nicht ausreichend hoch gewesen war, den Ertragsverlauf zu begünstigen. Da aufgrund der Salzeempfindlichkeit junger Salatpflanzen die N-Konzentration im Pflanzballen nicht erhöht werden sollte, wurde die Düngung geteilt und die Grunddüngung

Tab. 3. Einfluß der Bevorratung des Pflanzballens mit 150 mg N/l Substrat auf die Wurzellängendichte von Kopfsalat drei Wochen nach der Pflanzung (N-Angebot 120 kg/ha)

*Influence of fertilizing the peat block with 150 mg N/l substrate on root length density of lettuce three weeks after planting (N-supply: 120 kg/ha)*

	Wurzellängendichte (cm/cm <sup>3</sup> )	
	in 0–15 cm Tiefe	Abstand zur Pflanze
	0–5 cm	7–12 cm
nicht bevorratet	2,1	0,2
bevorratet	3,4	0,5

Im „Bevorratungsversuch“ wurden zu Kulturbeginn in einigen Varianten ebenfalls Proben genommen, um die Wurzelentwicklung direkt nach der Pflanzung zu beobachten.

**Analytik**

In wöchentlichen Abständen wurden Ernten durchgeführt und die Sproßfrisch- und -trockengewichte sowie die Gesamt-N-Gehalte in der Trockensubstanz (Kjeldahlaufschluß mit Nitratreduktion) ermittelt.

Die Bestimmung des  $N_{min}$ -Gehaltes erfolgte nach SCHARPF (1977). Die  $N_{min}$ -Proben im Plazierungsversuch wurden sowohl im plaziert gedüngten Bodenbereich neben den Pflanzen als auch zwischen den Pflanzen genommen, getrennt analysiert und entsprechend der jeweiligen Flächenanteile gewichtet gemittelt.

Die Versuche wurden mit vier Wiederholungen durchgeführt (Wurzellängendichten: drei Wiederholungen). Die Daten wurden varianzanalytisch ausgewertet und Grenzdifferenzen nach TUKEY mit 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit berechnet.

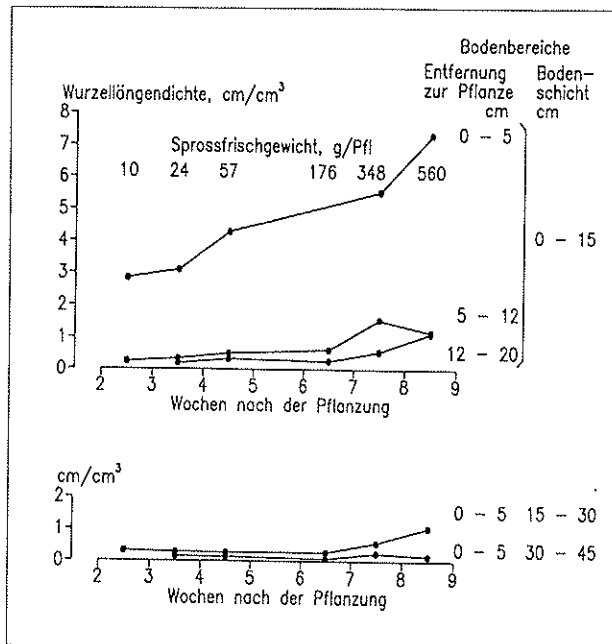
**Ergebnisse**

**Wurzelentwicklung**

Salat durchwurzelt den Boden im Frühjahr nur langsam. Abb. 1 zeigt, daß in den ersten drei Wochen nach der Pflanzung größere Wurzellängendichten nur in der Bodenzone direkt unter der Pflanze (Entfernung 0-5 cm) bis zu einer Tiefe von 15 cm auftraten.

Die Durchwurzlung der Bodenzone in einer Entfernung von über 5 cm zur Pflanze setzte erst nach 4-5 Wochen ein.

Abb. 1. Die Entwicklung der Wurzellängendichten bei Kopfsalat in der obersten Bodenschicht (0-15 cm) in unterschiedlicher Entfernung zur Pflanze (obere Darstellung) und in tieferen Bodenschichten (15-30 cm, 30-45 cm) unter der Pflanze (untere Darstellung). *Development of root length density of lettuce in the upper soil layer (0-15 cm) in different distances to the plants (upper part) and in lower soil layers (15-30 cm, 30-45 cm) beneath the plants (lower part)*



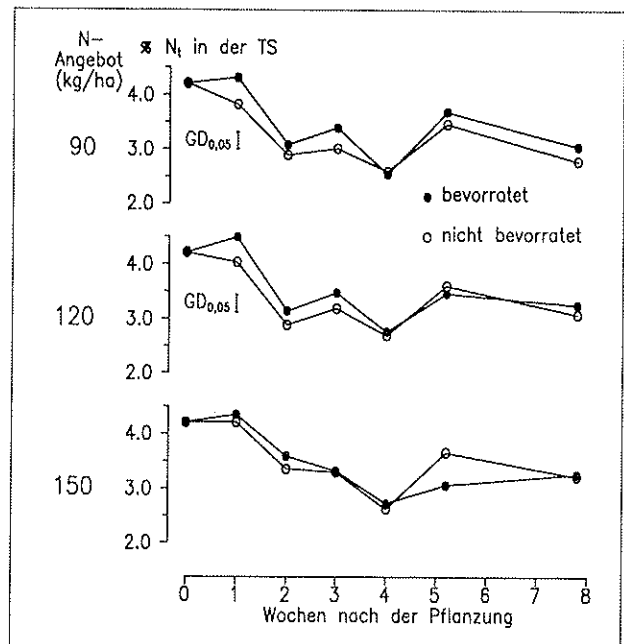
Die Pflanzen hatten zu diesem Zeitpunkt bereits ein Sproßfrischgewicht von über 50 g. Zu einer stärkeren Durchwurzlung des Bodenraumes zwischen den Pflanzen und auch der Bodenschicht von 15-30 cm kam es erst zwei Wochen vor der Ernte bei Frischgewichten über 170 g. In Bodenschichten unterhalb von 30 cm wurden auch zur Ernte kaum Wurzeln gefunden. In der Bodenschicht 15-30 cm betrug zur Ernte die Wurzellängendichte 0,51 cm/cm³ und 0,40 cm/cm³ in 5-12 bzw. 12-20 cm Entfernung von der Pflanze (nicht dargestellt).

Das gesamte N-Angebot wäre somit bei einer breitwürfigen Ausbringung erst in den letzten beiden Kulturwochen pflanzenverfügbar, während direkt nach dem Auspflanzen nur der Preßtopf und ein eng begrenzter Bodenbereich zur Stickstoffversorgung beitragen. Die Preßtöpfe waren aber zum Pflanztermin weitgehend an Stickstoff verarmt. Im Mittel wurden ca. 30 mg N/l Substrat gemessen, was ungefähr 200 g N/ha bzw. 2 mg N/Pfl entspricht. Dies kann zu Engpässen in der Anfangsversorgung der Pflanzen führen.

**Bevorratung des Preßtöpfes**

Hierauf deutet auch der Vergleich der N-Gehalte bevorrateter und nicht bevorrateter Pflanzen in Abbildung 2 hin. Die Bevorratung der Preßtöpfe betrug 150 mg N/l Substrat, was einer Aufwandmenge von 1 kg N/ha entsprach und das gesamte N-Angebot nicht nennenswert erhöhte. Dennoch hatten Pflanzen mit Bevorratung bei einem N-Angebot von 90 und 120 kg/ha in den ersten Kulturwochen höhere Gesamt-N-Gehalte in der Trockensubstanz als die nicht bevorrateten Varianten, während bei einem N-Angebot von 150 kg/ha keine nennenswerten Unterschiede auftraten. Erst ab der 3.-4. Kulturwoche, als die Pflanzen begannen, den Boden

Abb. 2. Gesamt-N-Gehalte in der Trockensubstanz (%  $N_t$  in der TS) von Salat bei unterschiedlicher N-Bevorratung des Pflanzballens und gestaffeltem N-Angebot. *Total N content in shoot dry matter (%  $N_t$  in TS) of lettuce influenced by fertilizing the peat block and different N-supply*



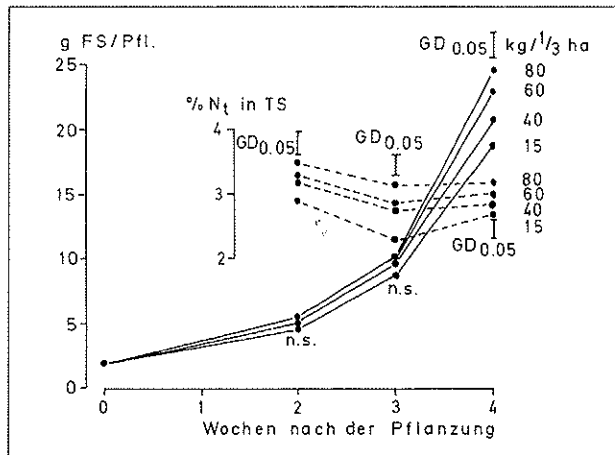


Abb. 4. Einfluß einer Plazierung der N-Grunddüngung in Pflanzennähe auf den Gesamt-N-Gehalt im Sproß (% N<sub>t</sub> in TS) und die Entwicklung von jungem Kopfsalat (Düngung auf 1/3 der Bodenoberfläche)

*Influence of fertilizer placement on total N content in the shoot (% N<sub>t</sub> in TS) and development of young lettuce (Fertilization of 1/3 of the ground surface)*

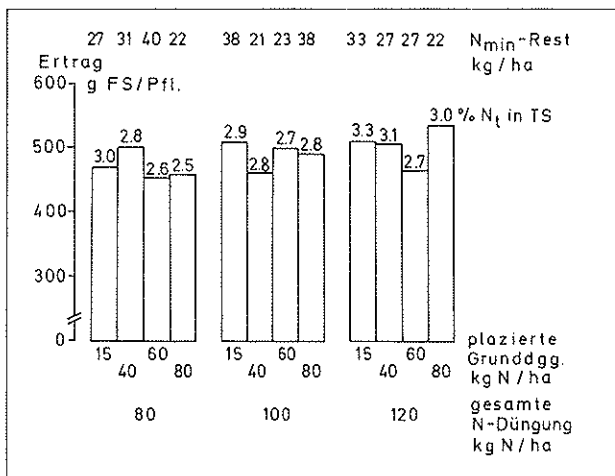
plaziert um die Pflanze auf nur 1/3 der Gesamtbodenfläche ausgebracht. Hierdurch konnte in den ersten Kulturwochen im Wurzelbereich ein N-Angebot geschaffen werden, das bei breitwürfiger Ausbringung der dreifachen Menge entsprechen würde. Eine plazierte Gabe von 40 kg entsprach somit breitwürfig 120 kg N/ha.

Abb. 4 zeigt, daß sich die Steigerung der plazierten Düngergabe bereits zwei Wochen nach der Pflanzung in den N-Gehalten der Pflanzen widerspiegelte und bis zur vierten Woche nach der Pflanzung erkennbar war.

Der Einfluß der gestaffelten Plazierung zeigte sich auch in der Frischgewichtszunahme. In der 4. Woche nach der Pflanzung waren die mit 80 kg gedüngten Pflanzen der 40-kg-Variante (entspricht Sollwert) deutlich überlegen. Dennoch traten bei der Ernte keine gesicherten Unterschiede im Ertrag oder N-Gehalt zwischen den einzelnen Behandlungen auf (Abb. 5). Alle Varianten hatten Frischgewichte von 480–

Abb. 5. Einfluß einer plazierten N-Grunddüngung bei gestaffeltem Gesamtangebot auf Ertrag, Gesamt-N-Gehalt im Sproß (% N<sub>t</sub> in TS) und N<sub>min</sub>-Rest von Kopfsalat

*Influence of placing the basic dressing at different total N-supply on yield, total N content of the shoot (% N<sub>t</sub> in TS), and mineral N residues in the soil*



500 g/Pflanze, unabhängig von der Höhe der Grund- oder Kopfdüngung, die in der 4. Woche nach der Pflanzung breitwürfig ausgebracht wurde, um Gesamt-N-Angebote von 80–120 kg/ha einzustellen.

Die N-Gehalte wiesen zur Ernte eine große Streubreite von 2,5–3,3 % N in der Trockensubstanz auf und zeigten im Mittel eine leicht zunehmende Tendenz mit steigendem N-Angebot, die aber nicht gesichert werden konnte. Die plazierte Grunddüngung beeinflusste den N-Gehalt bei der Ernte nicht.

Auch die N<sub>min</sub>-Reste waren unabhängig von der Höhe der Grund- oder Kopfdüngung.

## Diskussion

In den dargestellten Versuchen konnte weder durch Bevorratung des Pflanzballens oder Plazierung der Grunddüngung noch durch die Steigerung des gesamten N-Angebotes eine Ertragswirkung erzielt werden. Der Höchstertrag von Kopfsalat wurde bereits bei den niedrigsten N-Angeboten von 80–90 kg/ha erreicht. Dieser Wert liegt deutlich unter dem derzeit gültigen N<sub>min</sub>-Sollwert von 140 kg, der auch dem Sollwert des KNS-Systems bei einmaliger Düngung (LORENZ et al. 1989) und einer Empfehlung von SCHARPF und WEIER (1988) entspricht. Dennoch erfüllten die Kopfgewichte mit ca. 500 g zur Ernte und einem vermarktungsfähigen Kopfanteil von ca. 400 g die Markterfordernisse, und auch der Gesamtertrag von ca. 440 dt/ha lag im praxisüblichen Bereich.

Obwohl der Endertrag unabhängig von den Behandlungen war, traten zu Kulturbeginn Unterschiede auf. Die Bevorratung des Pflanzballens führte besonders in der ersten Woche nach der Pflanzung zu einer erhöhten N-Aufnahme und damit zu einem höheren N-Gehalt, auch wenn sich die Frischgewichte nicht unterschieden.

Nach Ablauf der ersten Woche betrug die Wurzellänge außerhalb des Preßtopfes nur 92 cm/Pfl. Bei einer maximalen Nitrataufnahmerate von 1 pmol/cm · s, wie sie STEINGROBE (1992) für junge Salatpflanzen und Tagesmitteltemperaturen von 5–10 °C in Nährlösung ermittelte, können 92 cm Wurzeln in einer Woche nur ca. 0,8 mg N aufnehmen. Dem steht jedoch ein Bedarf von etwa 3–5 mg N/Pfl gegenüber, so daß die Jungpflanze auf die im Preßtopf vorhandene N-Menge angewiesen ist. In den nicht bevorrateten Preßtopfen waren dies 2 mg N/Pfl, die von den Pflanzen auch aufgenommen wurden.

Eine Bevorratung des Preßtopfes mit ca. 10 mg N/Pfl reichte zur Deckung des N-Bedarfes aus. Die Pflanzen nahmen mit 5–6 mg N nahezu die dreifache Menge auf. Dies führte zu einer stärkeren Wurzelentwicklung und damit zu einer Förderung der N-Aufnahme auch über die erste Woche hinaus.

Die Erhöhung des N-Angebotes von 90 auf 150 kg/ha hatte dagegen keinen Einfluß auf die Aufnahme. Die geringe N-Menge, die von den wenigen Wurzeln in der ersten Woche außerhalb des Preßtopfes aufgenommen werden konnte (ca. 100 g/ha), wurde bereits mit 90 kg bei weitem abgedeckt, und ein verstärkter Transport von Stickstoff in den Preßtopf hinein fand offensichtlich bei Erhöhung des N-Angebotes nicht statt.

Im 'Plazierungsversuch' dagegen konnte durch Anheben des Angebotes auf 80 kg/ha nicht nur ein erhöhter Gesamt-N-Gehalt, sondern auch eine verbesserte Ertragsentwicklung erzielt werden. Eine plazierte Düngung von 80 kg N/ha bewirkt eine Nährstoffkonzentration im Wurzelbereich wie

eine breitwürfige Ausbringung von 240 kg N/ha, was ungefähr dem doppelten  $N_{\min}$ -Sollwert entspräche.

Die wöchentliche N-Aufnahme, errechnet aus den Angaben in Tabelle 1 und der Bestandesdichte von 111 000 Pflanzen/ha, lag in den ersten Wochen bei maximal 4 kg/ha. Eine Förderung der Aufnahmeleistung des Wurzelsystems außerhalb des Preßtopfes durch extrem hohe Düngung (240 kg/ha) ist bei diesem geringen Bedarf eher unwahrscheinlich. Schon das geringste N-Angebot von 15 kg plazierte (entsprechend 45 kg N/ha breitwürfig) führt bei 30% volumetrischem Wassergehalt des Bodens zu einer N-Konzentration von ca. 3,3 mmol/l Bodenlösung. Die maximale Aufnahmeleistung ist aber bereits bei einer Konzentration an der Wurzeloberfläche von ca. 100  $\mu\text{mol N/l}$  gewährleistet (STEINGROBE 1992), so daß eine Erhöhung der Konzentration die Aufnahme nicht mehr steigern kann.

In diesem Fall ist es eher denkbar, daß die hohe N-Konzentration im Boden den Transport von Stickstoff in den Preßtopf verstärkt hat und somit ein größerer Anteil des Wurzelsystems Stickstoff mit hoher Rate aufnehmen konnte.

Die anfänglichen Gehalts- und Ertragsvorteile glichen sich nach der Kopfdüngung an. Dies steht im Widerspruch zu den eingangs erwähnten Ergebnissen von BURNS (1989), der bei Salat keine Angleichung von einmal aufgetretenen Wachstumsunterschieden fand. Dieser Widerspruch ist wahrscheinlich durch die unterschiedlichen Kulturzeiträume erklärbar. Die Pflanzen dieser Untersuchung wuchsen in den Sommer hinein (Pflanzung im April), kamen also in zunehmend bessere Wachstumsbedingungen. Unter diesen Umständen können sich geringe Ertragsunterschiede nivellieren und sind zur Ernte nicht mehr deutlich erkennbar (KRUG 1987). BURNS (1989) bezieht sich in seinen Ergebnissen auf einen Kulturzeitraum von Juni bis Juli mit eher konstanten Wachstumsbedingungen.

Weniger wahrscheinlich ist die Annahme, daß die Düngplatzierung wegen verstärkter Seitenwurzelbildung (DREW 1975, DUNCAN und OHLROGGE 1959) zu einer intensiveren Durchwurzelung des plazierte gedüngten Bodenbereiches geführt hatte und deswegen der Stickstoff der breitwürfig ausgebrachten Kopfdüngung im Restboden schlechter genutzt werden konnte und somit ein Ertragsausgleich stattfand. BRUMM und SCHENK (1992) fanden bei Kiefern keine intensivere Durchwurzelung des plazierte gedüngten Bodenraumes, wenn auch im Restboden ausreichend Stickstoff angeboten wurde, wie es im vorliegenden Versuch durch die Kopfdüngung geschah.

Die Enderträge und N-Aufnahmen zeigten, daß sich die Düngereffizienz durch eine Platzierung oder Bevorratung nicht steigern ließ. Dennoch kann es zu einer verbesserten Anfangsversorgung und einer Förderung des Wurzelwachstums zu Kulturbeginn kommen, was sich unter ungünstigen Wachstumsbedingungen positiv auswirken und damit zur Ertragssicherheit beitragen kann. Zudem mindert eine plazierte Grunddüngung das Auswaschungsrisiko in nitratschlagsreichen Perioden, das vor allem auf Böden mit geringer nutzbarer Feldkapazität sowie flachwurzelnden Kulturen, wie es Gemüse häufig ist, besteht. Eine Bevorratung der Preßtopfe bzw. Trennung der Düngung in eine plazierte Grunddüngung und Kopfdüngung scheint deswegen ange raten.

Die Ergebnisse zeigten zudem, daß der  $N_{\min}$ -Sollwert eher zu hoch angesetzt ist. Eine Verminderung ist allerdings erst anzuraten, wenn sich die hier gezeigten Ergebnisse auch auf anderen Standorten wiederholen lassen.

Die Autoren danken B. Paehr und E. Güber, die im Rahmen ihrer Diplomarbeiten einen Teil der vorgestellten Daten erarbeitet haben.

## Zusammenfassung

Salat durchwurzelt den Boden nur langsam, so daß zu Kulturbeginn nur ein Teil des Stickstoffes pflanzenverfügbar ist. Eine Erhöhung des N-Angebotes im Wurzelraum durch Platzierung der Grunddüngung oder Bevorratung des Pflanzballens förderte zwar die Anfangsentwicklung und könnte ernährungsbedingte Risiken zu Kulturbeginn mindern, hatte aber keinen Einfluß auf den Ertrag. Keine der Maßnahmen erhöhte unter den gegebenen Versuchsbedingungen somit die Düngereffizienz. Eine Platzierung senkt aber das Auswaschungsrisiko zu Kulturbeginn.

## Summary

Lettuce is rooting very slowly after planting. Therefore, only a part of the nitrogen in soil is available at beginning of growth. Improving the N-supply by placement of fertilizer near the plants or fertilizing the peat blocks before planting did increase growth in the first 3 weeks, but the total yield was not influenced. Thus, the efficiency of fertilizers could not be increased by placing them in the root zone of young plants. Only the risk of nitrogen leaching before it becomes available can be reduced by placing the fertilizer near the plants.

## Literatur

- BRUMM, I. und M. SCHENK 1992: N-Ernährung und Wachstum von *Pinus sylvestris* L.. Gartenbauwissenschaft 57, 101–106.
- BURNS, I. G. 1989: The effects of continuity of early nitrogen nutrition on growth and development of *Lactuca sativa*. In: VAN BEUSICHEM, M. L. (ed.). Plant nutrition – physiology and applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 545–549.
- DREW, M. C. 1975: Comparison of the effects of localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. *New Phytol.* 75, 479–490.
- DUNCAN, W. G. und A. J. OHLROGGE 1959: Principles of nutrient uptake from fertilizer bands: III. Band volume, concentration and nutrient composition. *Agron. J.* 51, 103–106.
- KRUG, H. 1987: Ist  $\text{CO}_2$ -Gas in Gewächshäusern wirtschaftlich? *Gemüse* 23, 328–330.
- KRUG, H. 1991: Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. 2. Aufl., Parey, Berlin.
- LORENZ, H.-P., J. SCHLAGHECKEN, G. ENGL, A. MAYNC und J. ZIEGLER 1989: Ordnungsgemäße Stickstoff-Versorgung im Freiland-Gemüsebau nach dem „Kulturbegleitenden  $N_{\min}$ -Sollwerte (KNS)-System“ – KNS-Daten für 38 Gemüsearten. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz.
- NEWMAN, E. J. 1966: A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3, 139–145.
- SCHARPF, H.-C. 1977: Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. Diss. Universität Hannover.
- SCHARPF, H.-C. 1991: Stickstoffdüngung im Gemüsebau. Heft 1223. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e.V., Bonn.
- SCHARPF, H.-C. und U. WEIER 1988: Nitratauswaschung verhindern – Abgestimmte Sollwerte für die Stickstoffdüngung. *Gemüse* 21, 4–5.

STEINGROBE, B. 1992: Beschreibung der Nitrataufnahmerate mit Hilfe eines Simulationsmodells am Beispiel von Kopfsalat. Diss. Universität Hannover. Ulrich E. Grauer Verlag, Wendlingen.

ZURHAKE, F. 1984: Erhebungen zum Mineraldüngereinsatz in ausgewählten Regionen des Nordrheins und Untersu-

chungen zur Nitratanreicherung in Grundwasser und Gemüse. Diss. Universität Bonn.

Eingegangen: 22. 10. 1993/21. 1. 1994

Anschrift der Verfasser: B. Steingrobe, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU-München, 85350 Freising-Weihenstephan. M. K. Schenk, Institut für Pflanzenernährung der Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover.