

**Genotypische Unterschiede im
Wurzelwachstum von Kopfsalat
(*Lactuca sativa* L. var. *capitata*)
und ihre Bedeutung
für die Ausnutzung des
Stickstoffangebotes des Bodens**

Ketut-Anom Wijaya

Asal	: Hadi b Faperta-vj Pandanan	Klass	
Terima	: Tj. 05 OCT 1997		wj
No. Induk	: T'97- 3. 100		2 ex

llly

Wijaya, Ketut-Anom:

Genotypische Unterschiede im Wurzelwachstum von Kopfsalat (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) und ihre Bedeutung für die Ausnutzung des Stickstoffangebotes des Bodens.
VERLAG ULRICH E. GRAUER, Stuttgart, 1996.

ISBN 3-86186-141-0

D 89

Dissertation Universität Hannover, Institut für Pflanzenernährung, 1996.

Vom Fachbereich Gartenbau der Universität Hannover zur Erlangung des Grades eines Doktors der Gartenbauwissenschaften (Dr. rer. hort.) genehmigte Dissertation.

Referent: Prof. Dr. W.J. Horst

Korreferent: Prof. Dr. H.-J. Wiebe

Tag der Promotion: 20. Juni 1996

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes.

© 1996 Ketut-Anom Wijaya

Inst. f. Pflanzenernährung, Herrenhäuser Str. 2, D-30419 Hannover

Alle Rechte vorbehalten.

Printed in Germany.

Druck: F. u. T. Müllerbader GmbH

Forststr. 18, D-70794 Filderstadt

VERLAG ULRICH E. GRAUER

Hattenbachweg 13, D-70599 Stuttgart, Germany

Tel. +49 (0)711 4570355, Fax +49 (0)711 4579695

INHALTSVERZEICHNIS

	SEITE
I. EINLEITUNG	1
II. MATERIAL UND METHODEN	5
1 Feldversuche	5
1.1 Feldversuch 1992	5
1.2 Feldversuch 1993	6
1.3 Feldversuch 1994	8
2 Gewächshausversuche	11
2.1 Vorversuch	11
2.2 Gefäßversuch 1993	14
2.3 Gefäßversuch 1994/95	14
3 Durchgeführte Untersuchungen	15
3.1 Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse	15
3.2 Pflanzenanalysen	15
3.3 Wurzeluntersuchungen	15
3.3.1 Ermittlung der Wurzellänge im Feldversuchen	15
3.3.2 Ermittlung der Wurzellänge in den Gefäßversuchen	17
3.3.3 Ermittlung der Zahl der Wurzelporen im Wachs	17
3.4 N _{min} -Analysen	17
4 Statistische Auswertung	18
III. ERGEBNISSE	19
1 Feldversuche	19

1.1	Versuch mit 4 Sorten im Jahr 1992	19
1.1.1	Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse	19
1.1.2	Stickstoff-Gehalte und N-Aufnahme der Pflanze	20
1.1.3	Durchwurzelungsintensität und N_{\min} -Rest im Boden	22
1.1.4	Beziehung zwischen der WLD und dem N_{\min} -Rest im Boden	24
1.2.	Versuch mit 10 Sorten im Jahr 1993	25
1.2.1	Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse	25
1.2.2	Stickstoff- und Nitrat-Gehalte und N-Aufnahme der Pflanze	27
1.2.3	Beziehung zwischen Sproßmerkmalen und N-Aufnahme	29
1.2.4	Sortentypische Unterschiede in der Durchwurzelungsintensität und im N_{\min} -Rest im Boden	30
1.2.4.1	Durchwurzelungsintensität im Frühjahrs- und Sommersatz	30
1.2.4.2	N_{\min} -Rest im Boden im Frühjahrs- und Sommersatz	33
1.2.5	Beziehung zwischen der Durchwurzelungsintensität und dem N_{\min} -Rest im Boden zur Endernte	35
1.3	Versuch mit 4 Sorten im Jahr 1994	37
1.3.1	Entwicklung der Sproßfrischmasse im Verlauf der Kultur	37
1.3.2	Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse zur Endernte	38
1.3.3	Stickstoff- und Nitrat-Gehalte in den Pflanzen sowie N-Aufnahme der Pflanzen	41
1.3.4	Durchwurzelungsintensität des Bodens und N_{\min} -Mengen im Boden	43
1.3.5	Beziehung zwischen Durchwurzelungsintensität und N_{\min} -Rest im Boden	49
2	Gewächshausversuche	51
2.1	Vorversuch zur Ermittlung eines geeigneten Vorkulturmediums	51
2.1.1	Sproßwachstum	51
2.1.2	Durchwurzelungsintensität	52

2.2	Gefäßversuch im Jahr 1993	54
2.2.1	Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse	54
2.2.2	Stickstoff-Gehalte im Sproß	55
2.2.3	Stickstoff-Aufnahme des Sprosses	56
2.2.4	Durchwurzelungsintensität	57
2.2.5	Zahl der Wurzelporen im Wachs	58
2.3	Gefäßversuch im Jahr 1994/95	60
2.3.1	Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse	60
2.3.2	Stickstoff-Gehalte im Sproß	61
2.3.3	Stickstoff-Aufnahme des Sprosses	62
2.3.4	Durchwurzelungsintensität	64
2.3.5	Beziehung zwischen der WLD und der Sproßtrockenmasse	66
2.3.6	Zahl der Wurzelporen im Wachs	67
2.3.7	Nitrat-N-Rest im Bodensubstrat	69
2.3.8	Beziehung zwischen der N-Aufnahme, WLD und N-Verarmung im Bodensubstrat	71
3	Zusammenhang zwischen der WLD des Feldversuches und der WLD des Gefäßversuches	71
IV.	DISKUSSION	74
1	Ursachen hoher Nitratrestmenge im Gemüsebau	74
2	Maßnahmen zur Verminderung der Nitratrestmengen im Gemüsebau	75
2.1	Düngerplatzierung	75
2.2	Am zeitlichen Bedarf der Pflanze orientierte Düngung	76
2.3	Anwendung von Langzeitdüngern	77
2.4	Anbau von Zwischenfrüchten zur Konservierung von Nitrat	77
2.5	Anbau von stickstoffeffizienten Sorten	78
3	Sortentypische Unterschiede im N-Düngerbedarf von Kopfsalat	78
4	Wurzelwachstum von Kopfsalat	80

4.1	Wurzelwachstum von Kopfsalat und dessen Abhängigkeit vom Versuchszeitraum	80
4.2	Sortentypische Unterschiede im Wurzelwachstum von Kopfsalat	83
5	Beziehung zwischen Durchwurzelungsintensität und Nitratverarmung des Bodens	84
6	Ermittlung von Sortentypischen Unterschieden im Wurzelwachstum in Gewächshausversuch	89
6.1	Beziehungen zwischen Sproß- und Wurzelmerkmalen	89
6.2	Vereinfachte Feldmethoden zur Ermittlung des Wurzelwachstums	90
6.3	Gewächshaus- bzw. Labormethoden	92
V.	ZUSAMMENFASSUNG	95
VI.	LITERATURVERZEICHNIS	101
VII.	ANHANG	108

ABSTRACT

Intensive vegetable cropping is generally characterized by comparatively high nitrate leaching leading to contamination of the ground water. Reasons for this are high N fertilizer input necessary to maintain high yield and quality and low N efficiency by especially leafy vegetables such as lettuce. The low N efficiency of lettuce is mainly due to its shallow rooting system which leads to low uptake efficiency of NO_3^- from the subsurface soil.

The objective of the present study was (i) to assess in field experiments the genotypic variation in lettuce for deeper rooting, (ii) to relate rooting patterns of lettuce cultivars to N efficiency, and (iii) to develop a simple technique which allows selection for deep rooting and N uptake efficiency in the seedling stage.

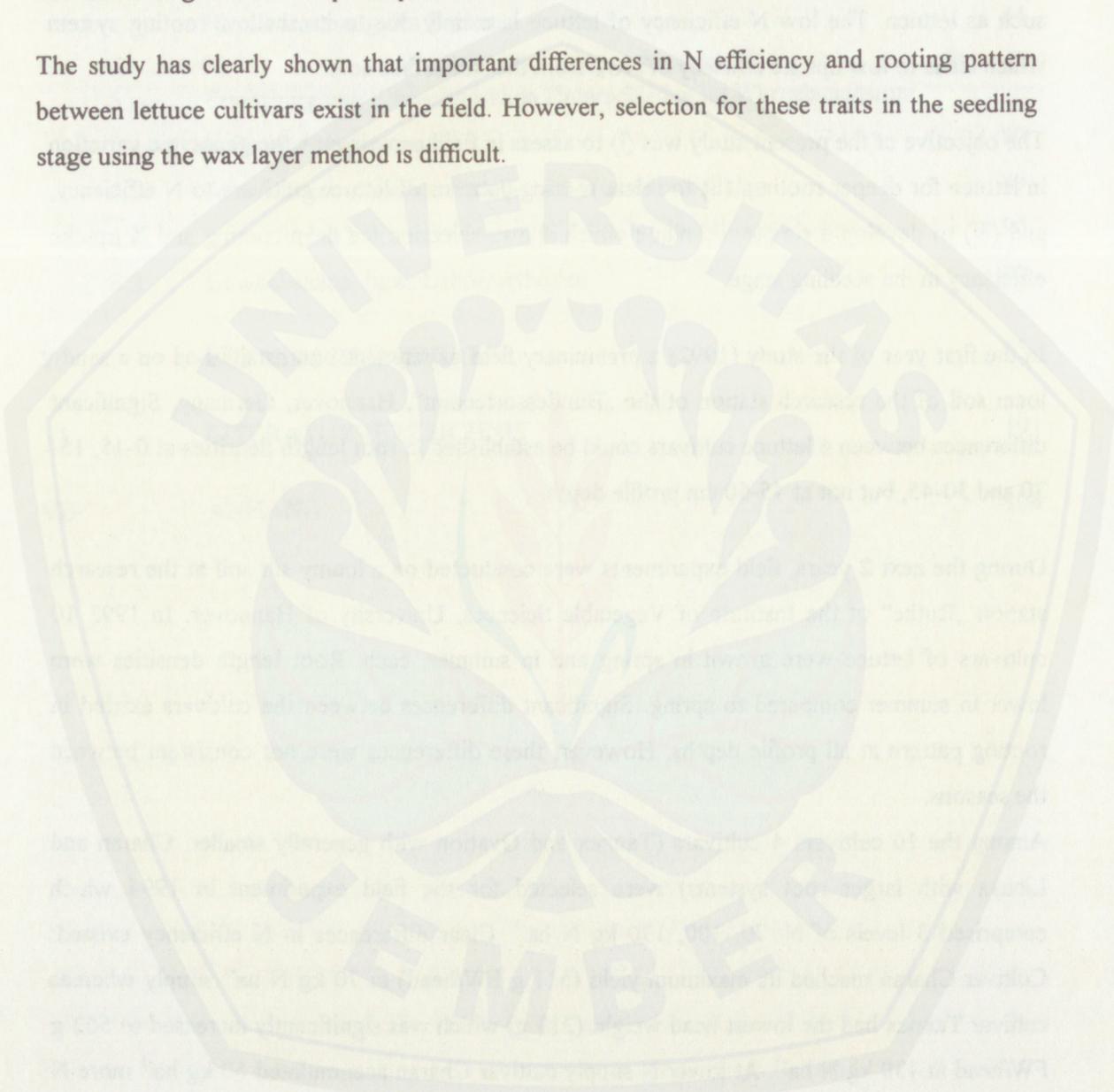
In the first year of the study (1992) a preliminary field experiment was established on a sandy loam soil of the research station of the „Bundessortenamt“, Hannover, Germany. Significant differences between 4 lettuce cultivars could be established in root length densities at 0-15, 15-30 and 30-45, but not at 45-60 cm profile depth.

During the next 2 years, field experiments were conducted on a loamy silt soil at the research station „Ruthe“ of the Institute of Vegetable Sciences, University of Hannover. In 1993 10 cultivars of lettuce were grown in spring and in summer, each. Root length densities were lower in summer compared to spring. Significant differences between the cultivars existed in rooting pattern at all profile depths. However, these differences were not consistent between the seasons.

Among the 10 cultivars 4 cultivars (Tannex and Ovation with generally smaller, Charan and Libusa with larger root systems) were selected for the field experiment in 1994 which comprised 3 levels of N: 70, 100, 130 kg N ha⁻¹. Clear differences in N efficiency existed: Cultivar Charan reached its maximum yield (511 g FW/head) at 70 kg N ha⁻¹ supply whereas cultivar Tannex had the lowest head weight (313 g) which was significantly increased to 502 g FW/head at 130 kg N ha⁻¹. At lower N supply cultivar Charan accumulated 50 kg ha⁻¹ more N than cultivar Tannex clearly showing the high N uptake efficiency of this cultivar. This higher uptake efficiency may be at least partly be attributed to its better root system: root length densities were higher in the top soil (0-30 cm) as well in the subsurface soil (30-60 cm).

Cultivation of lettuce in small PVC pots (2 compartments separated by a wax layer) clearly separated the 15 cultivars included into the study, with regard to shoot growth, root growth in the soil column above and below the wax layer, and N uptake. However, no clear correlation between root growth in the pot experiment and in the field could be established.

The study has clearly shown that important differences in N efficiency and rooting pattern between lettuce cultivars exist in the field. However, selection for these traits in the seedling stage using the wax layer method is difficult.



I. EINLEITUNG

Stickstoff ist der Pflanzennährstoff, der von den Pflanzen neben Kalium in der größten Menge für das Wachstum benötigt wird. Stickstoff stellt daher in der Regel den wichtigsten Ertrag und Qualität pflanzlicher Produkte begrenzenden Faktor dar. Aus diesem Grunde wird insbesondere im Gemüseanbau durch N-Düngung dafür gesorgt, daß N nie zum begrenzenden Faktor wird. Bei einem die Pflanzenaufnahme übersteigenden N-Angebot aus Düngung und Boden kann es jedoch zu Umweltbelastungen kommen (ISFAN, 1993; JACKSON und STIVERS, 1993). Eine Belastung der Umwelt durch Düngungsmaßnahmen ist nach heutigen Erkenntnissen in erster Linie durch Auswaschung von Nitrat aus Böden ins Grundwasser und daraus resultierender Kontamination des Trinkwassers zu befürchten (SCHARPF *et al.*, 1986). Diese Problematik beschränkt sich nicht nur auf das Gebiet der Bundesrepublik, sondern der Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität durch Nitrat kommt inzwischen eine weltweite Bedeutung zu (STAVER und BRINSFIELD, 1990).

In den letzten Jahren wurde vielerorts in Deutschland ein Anstieg des Nitratgehaltes im oberflächennahen Grundwasser registriert. Eine jährliche Anstiegsrate von 0,3 bis 3 mg Nitrat L⁻¹ wurde festgestellt (SONTHEIMER und ROHMANN, 1984). Aufgrund der Anforderungen durch den Gesetzgeber kommt es häufig zu Problemen der Trinkwasserversorgung, da sich die öffentliche Trinkwasserversorgung vor allem auf das oberflächennahe Grundwasser stützt.

Der Grenzwert für Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland beträgt 50 mg Nitrat L⁻¹. In Niedersachsen erwies sich das Rohwasser von etwa 20 % der Wasserwerke als mit 25-50 mg L⁻¹ Nitrat belastet. Noch problematischer stellte sich die Situation bei den niedersächsischen Hausbrunnen dar. Über 50 % dieser Trinkwasserentnahmestellen wiesen Nitratgehalte von mehr als 50 mg L⁻¹ auf (Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft, zitiert in: HAHN, 1991). Auch in anderen Bundesländern wird von ähnlichen Ergebnissen berichtet (WERNER, 1983; ROHMANN und SONTHEIMER, 1985; POLETSCHNY, 1988). Diese Zahlen verdeutlichen die Problematik für die Trinkwasserversorgung, zumal im Hinblick auf einen einheitlichen europäischen Binnenmarkt eine Erniedrigung des bestehenden Grenzwertes auf 25 mg Nitrat L⁻¹ (Richtwert der EG) diskutiert wird.

Als Verursacher der steigenden Nitratgehalte im Grundwasser wird neben den lokalen, punktförmigen Einträgen mit Abwässern aus Siedlung, Gewerbe und Industrie vornehmlich der

Landwirtschaft als diffuser, großflächiger Einträger der Hauptanteil angelastet. Berechnungen von BACH (1985) zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen ansteigenden Nitratgehalten im Grundwasser und N-Bilanzüberschüssen in der Landwirtschaft. Der überschüssige Mineralstickstoff reichert sich im Boden an und unterliegt mit dem über Herbst und Winter aus der organischen Substanz mineralisierten Stickstoff der Auswaschungsgefahr. Ein hoher Rest an Mineralstickstoff am Ende einer Kultur ist daher unerwünscht, denn er kann in tiefere Bodenschichten verlagert und unter ungünstige Bedingungen ausgewaschen werden (SCHARPF und WEHRMANN, 1984).

Der Gemüsebau nimmt in der Bundesrepublik zwar insgesamt nur eine sehr geringe Fläche ein, er kommt jedoch oft konzentriert vor, so daß dann regional eine hohe Trinkwasserbelastung durch Nitrat möglich ist. Aus vielen Untersuchungen ist zu entnehmen, daß der Umfang der Nitratauswaschung stark von der Art der Bewirtschaftung der Böden abhängt und im Gemüsebau oft besonders hohe Werte erreicht. Über Winter werden häufig große Mengen an Nitrat (oft mehrere hundert kg Nitrat-N ha⁻¹) ausgewaschen. Auf leichten Böden und bei flachwurzeln Kulturen wird Nitrat nach hohen Niederschlägen auch in der Vegetationsperiode ausgewaschen (SCHARPF und WEHRMANN, 1991; KUHLMAN, 1988; WEHRMANN, 1984).

Die Auswaschung von Nitrat ist vergleichsweise niedrig, wenn die oben aufgeführte N-Bilanz ausgeglichen ist, d.h. wenn mineralischer Stickstoff des Bodens und Düngerstickstoff in hohem Maße durch die Pflanzen ausgenutzt werden können. Die Auswaschung ist am ehesten zu verhindern oder zumindest zu verringern, wenn es gelingt, daß die Böden im Herbst, also zu Beginn der Hauptauswaschungsperiode, insbesondere im Unterboden kein oder nur wenig Nitrat enthalten (WIESLER, 1991; ENGELS, 1993).

Es gibt mehrere Maßnahmen, um das Stickstoff-Angebot aus Boden und Düngung durch die Kulturen besser auszunutzen und damit die Nitratauswaschung zu vermindern. Zu diesen Maßnahmen zählen: Bemessung der N-Düngung unter Einbeziehung des N-Angebotes des Bodens und des N-Bedarfes (N_{min}-Methode) (WEHRMANN und SCHARPF, 1987), Anwendung von Langzeitdüngern (LENZ, 1993), Platzierung des N-Düngers (Von KESSEL, 1991; HIMKEN, 1995), geteilte N-Gaben („KNS-System“) (LORENZ *et al.*, 1985; SCHARPF und BAUMGÄRTEL, 1994), Abführen N-reicher Ernterückstände im Herbst, Bindung des Boden-N_{min} im Herbst durch Zwischenfrüchte oder Immobilisierung durch organische Substanz mit weitem C:N-Verhältnis (EHLERS und HARTMANN, 1987; LENZ, 1993). Zu einer Verminderung der N_{min}-

Reste zu Vegetationsende kann auch die Einbeziehung von Pflanzenarten in die Fruchtfolge mit langer Vegetationsdauer bis in den Herbst hinein, tiefer Bodendurchwurzelung und hohem N-Bedarf beitragen (WEHRMANN, 1984). Während durch eine geteilte N-Düngung dem im Wachstumsverlauf steigenden N-Bedarf der Pflanzen Rechnung getragen werden kann, sind die Nachlieferung von N aus der organischen Substanz des Bodens und die N-Aufnahme der Pflanze häufig nur unzureichend synchronisiert.

Bei einer die N-Aufnahme übersteigenden Nachlieferung kann im humiden Klima eine Einwaschung von Nitrat in tiefere Bodenschicht eintreten. Die Nutzung dieses Stickstoffs erfordert ein tiefgehendes Wurzelsystem. Der Anbau von Pflanzen mit der Fähigkeit, den Boden tiefer zu durchwurzeln, stellt daher eine wichtige Maßnahme zur Reduzierung des Risikos von Nitratverlusten durch Auswaschung dar (Van NOORDWIJK und De WILLIGEN, 1986).

Im Unterschied zur Mais, Getreide und einigen anderen Gemüsekulturen (Kohlarten) besitzt Salat nur ein flaches Wurzelsystem. Der Hauptwurzelraum wird mit 0-30 cm angegeben (SCHARPF, 1991). Vor der Aussaat gedüngter Stickstoff kann bei hoher Niederschlagsintensität und/oder Bewässerung bereits im frühen Jugendstadium des Salates in eine tiefere nicht bzw. nur sehr schwach durchwurzelte Bodenschicht eingewaschen werden und damit für Salat „verloren“ sein. Auch die Durchwurzelungsintensität des Oberbodens ist generell gering, so daß für ein optimales Wachstum des in der Hauptwachstumsphase geernteten Salates hohe N_{\min} -Restwerte zum Erntetermin im Boden verbleiben.

Bei Mais und Weizen (WIESLER, 1991; EGHBALL und MARANVILLE, 1993; COMFORT *et al.*, 1988) wurden deutliche genotypische Unterschiede in der Durchwurzelung des Unterbodens festgestellt. Diese Unterschiede spiegelten sich in den N_{\min} -Restwerten im Unterboden bei der Ernte wider. Die Nitratauswaschung war bei Sorten mit intensiver Tiefendurchwurzelung deutlich geringer (WIESLER und HORST, 1994).

Da Salat ein Flachwurzler ist, wäre die Identifikation von Sorten mit großer Durchwurzelungstiefe von besonders großem Interesse.

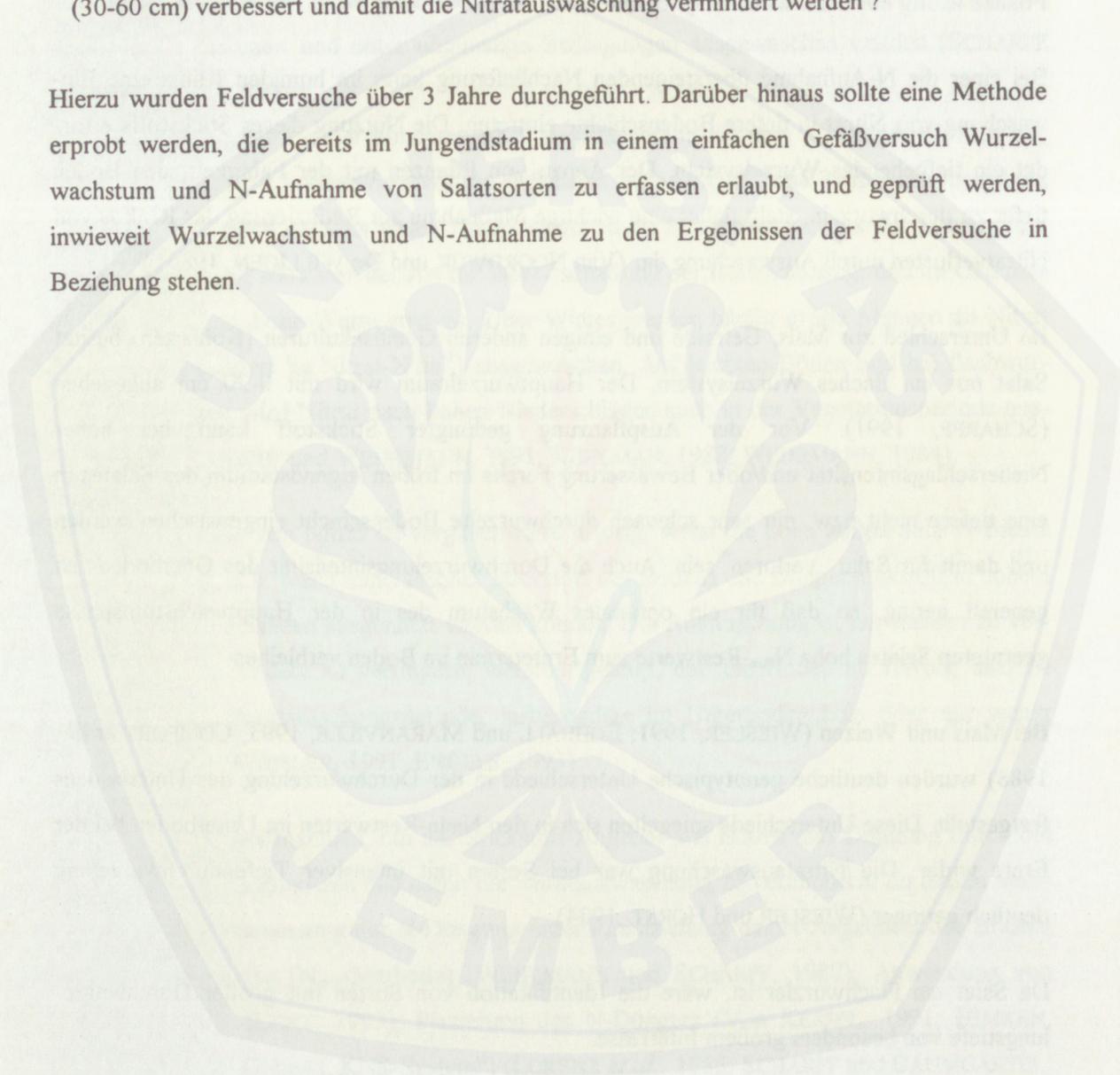
Ziel der eigenen Untersuchungen war die Klärung folgender Fragen:

- Bestehen genotypische Unterschiede im Wurzelwachstum von Kopfsalat ?
- Welche Bedeutung haben mögliche Unterschiede im Wurzelwachstum für die Nutzung des

N-Angebotes ?

- Besteht eine Wechselwirkung zwischen genotypisch spezifischem Durchwurzelungsvermögen, Anbauzeitraum und N-Angebot ?
- Bestehen genotypische Unterschiede in der N-Effizienz ?
- Kann durch Sortenwahl die Nutzung des Nitratangebotes insbesondere des Unterbodens (30-60 cm) verbessert und damit die Nitratauswaschung vermindert werden ?

Hierzu wurden Feldversuche über 3 Jahre durchgeführt. Darüber hinaus sollte eine Methode erprobt werden, die bereits im Jungendstadium in einem einfachen Gefäßversuch Wurzelwachstum und N-Aufnahme von Salatsorten zu erfassen erlaubt, und geprüft werden, inwieweit Wurzelwachstum und N-Aufnahme zu den Ergebnissen der Feldversuche in Beziehung stehen.



II. MATERIAL UND METHODEN

1 Feldversuche

Ziel der Feldversuche war es, Sortenunterschiede in Wurzelwachstum und N-Effizienz von Kopfsalat im Freiland zu untersuchen. Die Ergebnisse der Feldversuche wurden mit den Ergebnissen des Gefäßversuches in Beziehung gesetzt, um daraus Schlüsse über die Möglichkeit eines Screenings auf Wurzelmerkmale und N-Effizienz bereits in frühen Wachstumsstadien ziehen zu können.

1.1 Feldversuch 1992

In diesem Versuch wurden Sortenunterschiede bei Kopfsalat in Durchwurzelungsintensität und Ertrag auf dem Versuchsgelände des Bundessortensamt in Hannover untersucht.

Bei dem Boden des Versuchsgeländes des Bundessortensamtes handelt es sich um einen humosen, lehmigen Sand.

Als Versuchsmaterial wurden vier Kopfsalatsorten (Tannex, Ovation, Siletta und Soraya) untersucht. Alle vier Sorten sind für Frühjahrs- und Sommeranbau geeignet.

Der Versuch wurde als einfaktorielles Experiment in Form einer Blockanlage mit vier Wiederholungen und vollständiger Randomisation innerhalb der Blöcke durchgeführt. Jede Wiederholung umfaßte eine 1,2 x 3,6 m große Parzelle.

Das Saatgut wurde am 28.04.1992 in 4 x 4 cm Erdpreßtöpfen in einem Gewächshaus des Bundessortensamtes ausgesät. Die Bodenbearbeitung auf dem Standort wurde im Mai mit dem Pflug bei einer Furchentiefe von 25 cm durchgeführt.

Vor der Pflanzung (26.05.1992) wurde die Versuchsfläche auf 150 kg N ha^{-1} mit Nitrophoska permanent und Kalkstickstoff gedüngt.

Nach viertägiger Abhärtungszeit wurden die Pflanzen von Hand am 27.05.1992 gepflanzt. Der Pflanzabstand betrug 30 x 30 cm. Dies entspricht 11 Pflanzen m^{-2} .

Die Parzellen wurden durch Handjäten unkrautfrei gehalten. Um die Pflanzen vor Schädlingen zu schützen, wurde am 28.4.1992 mit Polyram-Combi (0,2 %ig) und am 29.5 und 15.6.92 jeweils mit Decis gespritzt (0,1 %ig). Die Ernte erfolgte am 30.06.1992.

1.2 Feldversuch 1993

Die Versuche (Frühjahrssatz und Sommersatz) wurden auf dem Versuchsgelände des Institutes für Gemüsebau der Universität Hannover auf dem Feld I in Ruthe durchgeführt.

Der Boden in Ruthe ist eine aus Löß entstandene Parabraunerde. Bei der Bodenart handelt es sich um lehmigen Schluff. Die Witterungsverhältnisse während der Vegetationsperioden wurden von der Wetterstation in Ruthe ermittelt. Die Tagesstrahlung war beim Frühjahrssatz konstant höher als beim Sommersatz. Niederschlagshöhe und -verteilung waren beim Frühjahrssatz niedriger und ungleichmäßiger im Vergleich zum Sommersatz. (Abb. 1 und 2).

Der Frühjahrssatz wurde am 23.04.93 gepflanzt und am 03.06.93 geerntet, der Sommersatz wurde am 19.05.93 gepflanzt und am 29.06.93 geerntet.

1993 wurden 10 Kopfsalatsorten, die für Frühjahrs- und Sommeranbau geeignet sind (Tannex, Ovation, Siletta, Soraya, Charan, Pandorian, Prosper, Sprinter, 1674 und Libusa) untersucht.

Die Versuche (Frühjahrs- und Sommersatz) wurden als einfaktorielle Experimente in Form von Blockanlagen mit 4 Wiederholungen und vollständiger Randomisation innerhalb der Blöcke durchgeführt. Die beiden Sätze wurden auf je einer 8 x 15 m großen Versuchsfläche angelegt. Die Blöcke wurden hintereinander angeordnet. Jede Wiederholung umfaßte eine 1,1 x 2,0 m große Parzelle.

Für den Frühjahrssatz wurde das Saatgut am 29.03., für den Sommersatz am 15.04.1993 in Erdpreßtöpfe von 4 x 4 cm in einem Gewächshaus ausgesät.

Um eine Nitratanreicherung auch der unteren Bodenschichten zu erreichen, wurden die Versuchsflächen (Frühjahrs- und Sommersatz) am 18.03.1993 mit 60 kg N ha⁻¹ in Form von Kalksalpeter gedüngt und danach gefräst.

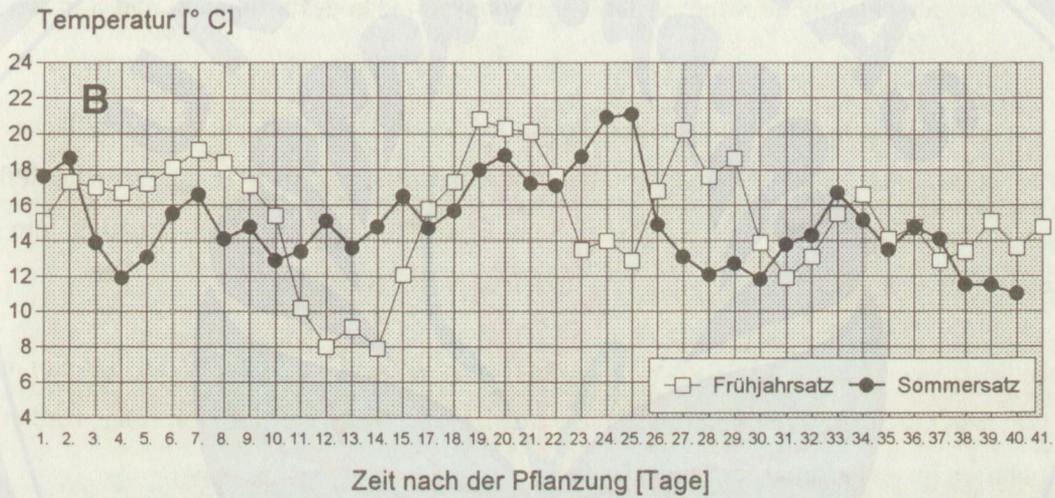
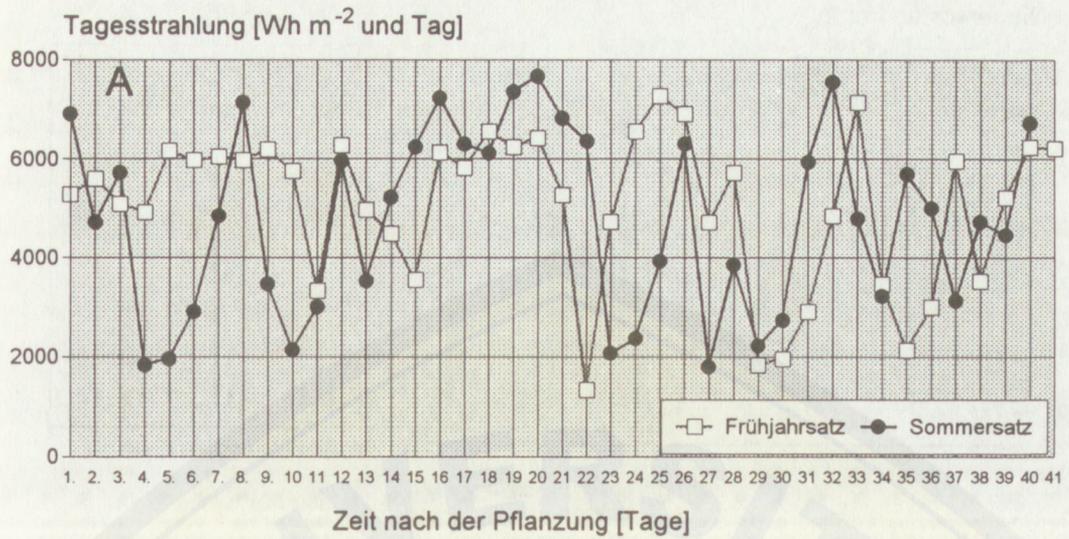


Abb. 1: Einstrahlung während der Vegetationsperioden (A) und Tagesmitteltemperatur während der Vegetationsperioden (B) des Frühjahrs- und Sommersatzes 1993.

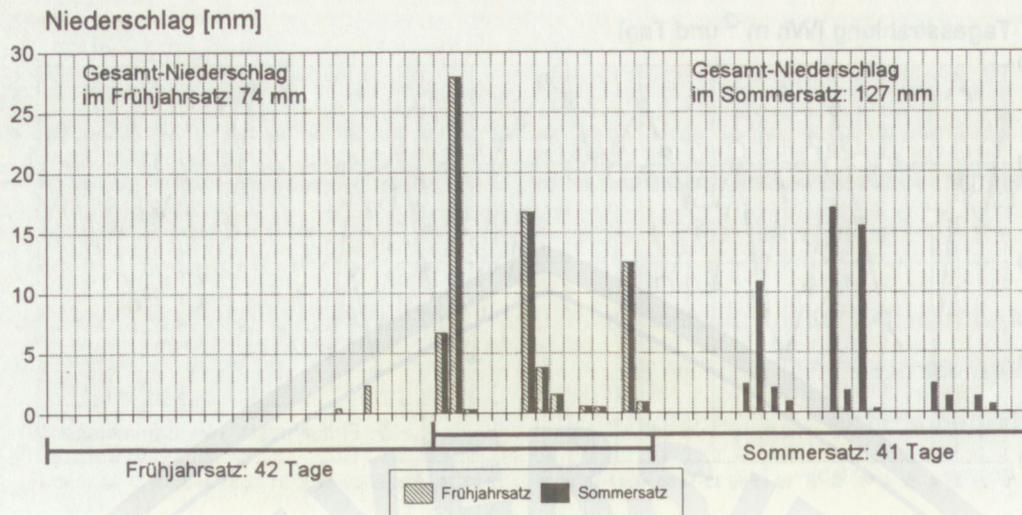


Abb. 2: Niederschlagshöhe während der Vegetationsperioden des Frühjahrs- und Sommersatzes 1993.

Die Versuchsfläche des Frühjahrssatzes wurde am 19.04.1993 und die Versuchsfläche des Sommersatzes am 12.05.1993 gepflügt. Die Pflugfurchentiefe betrug 25 cm. Vor der Pflanzung wurde auf der Fläche der N_{\min} -Gehalt des Bodens in 0-60 cm Tiefe ermittelt, um anschließend die Parzellen mit Kalksalpeter auf 130 kg N ha^{-1} aufzudüngen.

Am 23.04.1993 wurden die Pflanzen für den Frühjahrssatz und am 19.05.93 für den Sommersatz von Hand in $30 \times 30 \text{ cm}$ Pflanzabstand gepflanzt. Vier Tage vor der Pflanzung wurden die Jungpflanzen im Abhärtungsbeet abgehärtet.

Die Unkräuter wurden viermal im Kulturverlauf (Frühjahr- und Sommersatz) von Hand gejätet um zu gewährleisten, daß nur Salatwurzeln im Boden vorhanden waren. Um einen Befall mit Schädlingen und Pilzen zu verhindern, wurden die Pflanzen für den Frühjahrssatz am 4.05. und für den Sommersatz am 30.05.93 mit Insektiziden (Pirimor) und Fungiziden (Rovral) gespritzt.

1.3 Feldversuch 1994

Ein weiterer Feldversuch wurde mit vier Sorten durchgeführt, um den Einfluß des Stickstoffangebotes auf Wurzelwachstum und Ertrag von Kopfsalat zu untersuchen.

Der Versuch wurde auf dem Feld II des Versuchsgeländes des Institutes für Gemüsebau der Universität Hannover in Ruthe angelegt. Der Boden entspricht dem des Feldes I

(Feldversuch 1993). Die Pflanzen wurden am 04.05.1994 gepflanzt und am 20.06.1994 geerntet.

Die Niederschlagshöhe, die Tagesmitteltemperatur und die Einstrahlung während der Vegetationsperiode wurden von der Wetterstation in Ruthe ermittelt (Abb. 3, 4 und 5).

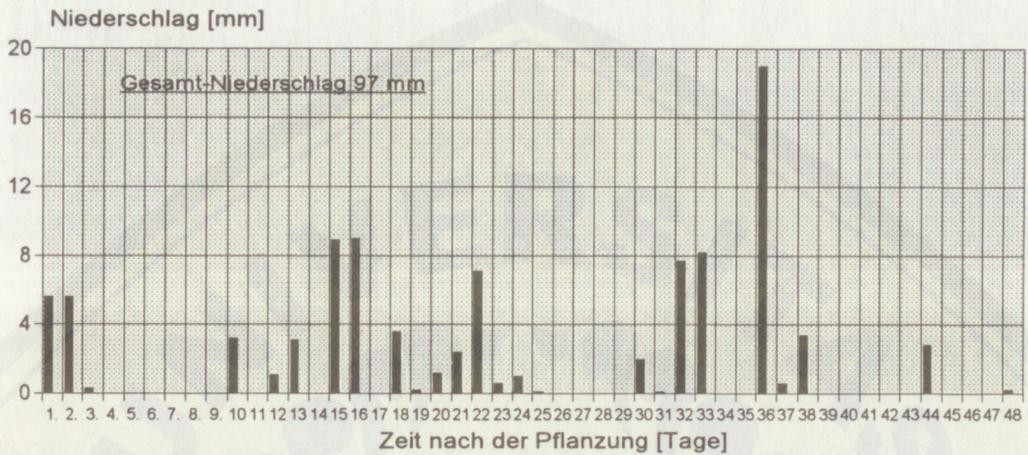


Abb. 3: Niederschlagshöhe während der Vegetationsperiode 1994.

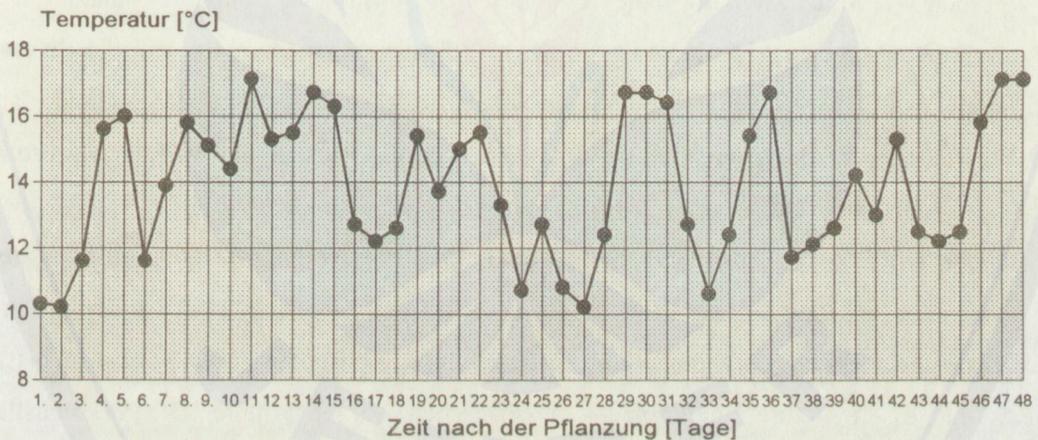


Abb. 4: Tagesmitteltemperatur während der Vegetationsperiode 1994.

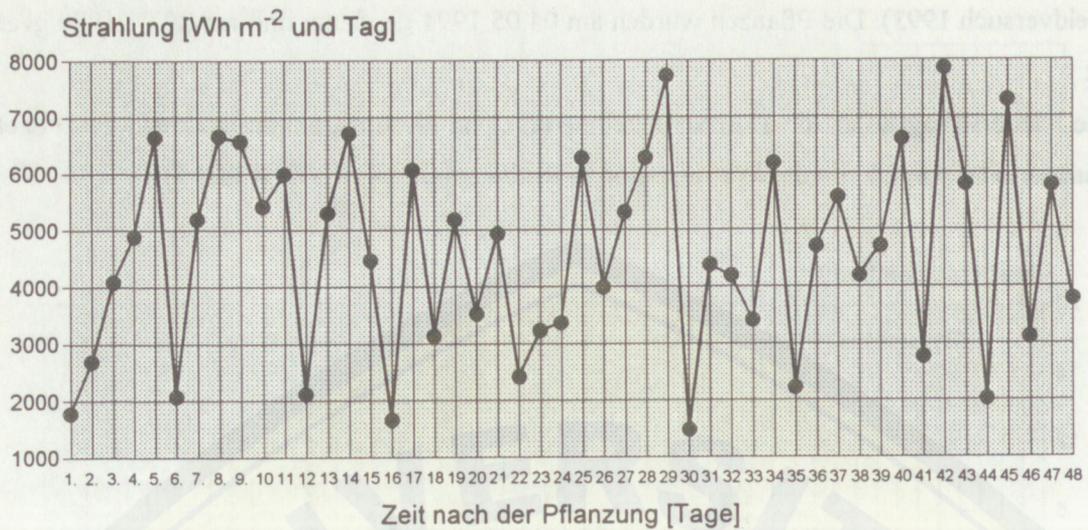


Abb. 5: Einstrahlung während der Vegetationsperiode 1994.

Die Sorten wurden auf der Basis der Ergebnisse des Feldversuches 1993 ausgewählt. 'Tannex' und 'Ovation' wurden als schwachwurzelnde Sorten, 'Charan' und 'Libusa' als gut wurzelnde Sorten ausgewählt.

Der Versuch wurde als zweifaktorielles Experiment in Form einer Split-Plot-Anlage mit vier Wiederholungen angelegt. Hierbei galt die Stickstoffvariante als Mainplot und die Salatsorte als Subplot. Auf der 8,0 x 50 m große Versuchsfläche wurden die Blöcke hintereinander angeordnet. Jede Wiederholung umfaßte eine 3,0 x 2,4 m große Parzelle mit 80 Pflanzen pro Parzelle.

Das Saatgut wurde am 5. April 1994 in 4 x 4 cm Erdpreßtöpfen in einem Gewächshaus ausgesät. Am 9.03, 8 Wochen vor der Pflanzung, wurde die Versuchsfläche auf 50 kg N ha⁻¹ in der Bodentiefe von 0-30 cm aufgedüngt und anschließend gefräst, damit der Stickstoff bis zum Pflanztermin in die untere Bodenschicht eingewaschen werden konnte. Die Versuchsfläche wurde im April 1994 mit einer Furchentiefe von 25 cm gepflügt.

Vor Versuchsbeginn wurde auf jeder Hauptparzelle der N_{min}-Gehalt des Bodens in der Schicht von 0-30 cm Tiefe untersucht, um anschließend die Parzellen mit Kalksalpeter auf das gewünschte N-Angebot aufzudüngen. Die N-Mengen sind Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Höhe des N-Angebotes (N_{\min} + Dünger) vor Vegetationsbeginn des Versuches im Jahr 1994.

N-Stufe	N-Angebot in der 0-30 cm Tiefe vor der Pflanzung [kg N ha ⁻¹]	Düngerform
N1	70	Ca(NO ₃) ₂
N2	100	Ca(NO ₃) ₂
N3	130	Ca(NO ₃) ₂

Die Pflanzen wurden von Hand in 30 x 30 cm Pflanzabstand (11 Pflanzen m⁻²) gepflanzt. Die Abhärtung erfolgte im Abhärtungsbeet 4 Tage vor der Pflanzung.

Die Unkräuter wurden 4mal im Kulturverlauf von Hand gejätet. Um einen Befall mit Schädlingen und Pilzen zu verhindern, wurden die Pflanzen am 25.05.94 mit Insektiziden (Pirimor) und Fungiziden (Rovral) gespritzt.

2 Gewächshausversuche

Ziel der Untersuchungen war es, ein Verfahren zum Screening auf Wurzelwachstum von Kopfsalatsorten zu entwickeln. Aus der Ermittlung der Wurzellängendichte im Gefäßversuch sollte ein Rückschluß auf das Wurzelwachstum im Freiland ermöglicht werden.

Da die Trennung der Wurzeln mit dem Bodensubstrat und die Bestimmung der Wurzellängendichte sehr aufwendig ist, sollte untersucht werden, ob nicht allein die Zahl der Wurzelporen in den Wachsplatten Maß für die genotypischen Unterschiede in der Durchwurzelung des unteren Gefäßabschnittes ist. Mit Hilfe von PVC-Röhrengefäßen wurden Wachse unterschiedlicher Härte auf ihre Möglichkeit zur Penetration durch Kopfsalatwurzeln untersucht.

2.1 Vorversuch

Die Untersuchung hatte zum Ziel, den Einfluß des Anzuchtssystemes auf das nachfolgende Sproß- und Wurzelwachstum von Kopfsalat in PVC-Röhrengefäßen zu ermitteln.

Der Versuch wurde als dreifaktorielles Experiment (2 Wachshärten, 4 Sorten und 3 Anzuchtssysteme) in Form einer vollständig randomisierten Anlage mit 4 Wiederholungen in einem Gewächshaus durchgeführt.

Wachshärte

Als Wachse dienten zwei Paraffine mit mittleren Schmelzpunkten von 45 bzw. 71°C. Das Wachs mit einem mittleren Schmelzpunkt von 45°C wurde als weiches Wachs (Weich) und eine Mischung beider Wachse mit einem Gewichtsverhältnis von 1:2 (mittleren Schmelzpunkt von 58°C) als hartes Wachs (Hart) verwendet. Aus dem Paraffin wurden Wachsplatten mit einer Dicke von 0,6 mm hergestellt. Dazu wurde das Paraffin auf einem Elektroherd erhitzt und danach auf heißes Glycerol in einer Wanne ausgegossen.

Sorte

Der Versuch wurde mit den vier Sorten (Tannex, Ovation, Sprinter und Soraya) durchgeführt. Alle Sorten sind für Frühjahrs- und Sommeranbau geeignet.

Anzuchtssystem

Die Pflanzen wurden in Steinwolle (15 x 15 x 30 mm) der Fa. Grodan, in Cultoplant (Durchmesser 20 mm, Höhe 25 mm) der Fa. Klingelhöfer in den Versuchsgefäßen vorkultiviert oder direkt unmittelbar in die Gefäße ausgesät. Der Versuch wurde im Oktober 1993 durchgeführt.

Als Versuchsgefäße dienten PVC-Röhren mit einem Innendurchmesser von 5,7 cm und einer Höhe von 20 cm (zweiteilig: oberes Kompartiment 15 cm und unteres Kompartiment 5 cm). Die Füllhöhe des oberen Kompartimentes betrug 12 cm, während die des unteren Kompartimentes 4 cm betrug. Zwischen dem oberen und unteren Kompartiment befand sich eine Wachsplatte. Mit Hilfe eines Drahtsiebes wurde die Bodensäule im unteren Kompartiment stabilisiert (Abb. 6).

Als Substrat diente ein Quarzsand-Lößunterboden-Gemisch im Volumenverhältnis 1:3 mit einer Lagerungsdichte von $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. Die Düngung des Substrates ist Tab. 2 zu entnehmen. Die absoluten N_{\min} -Mengen betragen 15 mg im oberen und 5 mg im unteren Gefäßkompartiment. Daraus ergibt sich eine gleichmäßige N_{\min} -Konzentration von $3,5 \text{ mg } 100^{-1} \text{ g}$ Substrat im oberen und im unteren Kompartiment.

Während des Versuches wurde die Tagestemperatur auf 20°C und die Nachttemperatur auf 15°C eingestellt. Um die Pflanzen mit ausreichendem Licht zu versorgen, wurden die Pflanzen mit 100 Wh m⁻² und Tag zusätzlich belichtet.

Tab. 2: Düngung des Substrates

Nährelement	Nährstoff-Menge je Gefäße im Vorversuch und den Versuchsjahren 1993 und 1994/95 [mg]	Form
N	20	KNO ₃
P	45	KH ₂ PO ₄
K	100	KH ₂ PO ₄ und KNO ₃
Mg	15	MgSO ₄
Mn	6	MnSO ₄
Cu	3	CuSO ₄
Zn	6	ZnSO ₄

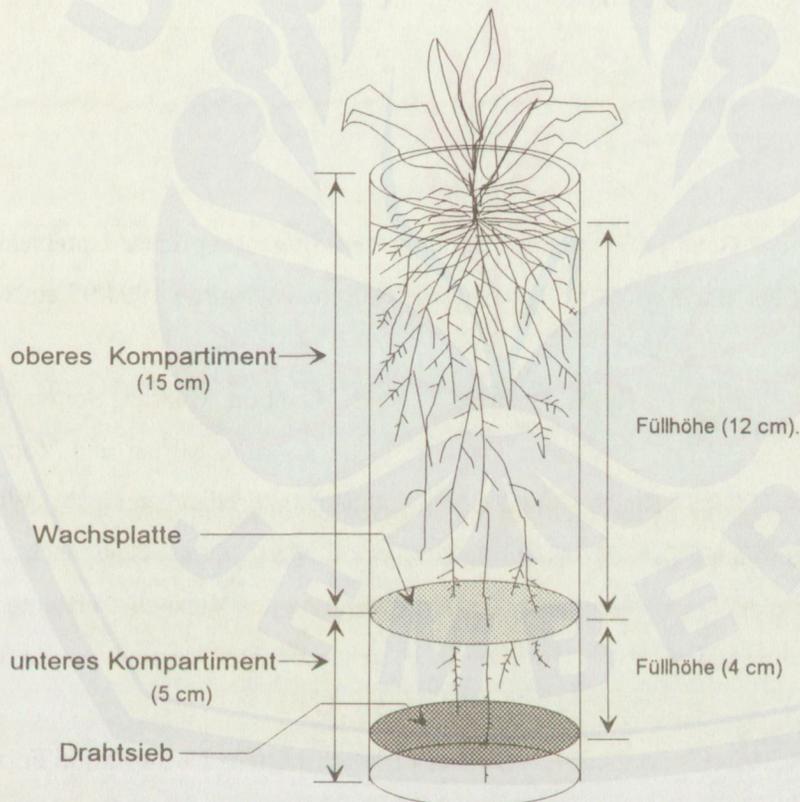


Abb. 6: Schematische Darstellung der Versuchsgefäße.

Die Bewässerung der Gefäße erfolgte nach Gewicht. Die Wassermenge in den Gefäßen wurde bei 60 % der maximalen Feldkapazität gehalten. Alle 2 Tage wurden die Gefäße gewogen und die Gewichts Differenz mit deionisiertem Wasser ausgeglichen.

2.2 Gefäßversuch 1993

Für den Versuch im Jahr 1993 wurden die gleichen 4 Kopfsalatsorten (Tannex, Ovation, Sprinter und Soraya) wie im Vorversuch verwendet. Sie wurden im Oktober 1993 in einem Gewächshaus kultiviert.

Der Versuch wurde als zweifaktorielles Experiment (2 Wachshärten und 4 Sorten) in Form einer vollständig randomisierten Anlage mit vier Wiederholungen durchgeführt. Der Versuch lief über einen Zeitraum von 29 Tagen (27.09 - 25.10.1993).

Die verwendeten Versuchgefäße und das Substrat entsprachen denen des Vorversuches. Temperatur, Belichtung und Bewässerung während des Versuches waren genauso wie beim Vorversuch.

2.3 Gefäßversuch 1994/95

Da die Aussagekraft der Gefäßversuche zur Charakterisierung genotypischer Unterschiede im Wurzelwachstum auf der Basis von 4 Sorten nur sehr begrenzt ist, wurde 1994/95 ein weiterer Versuch mit 15 Sorten durchgeführt.

Als Versuchsmaterial wurden 15 Kopfsalatsorten (Tannex, Ovation, Charan, Soraya, Libusa, Sprinter, Savian, Prosper, 1674, Stephanie, Daphne, Fleur, Clarion, Mirian und Votan) verwendet. Alle Sorten sind für Frühjahrs- und Sommeranbau im Freiland geeignet. Wie beim Versuch 1993 wurden die Pflanzen in Cultoplant vorkultiviert. Zehn Tage nach Aussaat wurden die Pflanzen in die Gefäße gepflanzt. Die Durchführung des Versuches erfolgte vom 1. Dezember 1994 bis zum 5. Januar 1995 in einem Gewächshaus. Der Versuch wurde 35 Tage nach Aussaat geerntet.

Der Versuch wurde als zweifaktorielles Experiment (2 Wachshärten, 15 Sorten) in Form einer vollständig randomisierten Anlage mit fünf Wiederholungen durchgeführt. Die Versuchsgefäße, das Bodensubstrat, die Lagerungsdichte des Bodensubstrates und die Düngung entsprachen dem Vorversuch. Pro Gefäß wurden 20 mg N gedüngt, wovon 15 mg dem oberen und 5 mg dem unteren Kompartiment zugegeben wurden. Daraus ergab sich ein N_{\min} -Gehalt von

3,5 mg 100⁻¹ g Substrat in beiden Kompartimenten. Temperatur und Bewässerung während des Versuches entsprachen dem Vorversuch. Die Zusatzbelichtung betrug 200 Wh m⁻² und Tag.

3 Durchgeführte Untersuchungen

3.1 Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse

Feldversuche

Zur Ermittlung der Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse wurden 4 Köpfe (mit den Umblättern) aus jeder Parzelle geerntet, zerkleinert und gewogen. Das Pflanzenmaterial wurde bei 65°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend gewogen.

Gewächshausversuche

Die Pflanzen (eine Pflanze pro Gefäß) wurden abgeschnitten und zur Bestimmung der Sproßfrischmasse gewogen. Die Ermittlung der Trockenmasse erfolgte nach Trocknung bei 65 °C bis zur Gewichtskonstanz.

3.2 Pflanzenanalysen

Die Durchführung von Pflanzenanalysen beschränkte sich im Wesentlichen auf die Bestimmung der Gesamt-N-Gehalte und der Nitrat-Gehalte in den Pflanzen. Dazu wurden die Pflanzenproben mit einer Kaffeemühle feinvermahlen. Die Bestimmung der Gesamt-N-Gehalte erfolgte nach der Kjeldahl-Methode. Die Nitrat-Gehalte in den Pflanzen wurden nach der Cataldo-Methode (CATALDO *et al.*, 1975) ermittelt.

3.3 Wurzeluntersuchungen

3.3.1 Ermittlung der Wurzellänge in Feldversuchen

Zur Ermittlung der Durchwurzelungsintensität des Bodens diente die Bohrkernmethode. Dazu wurden Bohrkern mit einem Eijkelkamp-Handbohrer (Bohrkern: h = 15 cm, d = 8 cm)

bis 60 cm Tiefe in Schichten von jeweils 15 cm entnommen. Pro Parzelle wurden 1992 10 Einstiche (5 neben den Pflanzen, 5 zwischen den Reihen), 1993 sowie 1994 5 Einstiche zu einer Mischprobe vereint.

Die Position der Bohrkernentnahme ist der Abb. 7 zu entnehmen. Im Versuchsjahr 1992 wurden die Wurzelproben direkt neben den Pflanzen und zwischen den Reihen, im Versuchsjahr 1993 bei der Zwischenernte direkt unter den Pflanzen und zur Endernte 12 cm von den Pflanzen entfernt entnommen. Im Versuchsjahr 1994 erfolgte die Probenahme zu den Zwischenernten und zur Endernte jeweils 12 cm von den Pflanzen entfernt (Abb. 7).

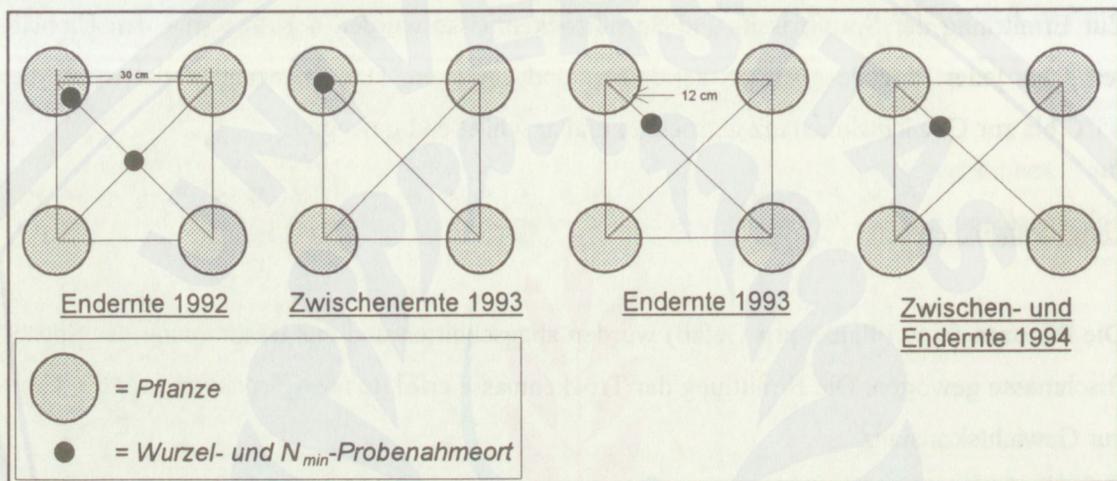


Abb. 7: Schematische Darstellung der Wurzel- und N_{min} -Probenahmeorte bei den Feldversuchen in den Jahren 1992, 1993 und 1994.

Die Probenahme erfolgte im Jahr 1992 zur Endernte, 34 Tage nach Pflanzung, im Jahr 1993 während der Vegetationsperiode, 25 (Frühjahrssatz) und 28 Tage (Sommeratz) nach Pflanzung, und zur Endernte, 42 und 41 Tage nach Pflanzung. Um die Wurzelentwicklung besser beschreiben zu können, wurden im Versuchsjahr 1994 Wurzeluntersuchungen zu vier Ernteterminen (14, 26, 41 und 48 Tage nach Pflanzung) durchgeführt.

Nach Zwischenlagerung der Bohrkern bei $+3^{\circ}\text{C}$ wurden die Wurzeln in Anlehnung an die von BÖHM (1979) beschriebene „Göttinger Methode“ aus dem Boden ausgewaschen.

Zur Erleichterung der Auswaschung wurden die Proben über Nacht in Wasser eingeweicht, die entstandene Bodensuspension wurde über ein Sieb mit einer Maschenweite von 0,8 mm abge-

schüttet. Der nach Besprühen mit einer Handbrause auf dem Sieb verbliebene Rückstand wurde in eine Schale überführt und durch mehrmaliges Aufwirbeln mit einem Wasserstrahl und anschließendes Abdekantieren in mineralische und organische Bestandteile getrennt.

Die Bestimmung der Wurzellänge erfolgte nach NEWMAN (1966) in der von TENNANT (1975) modifizierten Form. Aus den pro Bodenvolumen ermittelten Wurzellängen wurde die Wurzellängendichte (cm Wurzellänge pro cm^3 Boden) für die untersuchten Bodenschichten berechnet.

3.3.2 Ermittlung der Wurzellänge in den Gefäßversuchen

Das Substrat der Gefäße wurden aus den Gefäßen in eine Schale überführt und ausgebreitet. Die Wurzeln wurden mit Hilfe einer Pinzette aus dem Substrat herausgesucht und gesammelt. Bis zur weiteren Verarbeitung wurden die Wurzelproben in einer Tiefkühltruhe bei -20°C gelagert. Die Bestimmung der Wurzellänge erfolgte nach NEWMAN (1966) in der von TENNANT (1975) modifizierten Form.

3.3.3 Ermittlung der Zahl der Wurzelporen im Wachs

Die Wachsplatten wurden durch Herausschneiden mit Schnitten unmittelbar über und unter der Platte aus dem System getrennt. Um die Wurzeldurchschnitte durch die Wachsplatten zählen zu können, wurden diese gewaschen. Die Zahl der im Wachs steckenden Wurzeln entsprachen der Zahl der Wurzelporen im Wachs.

3.4 N_{\min} -Analysen

Die Nitrat- und Ammonium-N-Gehalte im Boden wurden in Anlehnung an die von SCHARPF (1977) entwickelte N_{\min} -Methode zu ausgewählten Terminen (vor, während und nach der Vegetationsperiode) bestimmt. Die Entnahmeorte der N_{\min} -Proben entsprachen den Wurzelprobenahmeorten (Abb. 7). Die Entnahmetiefen waren 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm und 45-60 cm. Nach der Entnahme wurden die Proben auf dem Feld gesiebt (Maschenweite: 6 x 6 mm) und sofort in einer Kühlbox gelagert. Danach wurden die Bodenproben bis zur weiteren Verarbeitung in einer Tiefkühltruhe bei -20°C gelagert. Die Extraktion des Bodens erfolgte durch Schütteln in einer 1 N KCl-Lösung (Einwaage: 50 g feldfeuchter Boden, Volu-



men der Extraktionslösung: 200 ml, Schütteldauer: 1 Stunde). Im Filtrat wurden Nitrat und Ammonium kolorimetrisch mit einem Technicon-Autoanalyzer nach Firmenanleitung gemessen.

Bei der Berechnung der N_{\min} -Gehalte wurde der Wassergehalt des Bodens berücksichtigt. Hierzu wurden 50 g feldfeuchter Boden in Bechergläser eingewogen und 24 Stunden bei 105°C getrocknet und anschließend zurückgewogen. Die Gewichts Differenz entspricht dem Wassergehalt des Bodens. Für die Umrechnung in N_{\min} -Mengen wurde eine Lagerungsdichte des Bodens von 1,5 g cm⁻³ zugrundegelegt.

4 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der Versuche wurden mit dem Programm SAS (SAS Inst. Inc., Cary, North Carolina) varianzanalytisch ausgewertet. Aufgrund des F-Tests wurde entschieden, ob gesicherte Unterschiede vorhanden waren. Der TUKEY- und LSMeans-Test dienen zur Ermittlung der Grenzdifferenzen. Es wurden folgende Irrtumswahrscheinlichkeit gewählt:

n.s: nicht signifikant.

* : signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Die Prüfung auf Zusammenhänge zwischen Meßergebnissen erfolgte mit Hilfe von Korrelationsrechnungen.

III. ERGEBNISSE

1 Feldversuche

1.1 Versuch mit 4 Sorten im Jahr 1992

1.1.1 Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse

Die Pflanzen wurden am 30.06.1992 (34 Tage nach der Pflanzung) geerntet. In Abhängigkeit von der Sorte bestanden sowohl im Frischgewicht als auch im Trockengewicht der Pflanzen keine signifikante Unterschiede (Abb. 7A und B). Im Vergleich zu den anderen untersuchten Sorten hatte die Sorte Ovation tendenziell ein größeres Kopf-Frischgewicht.

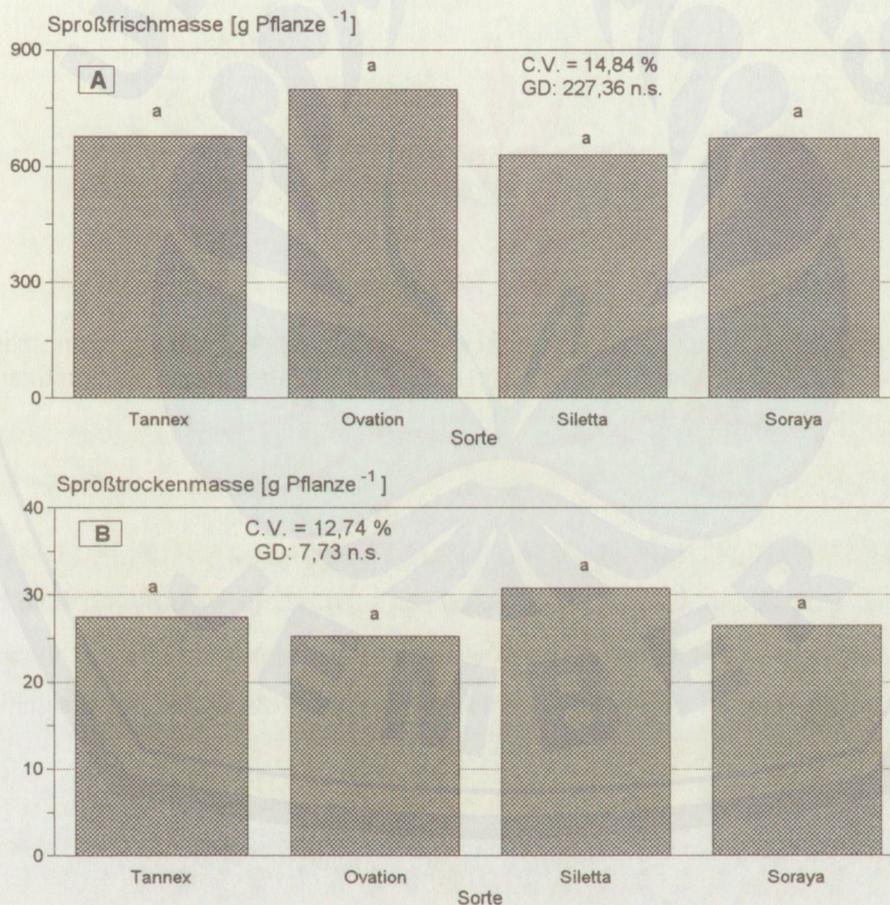


Abb. 7: Einfluß der Sorte auf die Sproßfrischmasse (A) und Sproßtrockenmasse (B) zur Ernte von Kopfsalat. Gleiche Buchstaben über den Säulen bedeuten keine signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Wegen eines geringeren Trockensubstanz-Gehaltes in der Frischsubstanz (s. Abb. 8), zeigte diese Sorte jedoch das geringste Kopf-Trockengewicht im Vergleich zu den übrigen Sorten.

Der Trockensubstanz-Gehalt in der Frischsubstanz betrug im Mittel der Sorte etwa 4 %. Zwischen den Sorten bestanden signifikante Unterschiede. Die Sorte Ovation zeigte im Gegensatz zur Sorte Siletta den geringsten Trockensubstanz-Gehalt. Dieses läßt auf einen höheren Wasser-Gehalt der Sorte Ovation schließen.

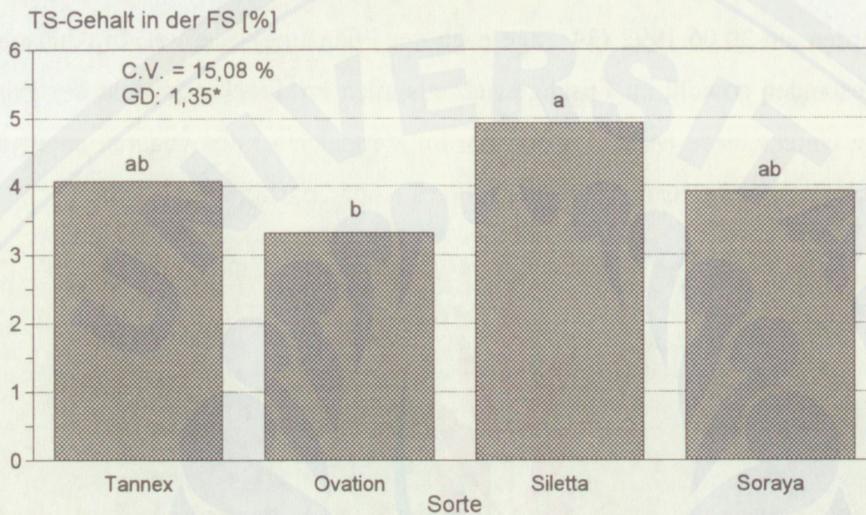


Abb. 8: Einfluß der Sorte auf den Trockensubstanz-Gehalt in der Frischsubstanz zur Ernte von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

1.1.2 Stickstoff-Gehalte und N-Aufnahme der Pflanze

Um den N-Versorgungszustand der Pflanzen beurteilen sowie die Stickstoffaufnahme berechnen zu können, wurden die N-Gehalte in den Sprossen bestimmt (Abb. 9). Bei allen vier untersuchten Sorten wurden zur Ernte ca. 3,5 % N in der Trockensubstanz und keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten ermittelt.

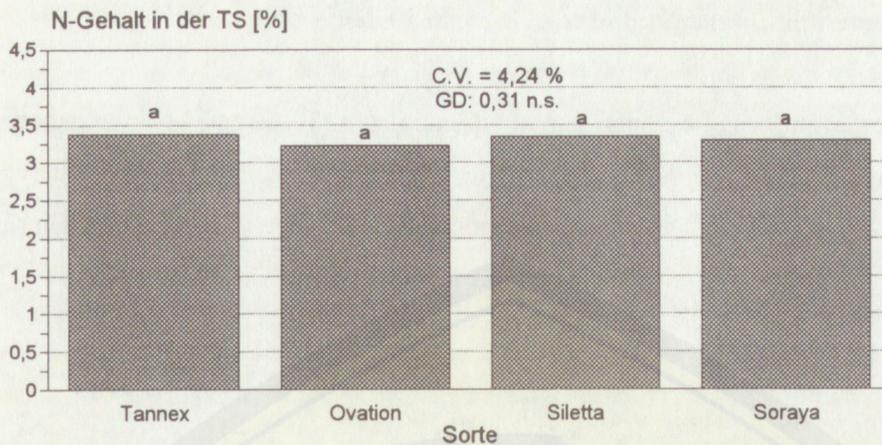


Abb. 9: Einfluß der Sorte auf den N-Gehalt in der Trockensubstanz zur Ernte von Kopfsalat. Gleiche Buchstaben über den Säulen bedeuten keine signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Aus den Erträgen und den N-Gehalten in den Sprossen wurde die Stickstoffaufnahme der Sorten in dem Sproß berechnet (Abb. 10). Zwischen den Sorten bestanden keine signifikanten Unterschiede, obwohl die Sorte Siletta eine um fast 40 kg ha⁻¹ höhere N-Aufnahme als die Sorte Tannex aufwies.

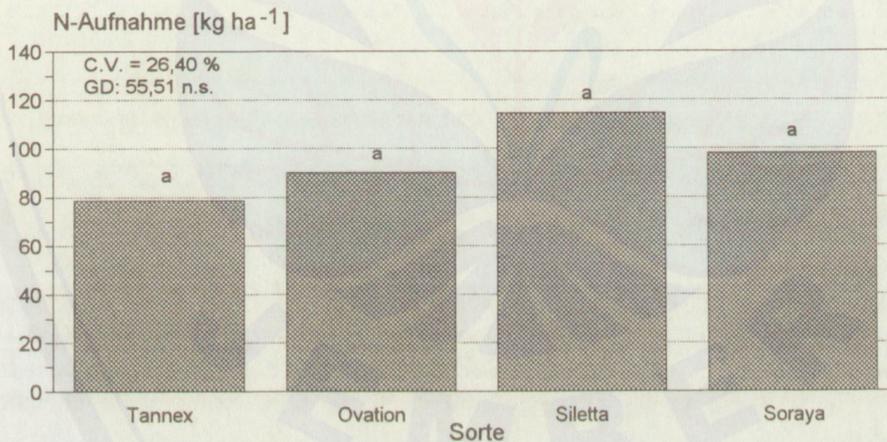


Abb. 10: Einfluß der Sorte auf die N-Aufnahme des Sprosses zur Ernte von Kopfsalat. Gleiche Buchstaben über den Säulen bedeuten keine signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

1.1.3 Durchwurzelungsintensität und N_{min} -Rest im Boden

Für die Stickstoffausnutzung besonders aus dem Unterboden (30-60 cm) könnten genotypische Unterschiede in der Tiefdurchwurzelung von Bedeutung sein. Wie aus Abb. 11 hervorgeht, waren alle Sorten mit ihren Wurzeln in die Bodenschicht 45-60 cm vorgedrungen. Hinsichtlich der Durchwurzelungsintensität ergab sich eine genotypische Variabilität.

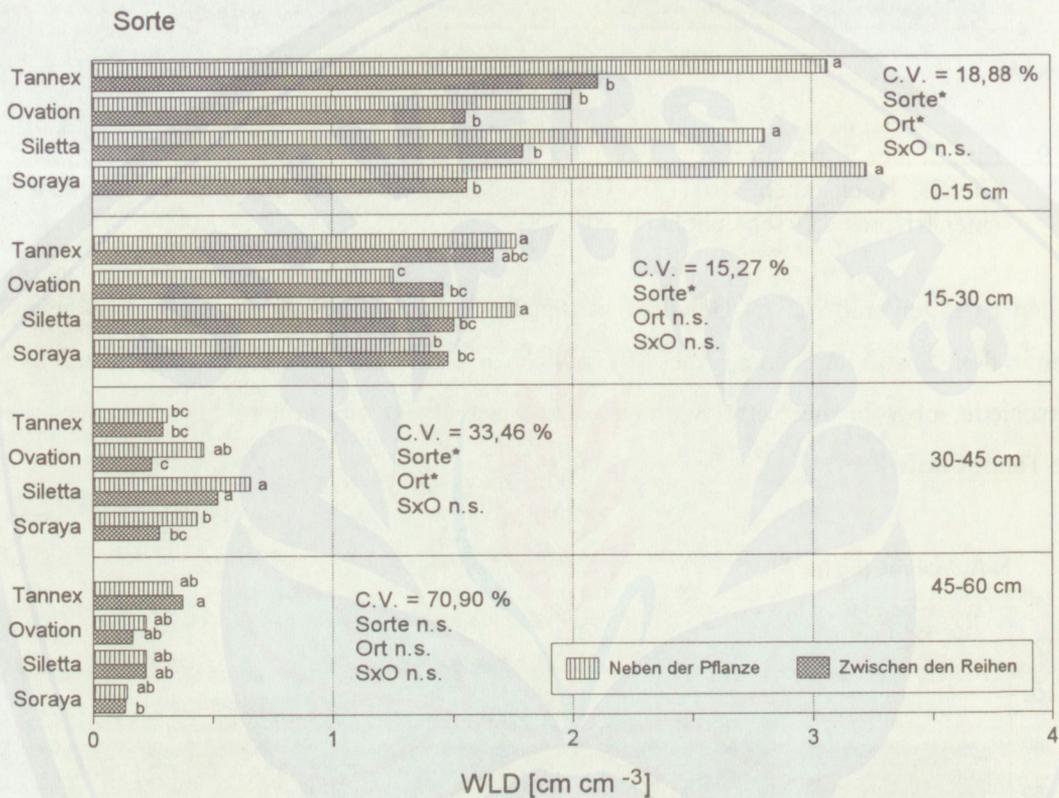


Abb. 11: Einfluß der Sorte und des Probenahmeortes auf die Wurzellängendichte (WLD) zur Ernte von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleichen Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Die Wurzeln des Kopfsalates befanden sich vorwiegend in der Bodenschicht 0 bis 30 cm. Die Wurzellängendichte der Sorten unterschied sich signifikant in den Bodenschichten 0-15, 15-30 und 30-45 cm, nicht aber in der Bodenschicht 45-60 cm, da hier gegenüber den anderen Bodenschichten die Variabilität beträchtlich anstieg (C.V. = 70,9 %). Die Sorte Tannex, die in der Bodenschicht 30-45 cm die geringste Wurzellängendichte zeigte, wies in allen anderen

Bodenschichten mit die höchsten Wurzellängendichten auf. Die Sorte Ovation zeichnete sich in der Regel durch ein geringes Durchwurzelungsvermögen aus.

Deutliche Unterschiede in der Durchwurzelungsintensität unmittelbar neben den Pflanzen und zwischen den Pflanzreihen traten nur in der obersten Bodenschicht auf. Die Unterschiede waren zwar auch in der Bodenschicht 30-45 cm signifikant, die absoluten Unterschiede waren aber gering.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Durchwurzelungsintensität und N_{min} -Verarmung des Bodens festzustellen, wurden zur Ernte auch die N_{min} -Reste in den vier Bodenschichten untersucht (Abb. 12). In Übereinstimmung mit den wesentlich höheren Wurzellängendichten im Oberboden (0-30 cm) waren auch in den beiden oberen Bodenschichten die N_{min} -Reste geringer.

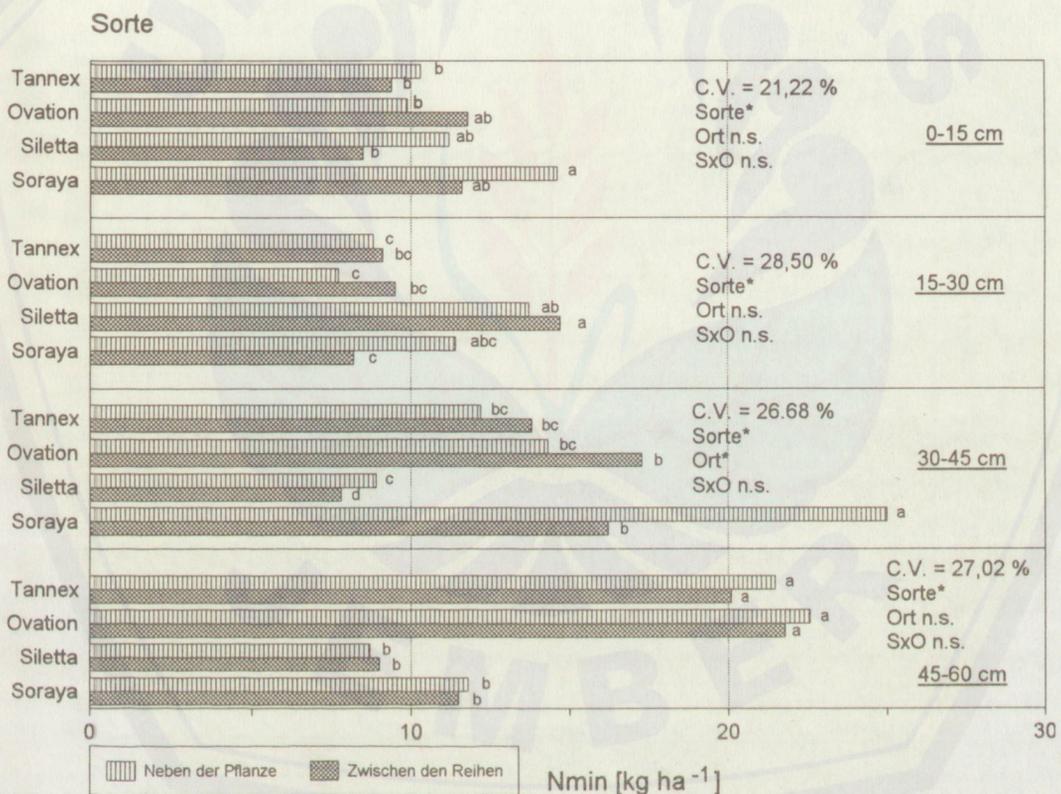


Abb. 12: Einfluß der Sorte und des Probenahmeortes auf den N_{min} -Rest im Boden zur Ernte von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleichen Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

In Pflanzennähe und zwischen den Reihen bestanden in der Regel keine Unterschiede. In den Bodenschichten 30-45 und 45-60 cm hinterließ die Sorte Siletta einen geringeren N_{\min} -Rest im Vergleich zu den anderen Sorten. Im Gegenteil dazu zeigten die Sorten Tannex und Ovation in 45-60 cm Bodenschicht jeweils einen höheren N_{\min} -Rest.

1.1.4 Beziehung zwischen der WLD und dem N_{\min} -Rest im Boden

Abb. 13 zeigt die Beziehung zwischen der Wurzellängendichte zur Ernte und dem N_{\min} -Rest im Boden in den vier verschiedenen Schichten (0-15, 15-30, 30-45 und 45-60 cm).

Zwischen der Wurzellängendichte und dem N_{\min} -Rest (Probenahmeort: neben der Pflanze) bestand keine Beziehung. Erstaunlicherweise bestand sogar entgegen den Erwartungen eine Tendenz zu einer positive Beziehung.

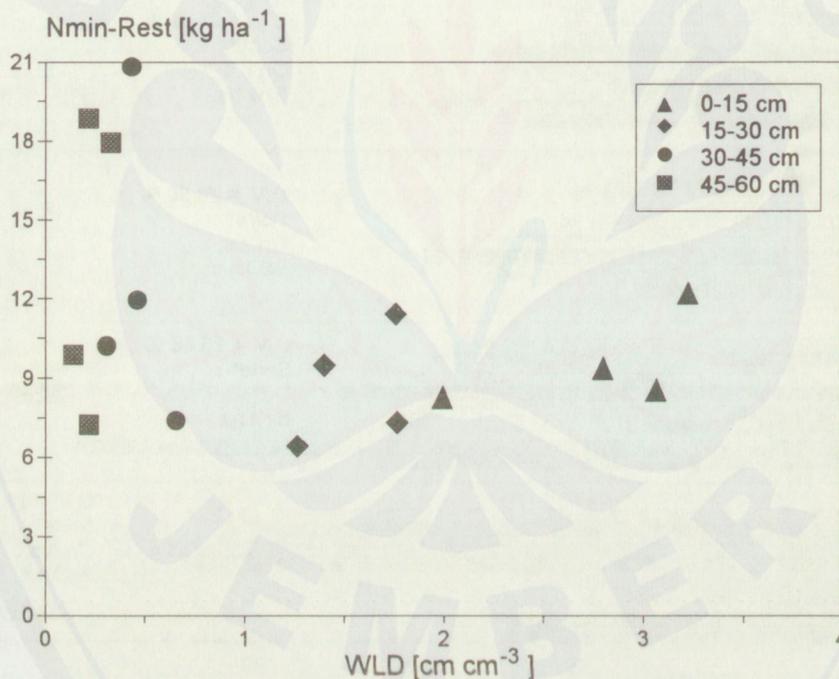


Abb. 13: Beziehung zwischen der WLD und dem N_{\min} -Rest im Boden (Probenahmeort: neben der Pflanze) zur Ernte von Kopfsalat.

In Pflanzennähe und zwischen den Reihen bestanden in der Regel keine Unterschiede. In den Bodenschichten 30-45 und 45-60 cm hinterließ die Sorte Siletta einen geringeren N_{\min} -Rest im Vergleich zu den anderen Sorten. Im Gegenteil dazu zeigten die Sorten Tannex und Ovation in 45-60 cm Bodenschicht jeweils einen höheren N_{\min} -Rest.

1.1.4 Beziehung zwischen der WLD und dem N_{\min} -Rest im Boden

Abb. 13 zeigt die Beziehung zwischen der Wurzellängendichte zur Ernte und dem N_{\min} -Rest im Boden in den vier verschiedenen Schichten (0-15, 15-30, 30-45 und 45-60 cm).

Zwischen der Wurzellängendichte und dem N_{\min} -Rest (Probenahmeort: neben der Pflanze) bestand keine Beziehung. Erstaunlicherweise bestand sogar entgegen den Erwartungen eine Tendenz zu einer positive Beziehung.

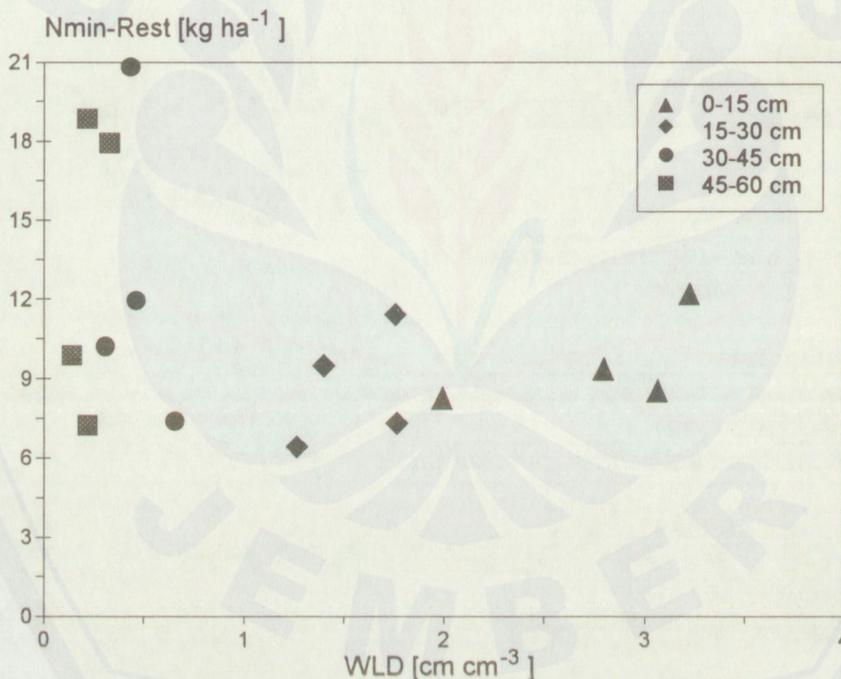


Abb. 13: Beziehung zwischen der WLD und dem N_{\min} -Rest im Boden (Probenahmeort: neben der Pflanze) zur Ernte von Kopfsalat.



1.2 Versuch mit 10 Sorten im Jahr 1993

Im zweiten Feldversuch wurde eine größere Zahl von Salatsorten in die Untersuchung eingeschlossen. Der erste Satz wurde im Frühjahr (23.4-3.6.1993), der zweite Satz im Sommer (19.5-29.6.1993) angebaut.

1.2.1 Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse

Die Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse der Sorten zur Endernte sind in Abb. 14A und B dargestellt.

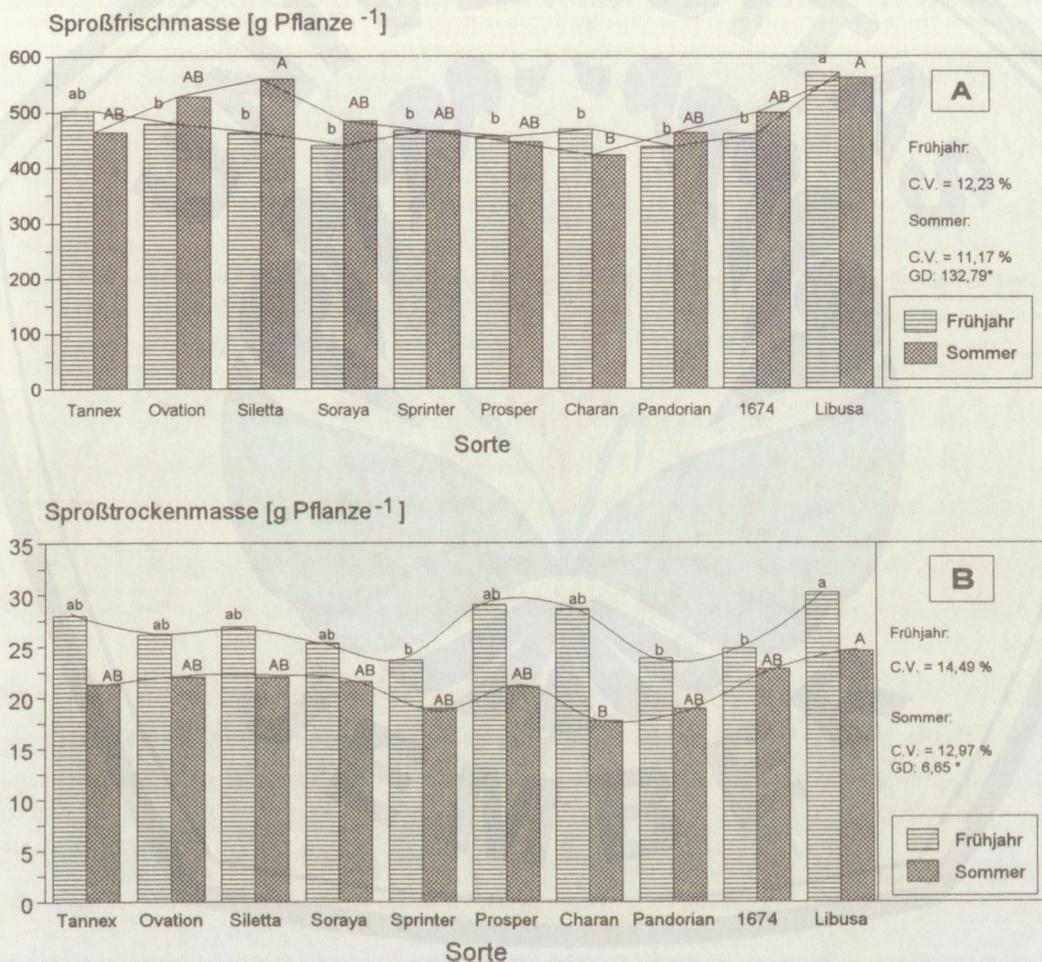


Abb. 14: Einfluß der Sorte auf die Sproßfrischmasse (A) und die Sproßtrockenmasse (B) zur Endernte beim Frühjahrs- und Sommersatz 1993 von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Der Frühjahr- und Sommersatz wurden getrennt verrechnet.

Sowohl der Frühjahrssatz als auch der Sommersatz wiesen auf eine erhebliche genotypische Variabilität in der Kopfbildung (Frisch- und Trockenmasse) der untersuchten Sorten hin.

Bei der Bildung der Sproßfrischmasse reagierten die untersuchten Sorten auf den Anbauzeitraum unterschiedlich. Einige Sorten bildeten eine höher Sproßfrischmasse im Frühjahr (Tannex, Charan und Libusa), im Gegensatz dazu wiesen aber die Sorten Siletta, Ovation, Soraya, 1674 und Pandorian eine höhe Sproßfrischmasse im Sommer auf.

In Abhängigkeit von der Sorte variierte die Sproßfrischmasse sowohl beim Frühjahrssatz als auch beim Sommersatz signifikant. Allerdings unterschied sich im Frühjahr nur die Sorte Libusa von den anderen Sorten mit Ausnahme der Sorte Tannex signifikant (Abb.14A). Im Sommer wies nur die Sorte Charan signifikant niedrigere Kopfgewicht auf.

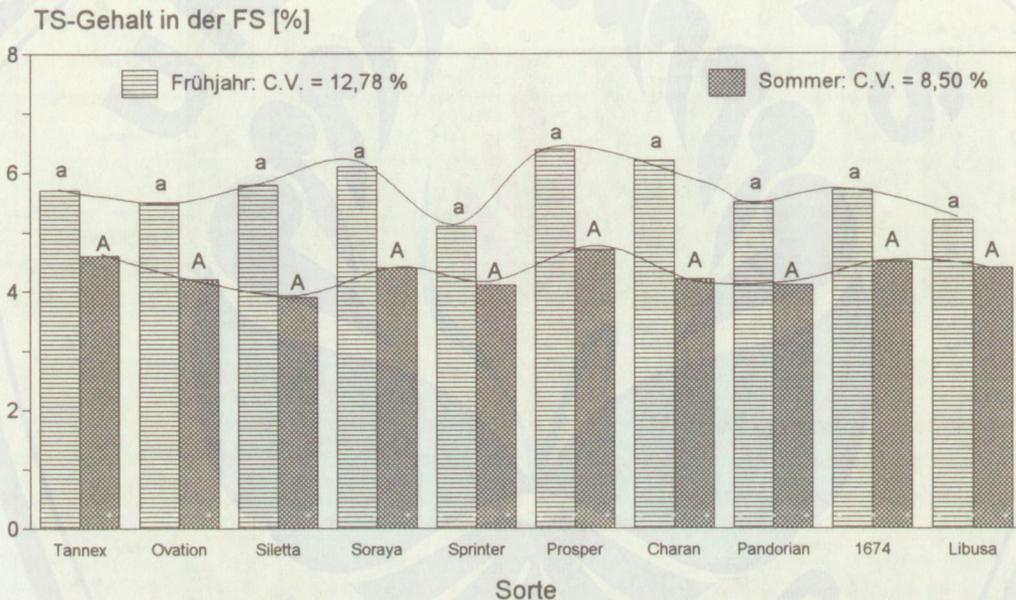


Abb. 15: Einfluß der Sorte auf den Trockensubstanz-Gehalt in der Frischsubstanz zur Endernte im Frühjahrssatz und Sommersatz 1993 von Kopfsalat. Gleiche Buchstaben über den Säulen bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Der Frühjahrs- und Sommersatz wurden getrennt verrechnet.

Alle untersuchten Sorten zeigten beim Frühjahrssatz eine höhere Sproßtrockenmasse als beim Sommersatz, weil der Trockensubstanzgehalt höher war. Zwischen den Sorten traten im Trockensubstanzgehalt keine gesicherten Unterschiede auf. Die im 1. Versuch (Jahre 1992)

gezeigten Unterschiede zwischen den Sorten Ovation und Siletta waren weder im Frühjahr noch im Sommer 1993 zu reproduzieren (Abb. 15).

1.2.2 Stickstoff- und Nitrat-Gehalt und N-Aufnahme der Pflanze

Beim Sommersatz zeigten die zehn untersuchten Sorten deutlich höhere Stickstoff-Gehalte in der Trockensubstanz als beim Frühjahrssatz (Abb. 16A). Dies mag daran liegen, daß die Pflanzen beim Sommersatz ein höheres N-Angebot hatten (Abb. 17) und einen geringeren Trockensubstanz-Gehalte in der Frischsubstanz aufwiesen (Abb. 15).

Beim Sommersatz, nicht aber beim Frühjahrssatz bestanden signifikante Unterschiede im N-Gehalt zwischen den Sorten. Die Sorte Charan wies einen höheren N-Gehalt in der Trockensubstanz als die übrigen Sorten auf, signifikant war dieser Unterschied jedoch lediglich zur Sorte 1674. Im Vergleich zu Literaturangaben (3,5 % in der TS) war der N-Gehalt beim Frühjahrssatz niedrig (Mittelwert 2,5 %), beim Sommersatz jedoch etwas höher (Mittelwert 3,8 %) (Abb. 16A).

Der Nitrat-Gehalt unterschieden sich noch deutlicher zwischen den Sätzen: sie waren beim Frühjahrssatz viel niedriger (unter $100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ FS}$) als beim Sommersatz ($500\text{-}620 \text{ mg kg}^{-1} \text{ FS}$). Zwischen den Sorten bestanden keine signifikanten Unterschiede bei beiden Sätzen. Die sehr niedrigen Nitrat-Gehalt im Frühjahr dürften auf ein geringes N-Angebot und sehr günstige Belichtungsverhältnisse in diesem Jahr zurückzuführen sein (Abb. 16B).

Ein höheres N-Angebot im Sommer im Vergleich zum Frühjahr spiegelt sich auch in der N-Aufnahme wider: Alle Sorten wiesen im Sommersatz eine höhere N-Aufnahme als im Frühjahrssatz auf. Dies könnte auf die gleichmäßigere Bodenfeuchtigkeit im Sommer im Vergleich zum Frühjahr beruhen. Die Unterschiede zwischen den Sorten waren beim Frühjahrssatz nicht aber beim Sommersatz signifikant (Abb. 17).

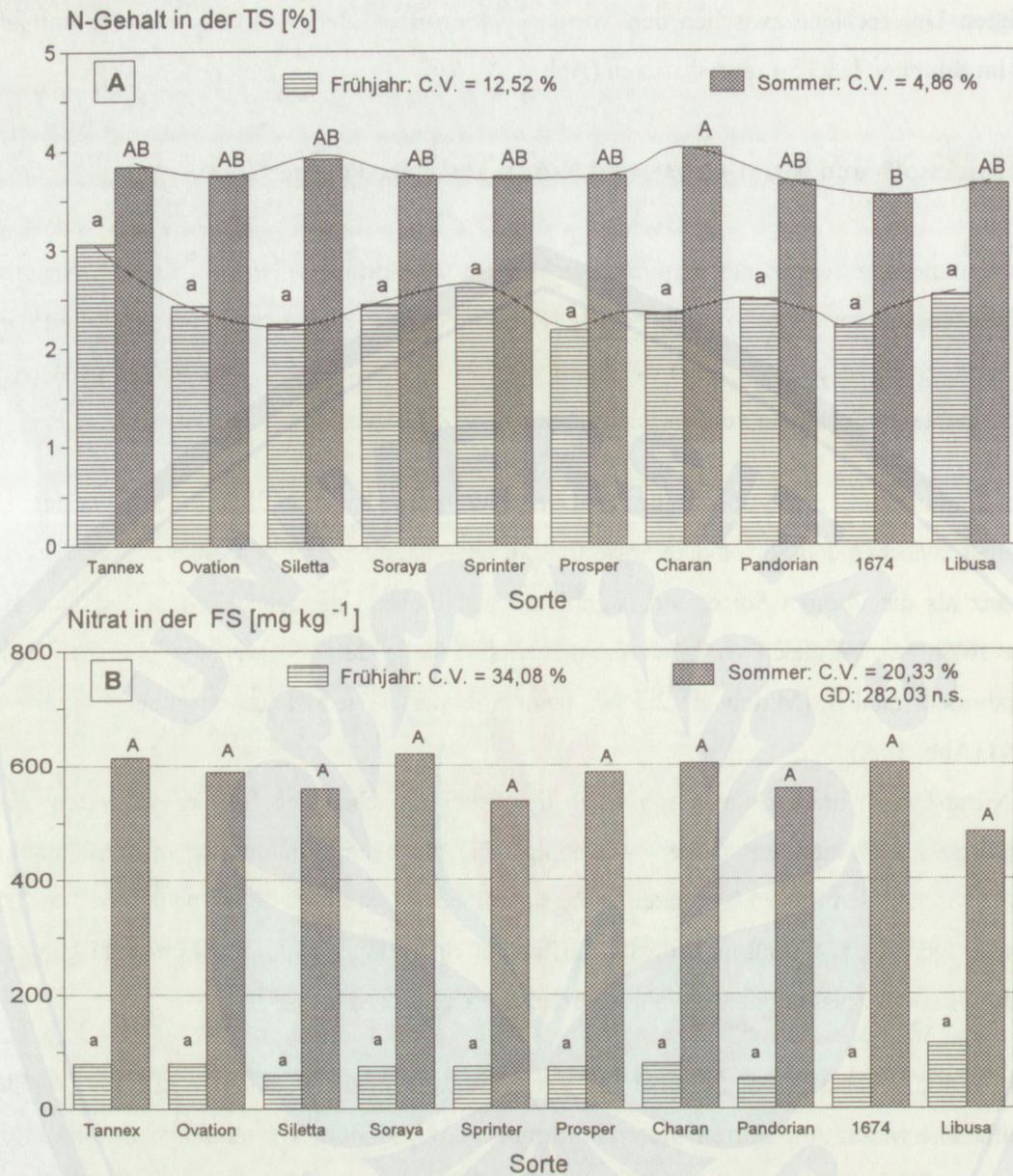


Abb. 16: Einfluß der Sorte auf den N-Gehalt in der Trockensubstanz (A) und Nitrat-Gehalt in der FS (B) zur Endernte beim Frühjahrssatz und Sommersatz 1993 von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Der Frühjahrs- und Sommersatz wurden getrennt verrechnet.

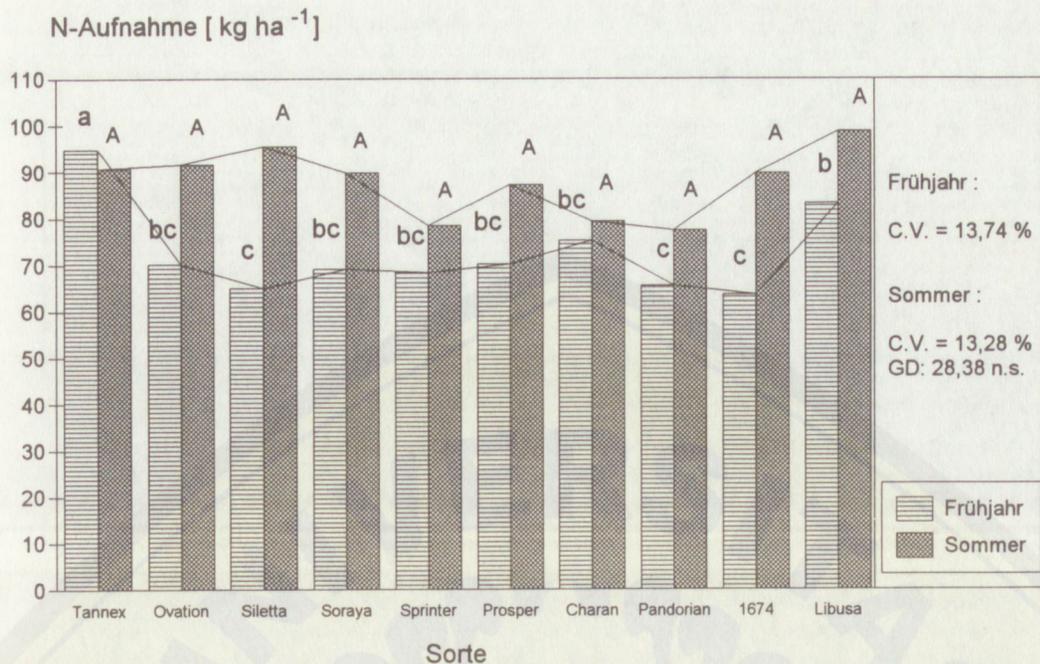


Abb. 17: Einfluß der Sorte auf die N-Aufnahme des Sprosses zur Endernte beim Frühjahrs- und Sommersatz 1993 von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Der Frühjahrs- und Sommersatz wurden getrennt verrechnet.

1.2.3 Beziehung zwischen Sproßmerkmalen und N-Aufnahme

Die N-Verwertungseffizienz war im Sommersatz deutlich geringer als im Frühjahrssatz. Bei gegebener N-Aufnahme war die gebildete Sproßfrischmasse, insbesondere aber die Sproßtrockenmasse deutlich niedriger. Beim Sommersatz bestanden hoch signifikante Unterschiede zwischen Sproßfrischmasse bzw. Sproßtrockenmasse und N-Aufnahme. Im Frühjahr zeigte die N-Aufnahme lediglich mit der Sproßfrischmasse eine signifikante Beziehung (Abb. 18).

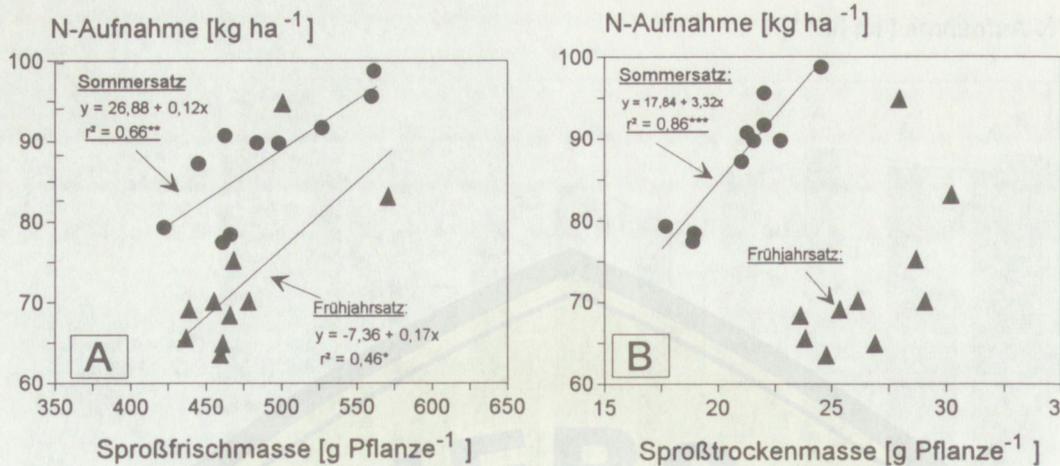


Abb. 18: Beziehung zwischen der Sproßfrischmasse (A) und der Sproßtrockenmasse (B) und der N-Aufnahme zur Endernte beim Frühjahrs- und Sommersatz 1993 von Kopfsalat.

1.2.4 Sortentypische Unterschiede in der Durchwurzelungsintensität und im N_{\min} -Rest im Boden

1.2.4.1 Durchwurzelungsintensität im Frühjahrs- und Sommersatz

Ob sortenspezifische Unterschiede in der N-Aufnahme auf Unterschiede im N-Aneignungsvermögen beruhen, war Gegenstand der folgenden Untersuchungen.

Die Wurzellängendichte der 10 untersuchten Sorten zur Endernte beim Frühjahrsatz ist in Abb. 19 dargestellt. Dabei wird deutlich, daß lediglich in den Bodenschichten 0-15 und 15-30 cm, nicht aber im Unterboden, eine intensive Durchwurzelung des Bodens erfolgte.

Im Vergleich zum Feldversuch 1992, wurden 1993 viel niedrigere Wurzellängendichten gemessen, insbesondere beim Sommersatz. Dies könnte auf unterschiedliche Bodenbedingungen und Witterungsverhältnisse zurückzuführen sein. Methodische Probleme bei der Bestimmung der Wurzellängendichten lassen sich allerdings ebenfalls nicht ausschließen.

Die Unterschiede zwischen den Sorten waren beim Frühjahrsatz signifikant in allen Bodenschichten. In der Schicht 0-15 cm wurde eine hohe Wurzellängendichte bei den Sorten Ovation, Charan und Libusa ermittelt, während in der zweiten Bodenschicht (15-30 cm) die Wurzellängendichte von 'Charan' und 'Libusa' durchschnittlich war. Im Unterboden (30-45

und 45-60 cm) zeigte die Sorte Charan eine hohe Wurzellängendichte und unterschied sich signifikant von allen anderen Sorten. Die Sorte Libusa wies im Unterboden die geringste Wurzellängendichte auf (Abb. 19).

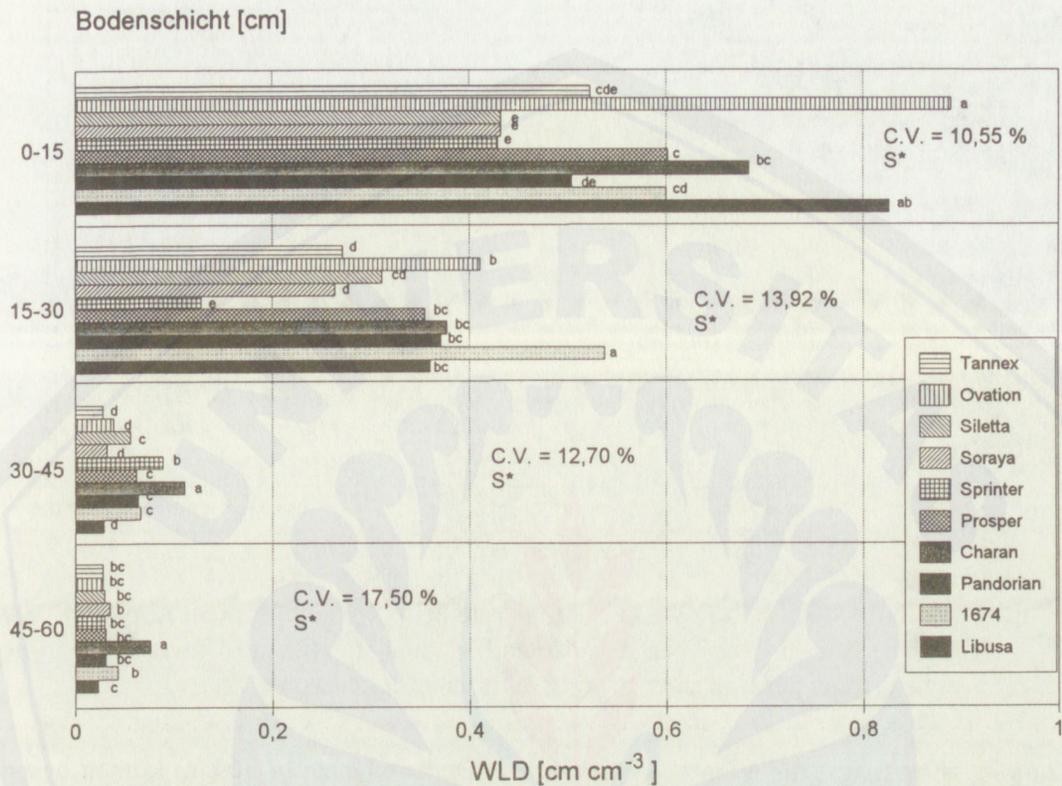


Abb. 19: Einfluß der Sorte auf die WLD zur Endernte beim Frühjahrssatz von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleichen Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Die Verteilung der Wurzeln im Bodenprofil war beim Sommersatz (Abb. 20) ähnlich wie beim Frühjahrssatz. Allerdings war die Wurzellängendichte nur ca. halb so groß in allen Bodenschichten. Auch im Sommersatz traten signifikante Unterschiede zwischen den Sorten auf. Allerdings war die Rangfolge der Sorten völlig unterschiedlich. Die Sorten Ovation und Libusa, die in der 0-15 cm Bodenschicht beim Frühjahrssatz hohe Wurzellängendichten hatten, wiesen beim Sommersatz niedrige Wurzellängendichten auf. Auch die bei Frühjahrssatz durch hohe Wurzellängendichte im Unterboden aufgefallene Sorte Charan, zeichnete sich bei Sommeranbau eher durch eine niedrige Wurzellängendichte aus.

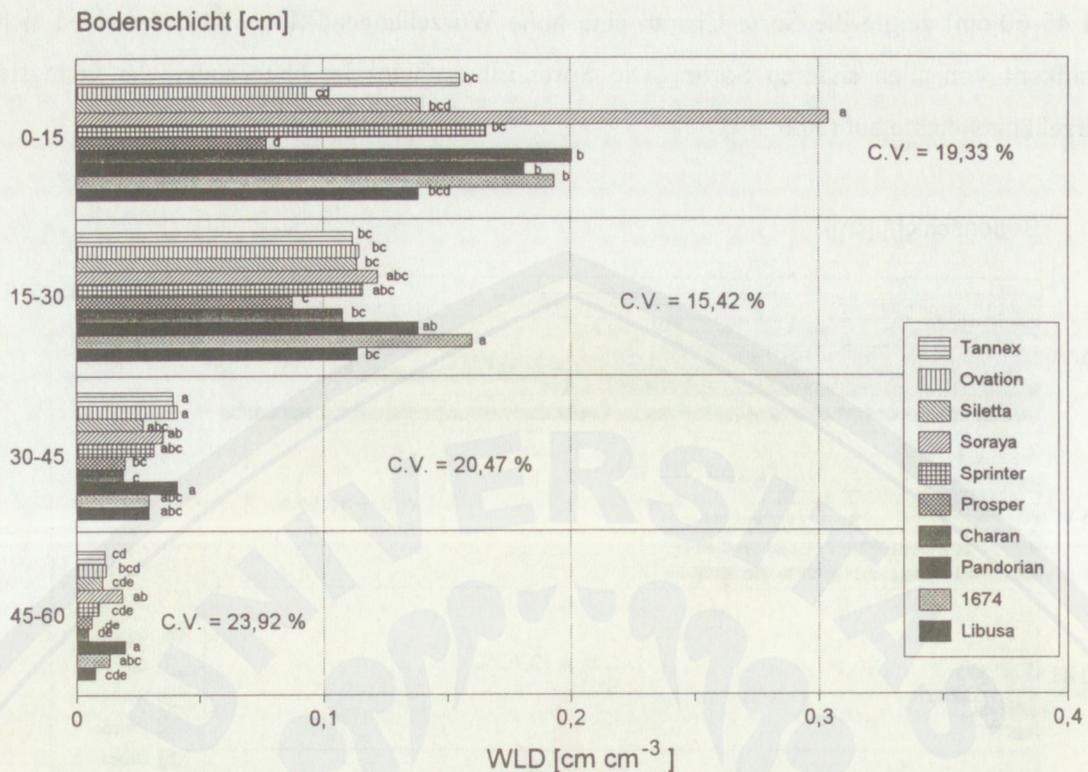


Abb. 20: Einfluß der Sorte auf die WLD zur Endernte beim Sommersatz von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleichen Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Die starke Konzentration der Wurzeln in der oberen Bodenschicht (0-30 cm) kommt besonders deutlich zum Ausdruck, wenn die prozentuale Verteilung der Wurzellänge zwischen Ober- und Unterboden (30-60 cm) berechnet wird. Sowohl im Frühjahr- als auch im Sommersatz befanden sich bei allen Sorten immer mehr als 80 % aller Wurzeln im Oberboden. Es zeichnen sich Sortenunterschiede ab, die jedoch zwischen den Sorten nicht konsistent sind. Aus der Wurzellängendichte des gesamten Bodenprofils wurde zum Vergleich auch die Gesamtwurzellänge pro Flächeneinheit berechnet. Zwischen den Sorten traten signifikante Unterschiede sowohl im Frühjahr- als auch im Sommersatz auf. Allerdings reagierten die Sorten in den Anbauzeiträumen unterschiedlich. Beim Frühjahrssatz zeigte die Sorte Ovation signifikant höhere und die Sorte Sprinter signifikant niedrigere Wurzellängen als die anderen Sorten. Die Sorte Soraya, die beim Frühjahrssatz eine niedrige Wurzellänge zeigte, wies aber beim Sommersatz die höchste Wurzellänge auf.

Tab. 3: Prozentuale Vertikalverteilung der Gesamtwurzellänge in Ober- und Unterboden und Wurzellänge pro Flächeneinheit von zehn Kopfsalatsorten bei Frühjahrs- und Sommersatz. Verschiedene Buchstaben hinter den Zahlen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Sorte	Bodenschicht [cm]	Frühjahrsatz		Sommersatz	
		Wurzellänge [%]	Wurzellänge [km m ⁻² in 0-60 cm]	Wurzellänge [%]	Wurzellänge [km m ⁻² in 0-60 cm]
Tannex	0-30	94	1,4 <i>cd</i>	86	0,5 <i>cdef</i>
	30-60	6		14	
Ovation	0-30	95	2,1 <i>a</i>	80	0,4 <i>ef</i>
	30-60	5		20	
Siletta	0-30	86	1,3 <i>cde</i>	88	0,5 <i>bcd</i>
	30-60	14		12	
Soraya	0-30	93	1,2 <i>de</i>	87	0,7 <i>a</i>
	30-60	7		13	
Sprinter	0-30	82	1,0 <i>e</i>	88	0,5 <i>bcd</i>
	30-60	18		12	
Prosper	0-30	88	1,6 <i>bc</i>	87	0,3 <i>f</i>
	30-60	12		13	
Charan	0-30	85	1,9 <i>ab</i>	94	0,5 <i>cde</i>
	30-60	15		6	
Pandorian	0-30	87	1,5 <i>bc</i>	83	0,6 <i>abc</i>
	30-60	13		17	
1674	0-30	89	1,9 <i>ab</i>	83	0,6 <i>ab</i>
	30-60	11		17	
Libusa	0-30	96	1,9 <i>ab</i>	83	0,4 <i>def</i>
	30-60	4		17	

1.2.4.2 N_{min}-Rest im Boden beim Frühjahrs- und Sommersatz

Der N_{min}-Rest im Boden nach der Ernte könnte einen Hinweis auf die Effizienz der Nutzung des N-Angebotes geben. Nach dem Frühjahrsatz (Abb. 21) lagen insgesamt nur sehr niedrige N_{min}-Reste im Boden vor, was die sehr niedrigen Nitratgehalte in den Pflanzen zur Ernte erklärt. Die N_{min}-Reste nahmen von Ober- zum Unterboden ab, wobei jedoch deren Variabilität sehr groß war. Aus diesem Grund waren zwischen den Sorten auch in den drei oberen Bodenschichten keine signifikanten Unterschiede festzustellen. In der Tendenz hinterließen die Sorten Tannex, Siletta und Prosper die höchsten N_{min}-Reste. Nur in der untersten Bodenschicht waren die Sortenunterschiede signifikant, wobei sich die Sorten Tannex und Siletta durch hohe, Ovation, Sprinter und Libusa durch niedrige N_{min}-Reste auszeichneten.

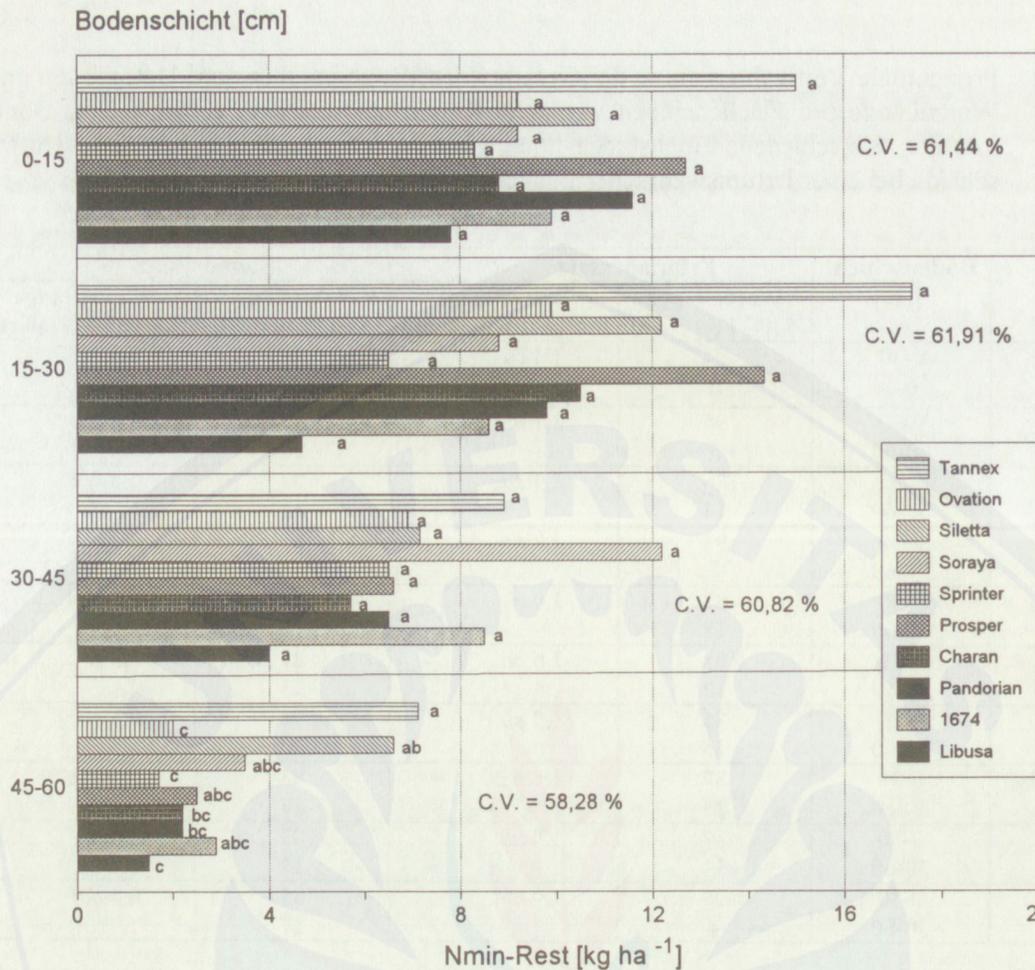


Abb. 21: Einfluß der Sorte auf den N_{\min} -Rest im Boden zur Endernte beim Frühjahrssatz von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleichen Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Im Vergleich zum Frühjahrssatz war die N_{\min} -Rest im Boden zur Endernte des Sommersatzes (Abb. 22) deutlich höher, was sich in dem höheren Nitratgehalt der Pflanze widerspiegelt und möglicherweise auf eine erhöhte N-Nachlieferung auf Grund günstigerer Bedingungen für die Mineralisierung zurückzuführen ist.

Im Unterschied zum Frühjahrssatz lag die höchsten N_{\min} -Rest in den Bodenschichten 15-30 und 30-45 cm vor. Zwischen den Sorten lagen bis 45 cm Profiltiefe signifikante Unterschiede vor, wobei insbesondere die Sorte Charan durch hohe und die Sorte Libusa durch niedrige N_{\min} -Reste auffiel. In der untersten Bodenschicht konnten jedoch im Unterschied zum Frühjahrssatz keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden, was auf der erheblich niedrigeren Wurzellängendichte beruhen könnte.

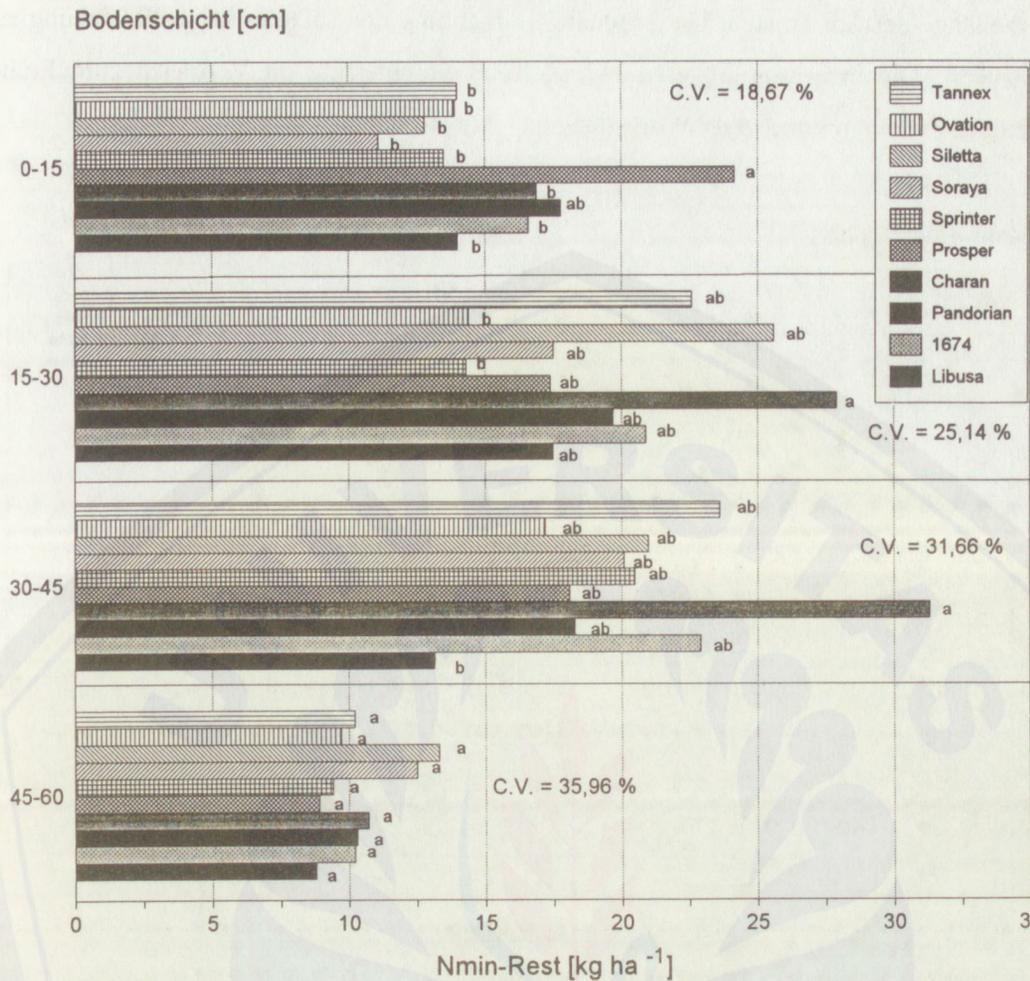


Abb. 22: Einfluß der Sorte auf N_{\min} -Rest im Boden zur Endernte beim Sommersatz von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleiche Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

1.2.5 Beziehung zwischen der Durchwurzelungsintensität und dem N_{\min} -Rest im Boden zur Endernte

Um festzustellen, ob die Entleerung des Bodens durch Salat in einer Beziehung zur Wurzellängendichte steht, wurden sowohl der N_{\min} -Rest in den 4 Bodenschichten mit der jeweils ermittelten Wurzellängendichte in den gleichen Schichten als auch zwischen Wurzellänge und N_{\min} -Rest im gesamten Bodenprofil (0-60 cm) korreliert (Abb. 23).

Weder im Frühjahrs- noch im Sommersatz bestand für die Bodenschichten und für das gesamte Bodenprofil eine signifikante Beziehung zwischen der Wurzellängendichte und N_{\min} -Rest. Entgegen den Erwartungen deutet sich sogar insgesamt eine positive Beziehung an. Auch die Ge-

samtwurzellänge der Sorten steht bei getrennte Betrachtung der Sätze in keiner Beziehung zu dem N_{\min} -Rest. Die insgesamt höheren N_{\min} -Rest im Sommersatz im Vergleich zum Frühjahrssatz fallen jedoch mit niedriger Wurzellängendichte zusammen.

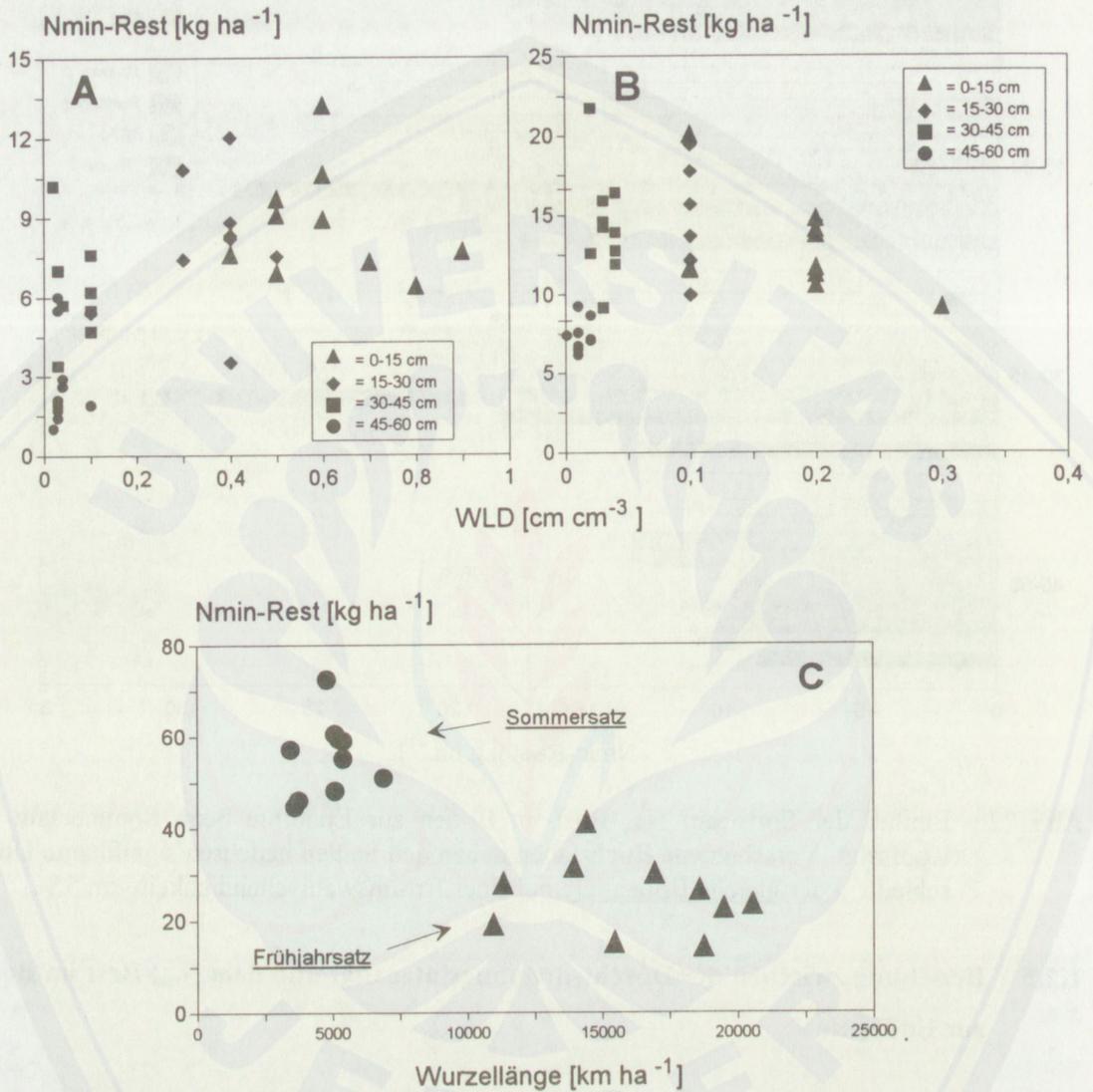


Abb. 23: Beziehung zwischen WLD und N_{\min} -Rest im Boden beim Frühjahrssatz (A) und Sommersatz (B), zwischen Wurzellänge (WL) und N_{\min} -Rest im gesamten Bodenprofil (0-60 cm) zur Ernte beim Frühjahrssatz und Sommersatz (C) 1993 von Kopfsalat.

1.3 Versuch mit 4 Sorten im Jahr 1994

Um festzustellen, ob zwischen Salatsorten Unterschiede in der N-Effizienz bestehen und ob das Wurzelwachstum der Kopfsalatsorten abhängig vom N-Angebot ist, wurde im Jahre 1994 ein Versuch mit 4 Sorten und 3 N-Stufen angelegt.

Sproßmerkmale, N- und Nitratgehalte im Sproß, N-Aufnahme, Durchwurzelungsintensität des Bodens, N_{\min} -Gehalte im Boden und N_{\min} -Dynamik im Verlauf der Kultur wurden untersucht.

1.3.1 Entwicklung der Sproßfrischmasse im Verlauf der Kultur

Im Verlauf der Kultur wurde das Sproßwachstum in Abhängigkeit vom N-Angebot zu 4 Terminen ermittelt (Abb. 24). In den ersten 26 Tagen nach Pflanzung zeigten alle Sorten unabhängig vom N-Angebot insgesamt ein langsames Wachstum. Danach wiesen alle Sorten mit Ausnahme von Tannex bis zur Ernte ein schnelles lineares Wachstum auf. Unterschiede zwischen den Sorten in der Sproßfrischmasse wurden ab dem 3. Erntetermin festgestellt.

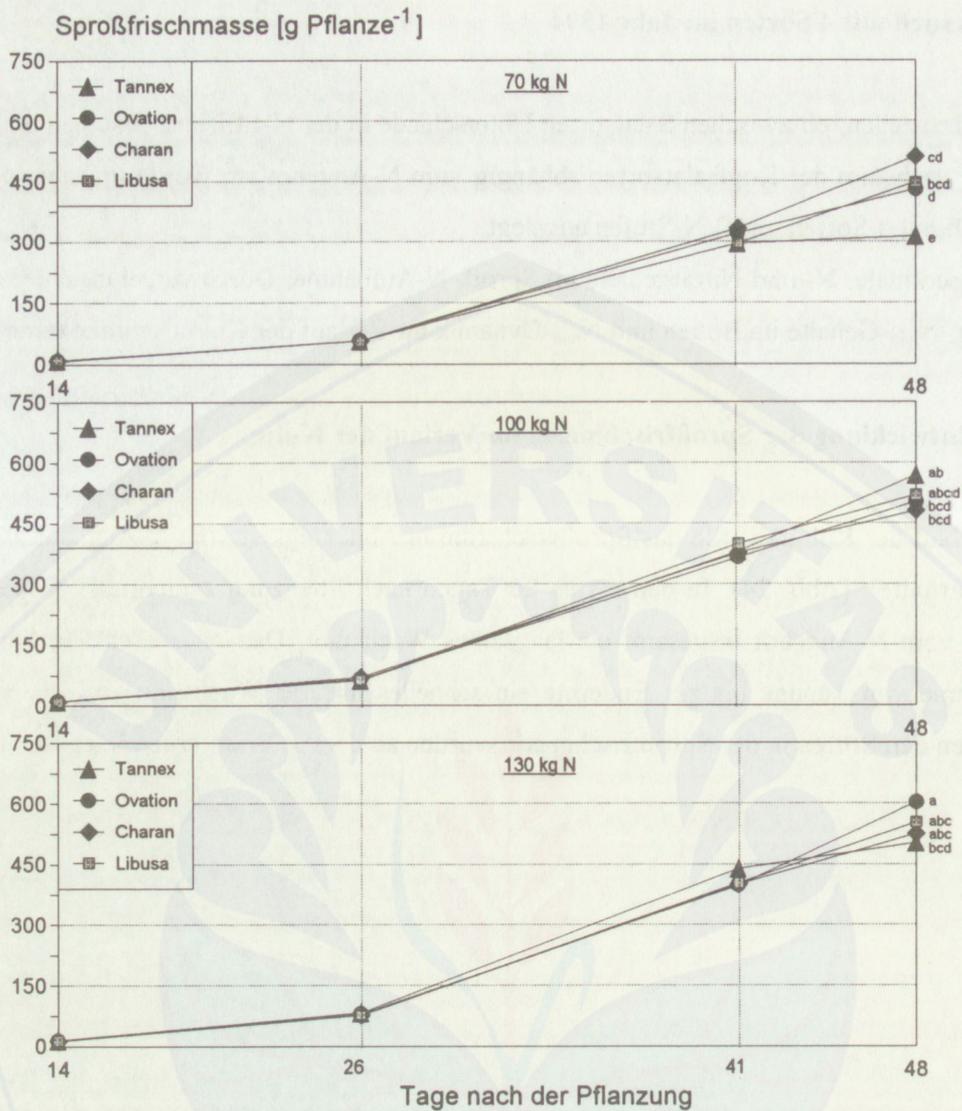


Abb. 24: Einfluß des N-Angebotes und der Sorte auf das Sproßwachstum im Verlauf der Kultur von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zur Endernte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

1.3.2 Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse zur Endernte

Zur Endernte unterschieden sich die Sproßfrischmassen signifikant in Abhängigkeit vom N-Angebot (Abb. 25A). Die höheren N-Angebote, 100 und 130 kg N ha⁻¹ in der 0-30 cm Bodenschicht, bewirkten eine Erhöhung der Sproßfrischmasse im Vergleich zum niedrigsten N-Angebot (70 kg N ha⁻¹).

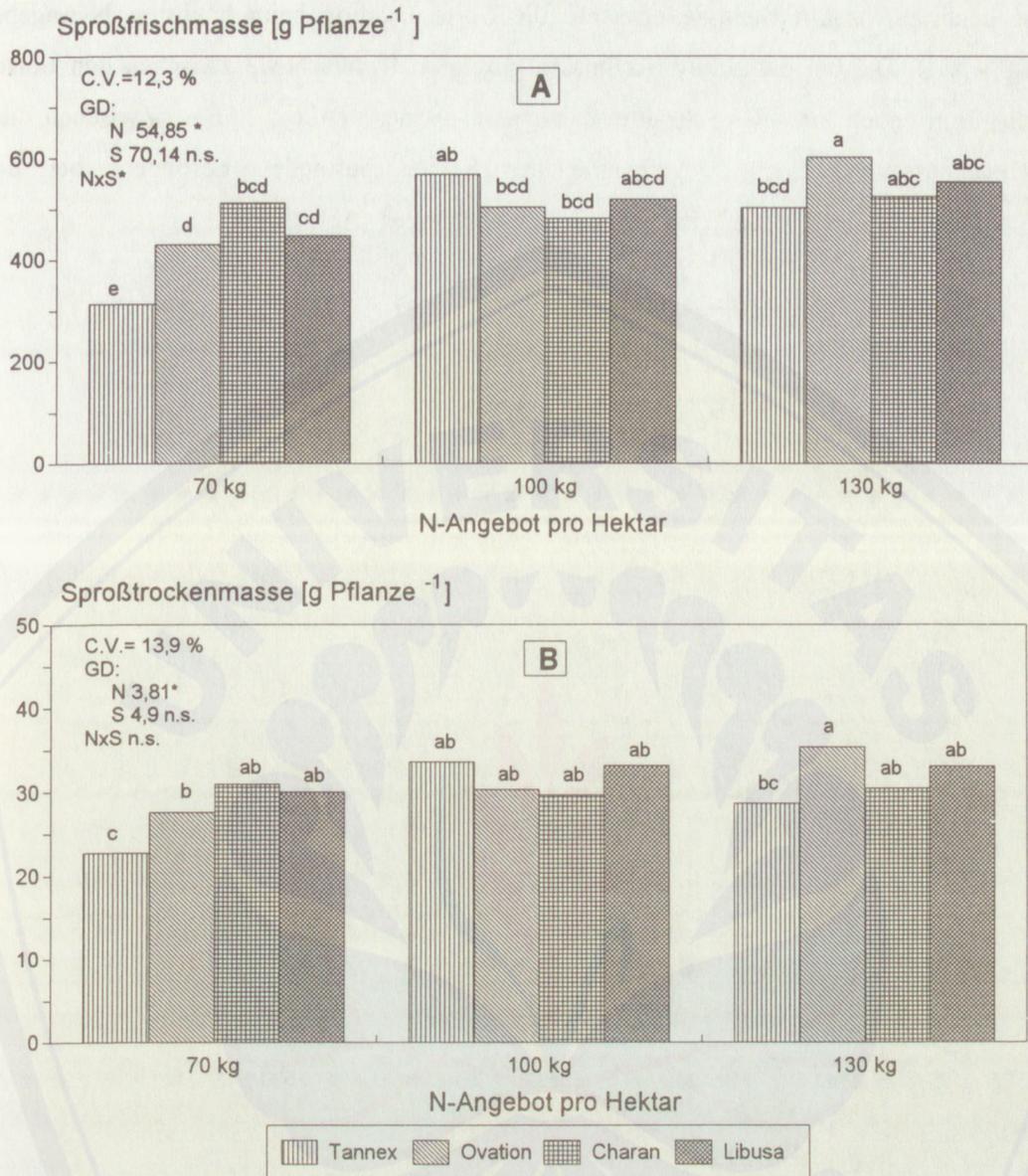


Abb. 25: Einfluß des N-Angebotes und der Sorte auf die Sproßfrischmasse (A) und auf die Sproßtrockenmasse (B) von Kopfsalat zur Endernte 1994. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Unterschiede zwischen den Sorten waren zwar über alle N-Stufen berechnet nicht signifikant, beim niedrigsten N-Angebot von 70 kg ha⁻¹ jedoch sehr ausgeprägt: Die Sorte Charan wies die höchste Sproßfrischmasse auf und zeigte durch die Erhöhung des N-Angebotes keine Ertragsteigerung. Aus agronomischer Sicht war sie in diesem Versuch die N-effizienteste Sorte. Dagegen wies die Sorte Tannex beim niedrigsten Angebot die geringste Sproßfrischmasse und die stärkste Ertragsteigerung durch Erhöhung des N-Angebotes von 70 auf 100 kg ha⁻¹ auf. Die

absolut höchste Sproßfrischmasse erreichte die Sorte Ovation beim höchsten N-Angebot (130 kg N ha⁻¹). Die bei der Sproßfrischmasse gezeigten Unterschiede zwischen den Sorten spiegeln sich auch in der Sproßtrockenmasse wider (Abb. 25B). Zwischen der Sproßfrischmasse und der N-Aufnahme der Sorten bestanden besonders bei den Angebotsstufen 70 und 100 kg N ha⁻¹ sehr enge Beziehungen (Abb. 26).

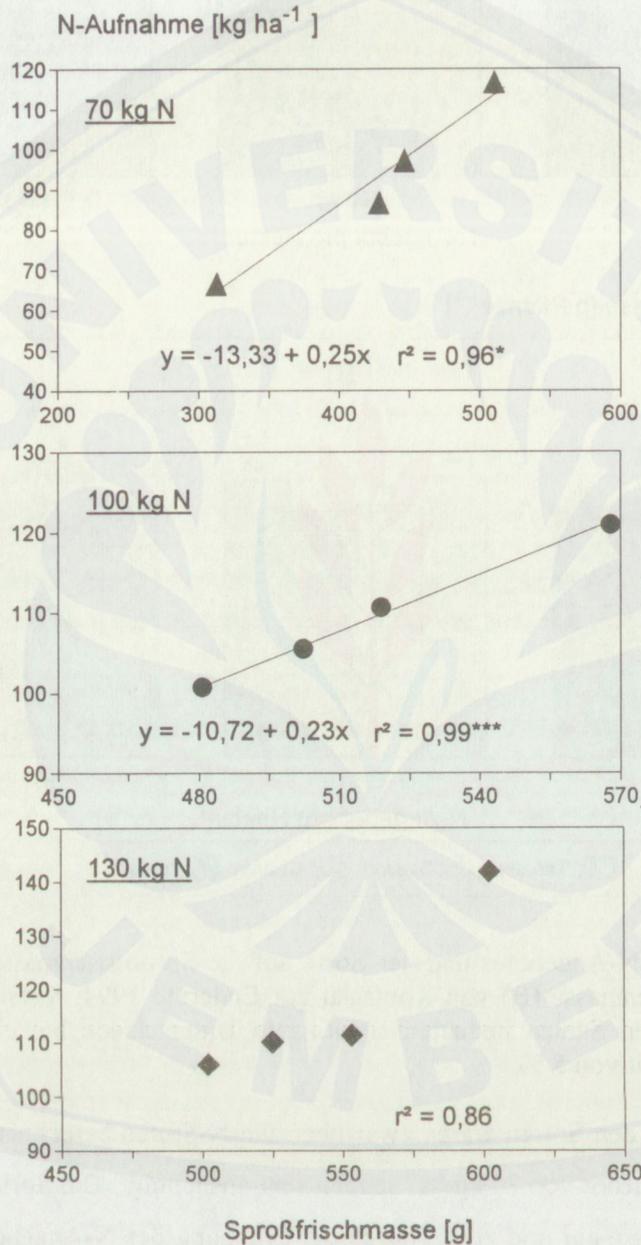


Abb. 26: Beziehung zwischen der Sproßfrischmasse und der N-Aufnahme von vier Kopfsalat-Sorten zur Ernte 1994 (48 Tage nach Pflanzung) bei verschiedenen N-Angeboten.

1.3.3 Stickstoff- und Nitrat-Gehalte in den Pflanzen sowie N-Aufnahme der Pflanzen

Die Höhe des Stickstoffangebotes hatte lediglich bei den Sorten Tannex und Ovation einen Einfluß auf die Gesamt-N-Gehalte in der Trockensubstanz (Abb. 27). Im Gegensatz dazu wiesen die Sorten Charan und Libusa keine signifikanten Unterschiede im N-Gehalt in Abhängigkeit von der Düngungshöhe auf. Diese Ergebnisse bestätigen, daß die Sorten Charan und Libusa im Gegensatz zu 'Tannex' und 'Ovation' als N-effiziente Sorten bezeichnet werden können (Abb. 27).

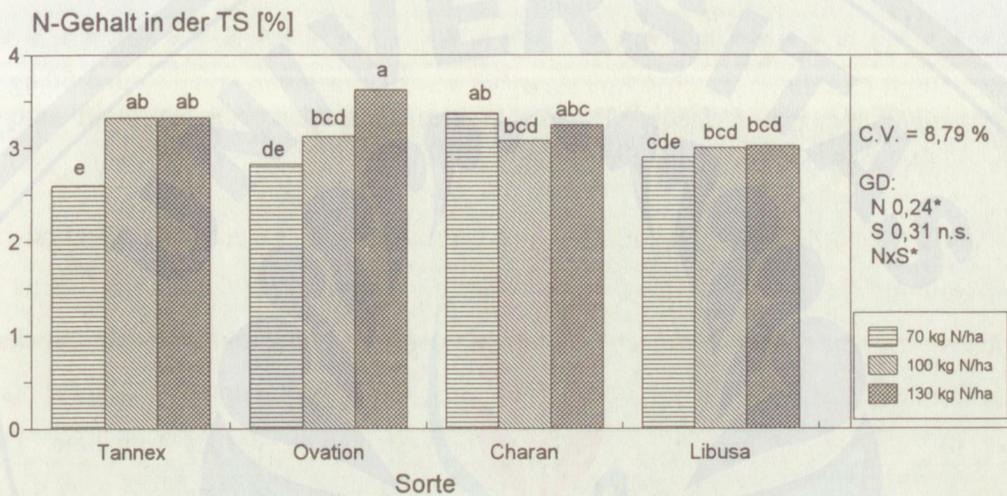


Abb. 27: Einfluß des N-Angebotes und der Sorte auf den N-Gehalt in der Trockensubstanz zur Ernte von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Die Nitrat-Gehalte in der Sproßfrischsubstanz waren selbst beim höchsten N-Angebot nicht dramatisch erhöht (Abb. 28). Dies dürfte auf die hohen Lichtintensitäten zur Ernte zurückzuführen sein. Zwischen den N-Angeboten und auch zwischen den Sorten bestanden signifikante Unterschiede. Sowohl beim höchsten als auch beim niedrigsten N-Angebot wies die Sorte Tannex die niedrigsten Nitrat-Gehalte auf. Die Sorte 'Ovation' wies beim N-Angebot von 130 kg und die Sorte Charan beim Angebot von 70 kg N höhere Nitrat-Gehalte in der Frischsubstanz auf als die anderen Sorten.

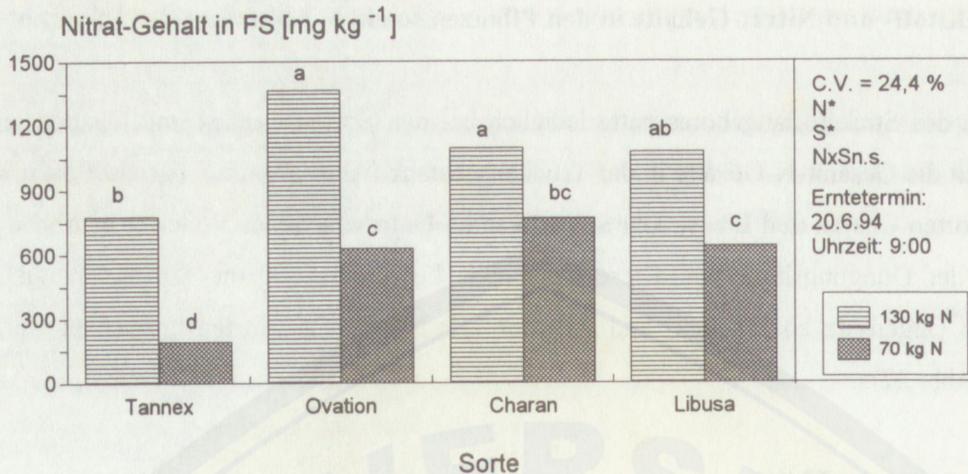


Abb. 28: Nitrat-Gehalte in der Frischsubstanz bei den N-Angeboten von 130 und 70 kg ha^{-1} zur Endernte. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

In den Abb. 29A und B ist die N-Aufnahme der 2-Erntetermine (41 und 48 Tage (Endernte) nach Pflanzung) dargestellt. 41 Tage nach Pflanzung hatten die Pflanzen im Mittel der untersuchten Sorten beim N-Angebot von 100 kg N ha^{-1} signifikant mehr Stickstoff aufgenommen als beim Angebot von 70 kg N ha^{-1} . Eine weitere Erhöhung des N-Angebots auf 130 kg N ha^{-1} führte nur noch tendenziell zu einer Steigerung der N-Aufnahme. Dabei unterschieden sich die Sorten jedoch sehr deutlich. Während beim niedrigsten (66,7-73,6 kg ha^{-1}) und beim mittleren N-Angebot (82,7-90,1 kg ha^{-1}) kaum Sortenunterschiede festzustellen waren, unterschied sich die N-Aufnahme beim höchsten N-Angebot signifikant zwischen den Sorten. Dies beruhte darauf, daß Tannex, Ovation und Libusa ihre N-Aufnahme im Vergleich zum mittleren Angebot noch steigerten, während sich die Aufnahme bei Charan nicht erhöhte.

Bis zur Endernte (7 Tage später) stieg die N-Aufnahme beim niedrigsten Angebot (70 kg ha^{-1}) bei den Sorten Charan, Libusa und Ovation, nicht aber bei 'Tannex' weiter an. Beim mittleren N-Angebot (100 kg ha^{-1}) zeigten alle untersuchten Sorten eine deutliche Steigerung der N-Aufnahme. Beim N-Angebot von 130 kg ha^{-1} wiesen alle Sorten mit Ausnahme von 'Ovation' eine leichte Aufnahmesteigerung bis zur Endernte auf. Dieser unterschiedliche Anstieg der N-Aufnahme zwischen den Sorten führte dazu, daß jetzt signifikante Unterschiede zwischen den Sorten in allen Angebotsstufen festzustellen waren. Die Spannweite war am größten beim niedrigsten N-Angebot. Wie nach 41 Tagen wurden auch zur Endernte signifikante Interaktionen zwischen dem N-Angebot und der Sorte festgestellt. In diesem Zusammenhang

sind die Sorten Ovation und Charan besonders interessant. Während Ovation mit jeder Erhöhung des N-Angebots mit einer Erhöhung der N-Aufnahme reagierte, erreichte die Sorte Charan die höchste N-Aufnahme schon beim niedrigsten N-Angebot.

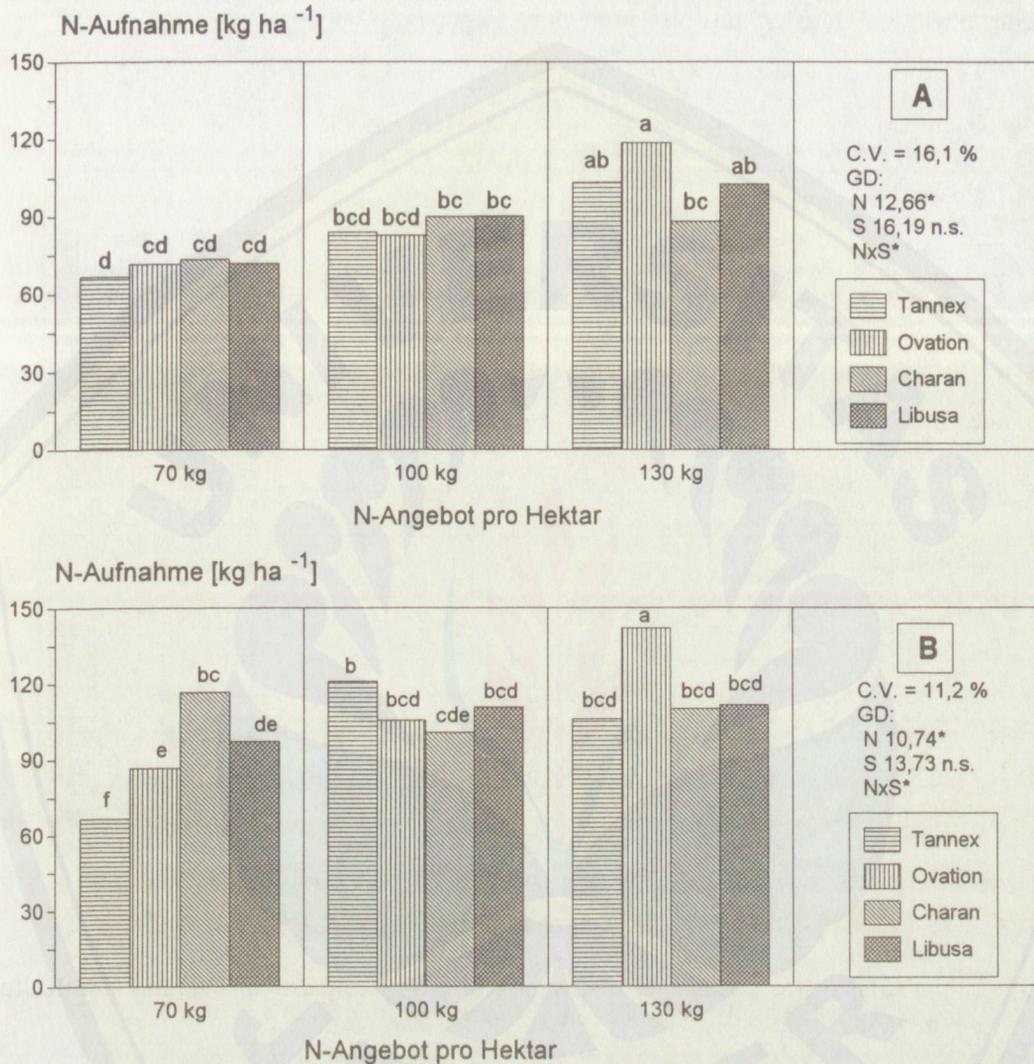


Abb. 29: Einfluß des N-Angebotes und der Sorte auf die N-Aufnahme 41 Tage nach Pflanzung (A) und zur Ernte (B) von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

1.3.4 Durchwurzelungsintensität des Bodens und N_{min} -Menge im Boden

In Abbildung 30 ist die Durchwurzelungsintensität verschiedener Bodenschichten der 4 untersuchten Sorten zu 4 Probenahmeterminen am Beispiel der Düngungsstufe 130 kg N ha⁻¹ dar-

gestellt. In den ersten 14 Tagen nach Pflanzung war das Wurzelwachstum insgesamt nur sehr schwach. Alle Sorten hatten den Boden maximal bis 15 cm Tiefe durchwurzelt. Die Durchwurzelungstiefe erhöhte sich 26 Tage nach Pflanzung auf 30 cm und 41 Tage nach Pflanzung auf 60 cm. Wie die Durchwurzelungstiefe erhöhte sich auch die Durchwurzelungsintensität in den verschiedenen Bodenschichten mit fortschreitender Vegetationszeit.

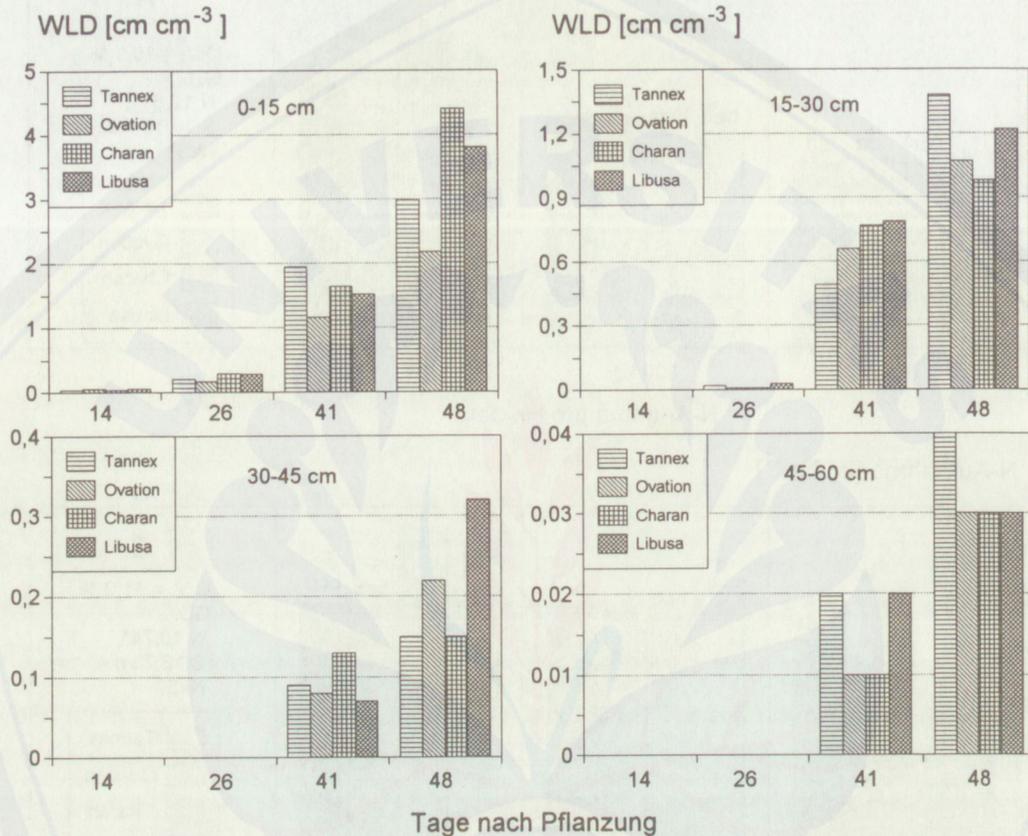


Abb. 30: Einfluß der Sorte auf das Wurzelwachstum von Kopfsalat im Verlauf der Kultur beim N-Angebot von 130 kg ha⁻¹ (0-30 cm Bodentiefe).

Während zu keinem Zeitpunkt des Versuches Unterschiede zwischen den Sorten in der maximalen Durchwurzelungstiefe ermittelt werden konnten, deuten sich, wenn auch nicht signifikant, Unterschiede zwischen den Sorten in der Durchwurzelungsintensität der verschiedenen Bodenschichten ab dem Probenahmezeitpunkt 41 Tage nach Pflanzung an (siehe dazu auch Abb. 31).

Um den Einfluß des N-Angebotes auf das Wurzelwachstum der Sorten mit untersuchen zu können, wurden zum 3. Erntetermin (41 Tage nach Pflanzung) alle Sorten beim niedrigsten und höchsten N-Angebot beprobt (Abb. 31A). Wenn auch zu diesem Zeitpunkt weder Sorten-

unterschiede noch Effekte des N-Angebotes statistisch absicherbar waren, so ergab sich doch eine sehr deutliche Tendenz geringerer Wurzellängendichten im gesamten Bodenprofil beim hohen N-Angebot. Dabei reagierten die Sorten aber offensichtlich unterschiedlich „empfindlich“, insbesondere die Sorte Libusa wesentlich stärker als die Sorte Tannex. Beim niedrigen N-Angebot zeichneten sich 'Libusa' und 'Charan' durch hohe Wurzellängendichten im Unterboden jedoch weniger deutlich im Oberboden aus.

In Abb. 31B sind die Wurzellängendichten zur Ernte (48 Tage nach Pflanzung) beim N-Angebot von 130 kg ha^{-1} dargestellt. Von der Tendenz her wies die Sorte Ovation in 0-15 cm Tiefe von allen Sorten die geringste Wurzellängendichte auf. In allen anderen Bodenschichten waren die Unterschiede absolut gering und auch nicht statistisch absicherbar.

Zusätzlich zur Durchwurzelungsintensität wurden zu allen vier Ernteterminen die N_{\min} -Gehalte im Boden unter allen Sorten bestimmt.

Am Beispiel der Variante mit einem N-Angebot von 130 kg ha^{-1} (Abb. 32) zeigt sich, daß zum 1. Probenahmetermin, 14 Tage nach Pflanzung, nur noch etwa 50 kg N ha^{-1} in den beiden obersten Bodenschichten wiedergefunden wurden. In den folgenden beiden Wochen stiegen die N_{\min} -Gehalte wieder leicht an. Einsetzende intensive N-Aufnahme führte dann ab dem Zeitpunkt 26 Tage nach Pflanzung zu einem starken Abfall der N_{\min} -Gehalte in den oberen Bodenschichten (0-15 und 15-30 cm). In den zwei unteren Bodenschichten (30-45 und 45-60 cm) traten nur gegen Ende der Kulturzeit eine einheitliche Abnahme des mineralischen Stickstoffes im Boden auf.

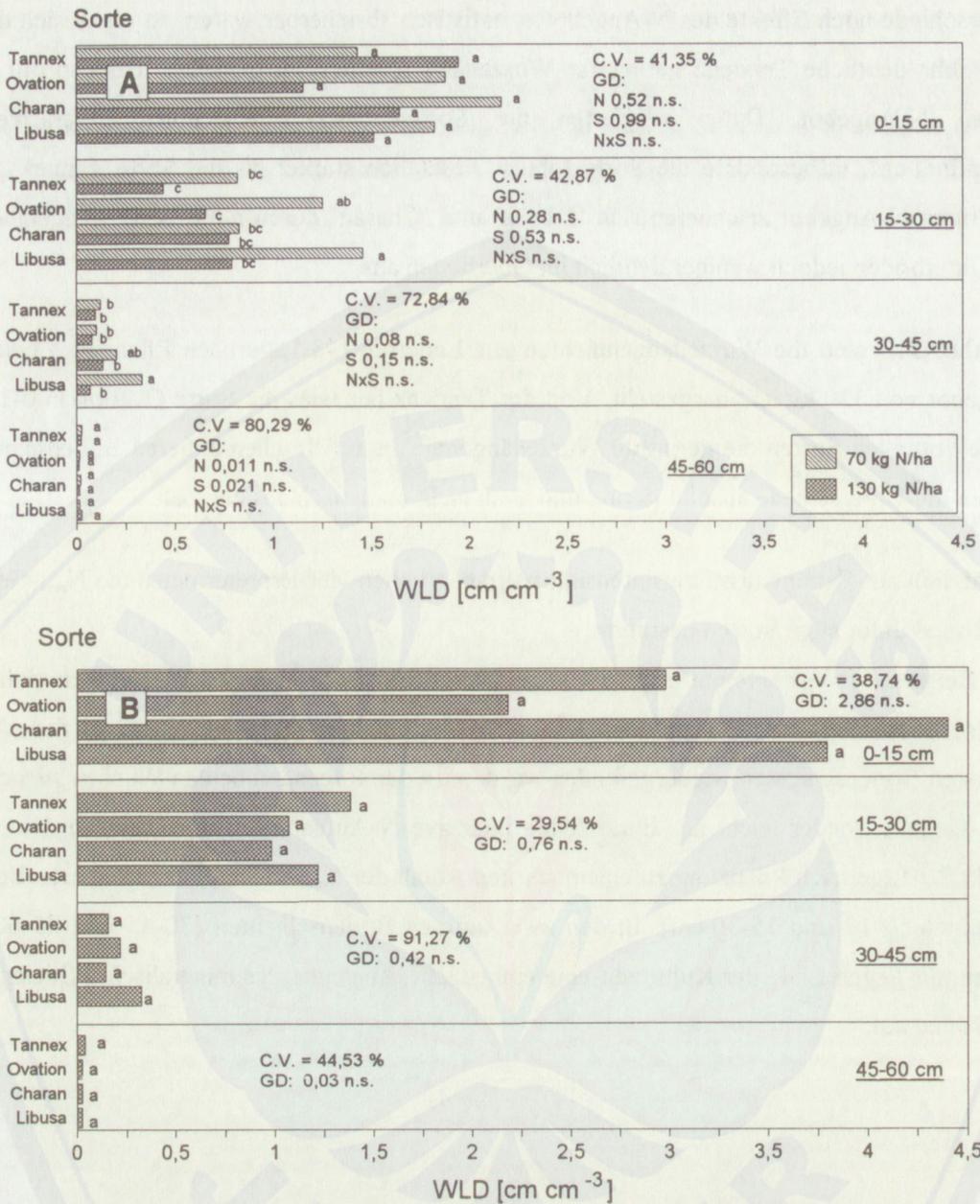


Abb. 31: Einfluß des N-Angebotes und der Sorte auf die WLD 41 Tage nach Pflanzung (A), und Einfluß der Sorte auf die WLD beim N-Angebot von 130 kg ha⁻¹ (0-30 cm) zur Endernte (B) von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleichen Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

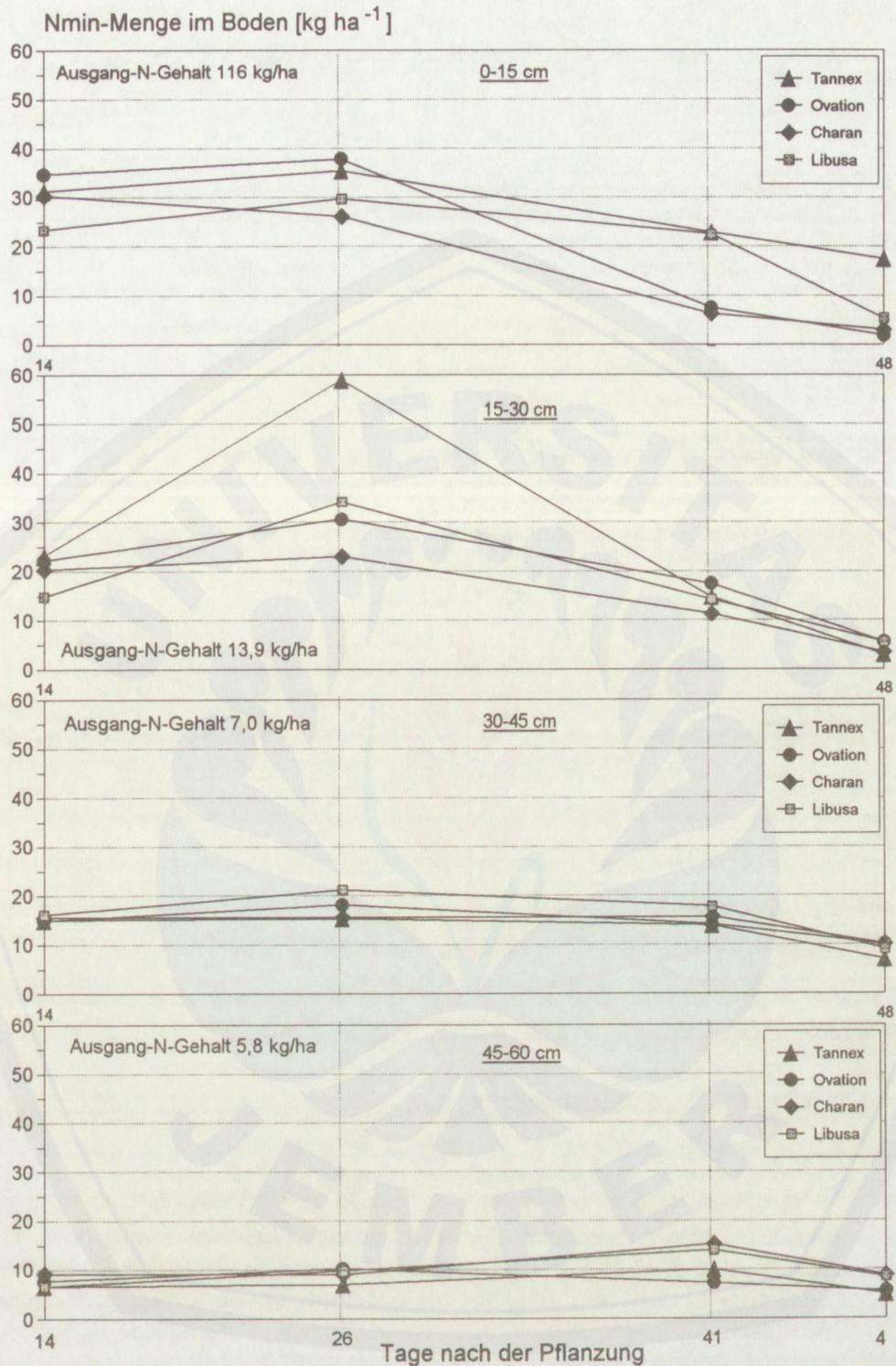


Abb. 32: Einfluß der Sorte auf die N_{min}-Mengen im Boden im Verlauf der Kultur von Kopfsalat bei einem N-Angebot (0-30 cm Bodentiefe) von 130 kg ha⁻¹.



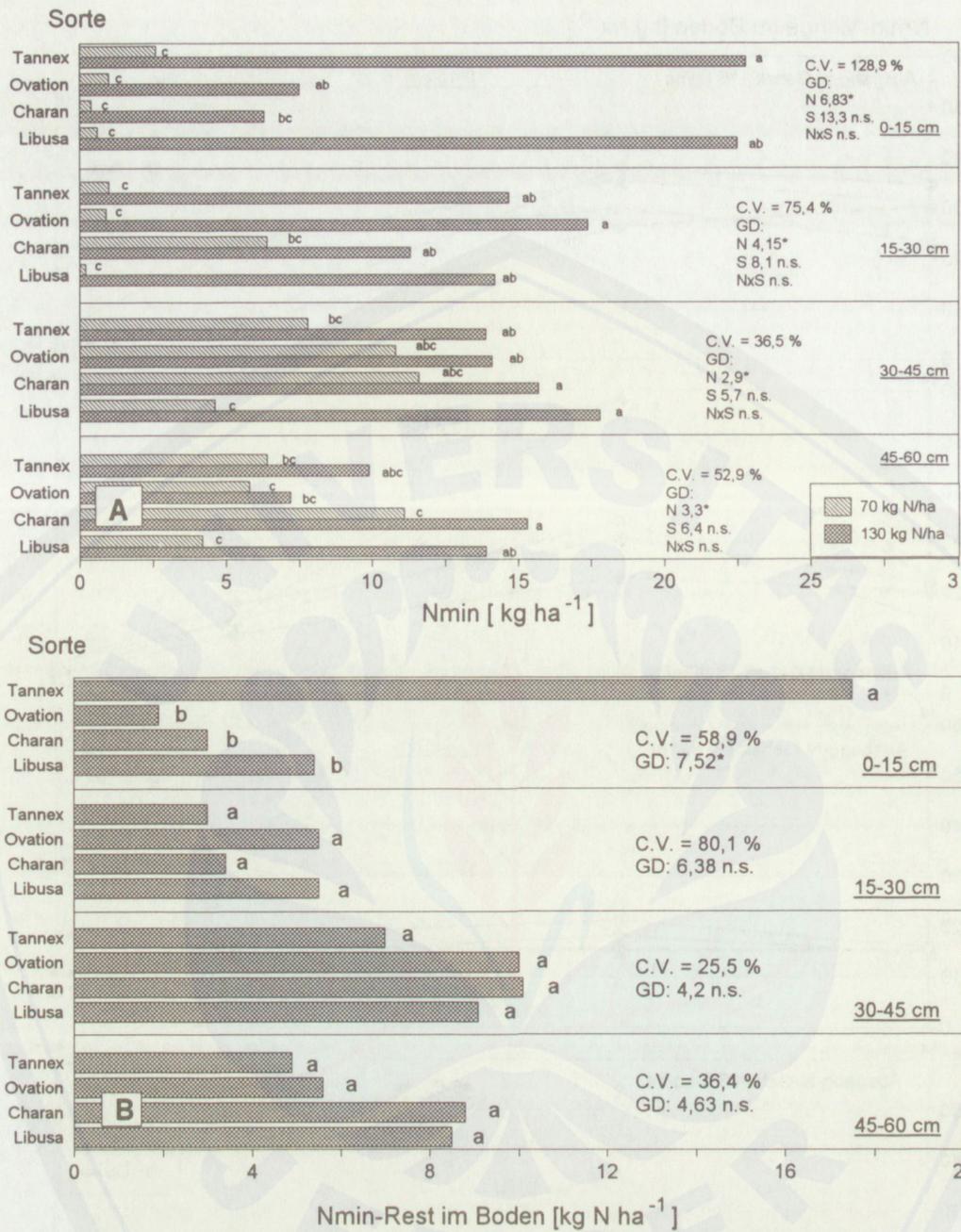


Abb. 33: Einfluß des N-Angebotes und der Sorte auf den N_{min} -Menge im Boden 41 Tage nach Pflanzung (A) und Einfluß der Sorte auf den N_{min} -Rest im Boden beim N-Angebot (0-30 cm) von 130 kg ha⁻¹ zur Endernte (B) von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede in der gleichen Bodentiefe bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Der Einfluß von Sorte und N-Angebot auf die N_{min} -Menge im Boden ist am Beispiel der 3. Ernte in Abbildung 33A dargestellt. Erwartungsgemäß lagen die N_{min} -Mengen im Boden bei geringem N-Angebot (70 kg ha⁻¹) deutlich niedriger als bei hohem N-Angebot (130 kg ha⁻¹).

Dies betraf in erster Linie die beiden oberen Bodenschichten und weniger deutlich die beiden unteren Schichten. Bei niedrigem N-Angebot war die Nitrat-Verarmung in den beiden oberen Bodenschichten wesentlich stärker als im Unterboden. Im Vergleich der Sorten deutet sich eine stärkere Nitrat-Verarmung durch die Sorte Libusa bei niedrigem N-Angebot an. Bei hohem N-Angebot zeichnete sich die Sorte Charan in der obersten Bodenschicht durch eine vergleichsweise stärkere, in der untersten Bodenschicht durch eine geringere Nitrat-Verarmung aus.

Zur Endernte (48 Tage nach Pflanzung) (Abb. 33B) wurde lediglich die mit 130 kg N ha⁻¹ gedüngte Variante beprobt. Mit Ausnahme der hohen N_{min}-Rest in der Bodenschicht 0-15 cm bei der Sorte Tannex traten in keiner Bodenschicht signifikante Unterschiede zwischen den Sorten auf.

Tab. 4: N_{min}-Menge in der gesamten Bodentiefe (0-60 cm) bei N-Angebot von 70 und 130 kg ha⁻¹ 41 und 48 Tage nach Pflanzung von 4 Kopfsalatsorten. Verschiedene Buchstaben hinter den Zahlen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Sorte	41 Tage n. Pflanzung		48 Tage n. Pflanzung
	70 kg N	130 kg N	130 kg N
Tannex	17,8 <i>ab</i>	61,3 <i>a</i>	32,4 <i>a</i>
Ovation	18,5 <i>ab</i>	46,2 <i>a</i>	22,9 <i>a</i>
Charan	29,5 <i>a</i>	48,5 <i>a</i>	25,2 <i>a</i>
Libusa	9,5 <i>b</i>	68,5 <i>a</i>	28,4 <i>a</i>

Die im gesamten Bodenprofil (0-60 cm) verbliebenen N_{min}-Mengen zeigt Tab. 4. Hier kommt die besonders effektive N_{min}-Verarmung durch die Sorte Libusa beim niedrigen N-Angebot nach 41 Kulturtagen besonders deutlich zum Ausdruck. Beim hohen N-Angebot deutet sich eine stärkere N_{min}-Verarmung durch die Sorten Ovation und Charan zu beiden Beprobungszeitpunkten an.

1.3.5 Beziehung zwischen Durchwurzelungsintensität und N_{min}-Rest im Boden

Um zu prüfen, ob ein Zusammenhang zwischen der Durchwurzelungsintensität des Bodens und der Nutzung des Stickstoffangebotes des Bodens bestand, wurden die N_{min}-Reste in

verschiedenen Bodenschichten mit den Wurzellängen bzw. Wurzellängendichten der Sorten in den entsprechenden Bodenschichten zur Ernte korreliert. Wie aus Abbildung 34 hervorgeht, bestand in keiner der untersuchten Bodenschichten eine signifikante Beziehung zwischen den beiden Parametern. Lediglich in 45-60 cm Bodentiefe deutet sich von der Tendenz her eine stärkere Nitratverarmung des Bodens bei Sorten mit hoher Wurzellänge an. Zwischen der Wurzellängendichte und N_{\min} -Rest im Boden bestand auch keine Beziehung in allen Bodenschichten (Ergebnisse nicht dargestellt).

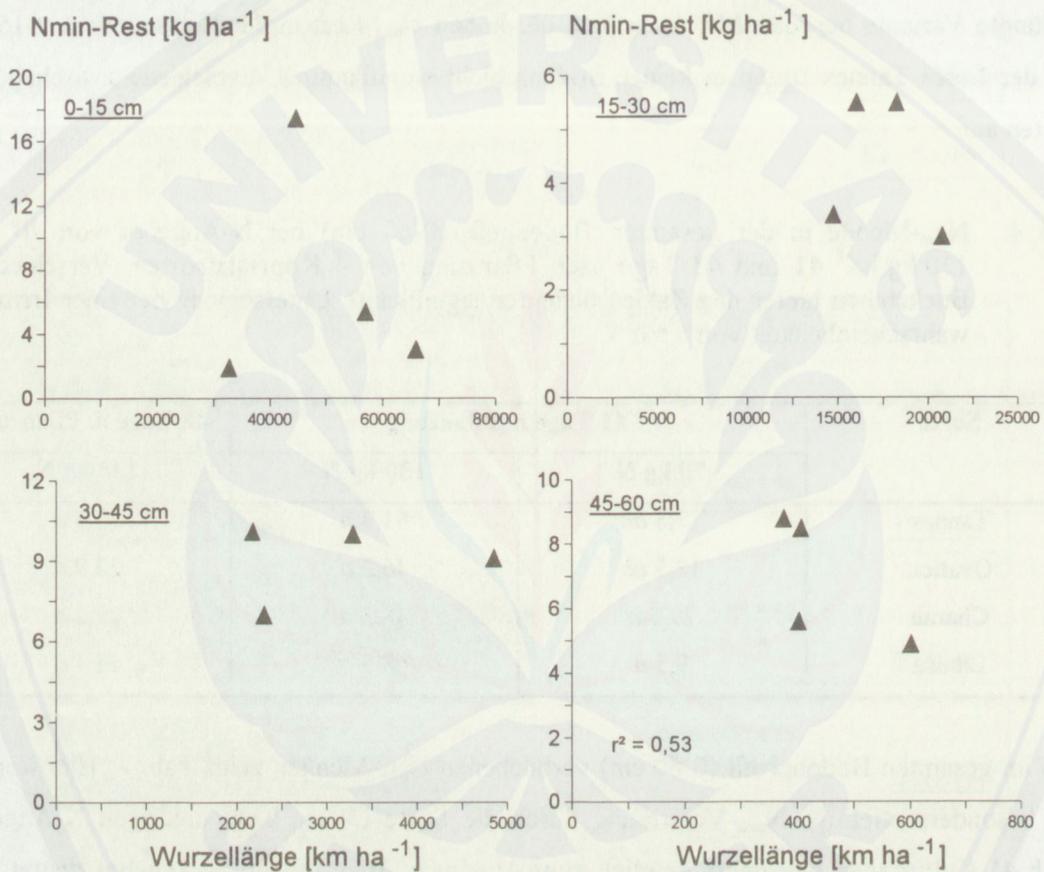


Abb. 34: Beziehung zwischen Wurzellänge (WL) und N_{\min} -Rest-Menge in verschiedenen Bodenschichten zur Ernte von vier Kopfsalatsorten bei einem N-Angebot von 130 kg ha⁻¹.

2 Gewächshausversuche

Ziel der Untersuchungen war es, ein Verfahren zum Screening auf Wurzelwachstum von Kopfsalatsorten zu entwickeln. Aus der Ermittlung der Wurzellängendichte im Gefäßversuch soll ein Rückschluß auf das Wurzelwachstum im Freiland ermöglicht werden.

2.1 Vorversuch zur Ermittlung eines geeigneten Vorkulturmediums

Die Untersuchung hatte zum Ziel, den Einfluß des Vorkulturmediums auf das nachfolgende Wachstum von Kopfsalat in PVC-Röhrengefäße zu ermitteln. Daraus sollte abgeleitet werden, welches Vorkulturmedium am besten geeignet ist für spätere Untersuchungen in diesen Röhrengefäßen. Als Vorkulturmedien dienten Steinwolle und Cultiplant. Zusätzlich wurde bei einer Variante das Saatgut unmittelbar in die Gefäße ausgesät.

2.1.1 Sproßwachstum

In Abb. 35 ist die Sproßfrischmasse (A) und Sproßtrockenmasse (B) 29 Tage nach Aussaat in die Vorkulturmedien beziehungsweise direkt in die PVC-Röhrengefäße dargestellt.

Es wird deutlich, daß von dem Vorkulturmedium ein deutlicher Einfluß auf die Sproßfrischmasse und Sproßtrockenmasse ausgegangen ist. So wiesen die Pflanzen, die in Cultiplant vorkultiviert wurden, eine höhere Sproßmasse auf als die in Steinwolle vorkultivierten sowie direkt ausgesäten Pflanzen.

Zwischen den Sorten traten deutliche Unterschiede auf. So wies 'Tannex' im allgemeinen die geringste und 'Sprinter' die höchste Sproßmasse auf. Mit Ausnahme der Sproßfrischmasse bei Direktsaat ging von der Wachshärte kein Einfluß auf das Sproßwachstum aus.

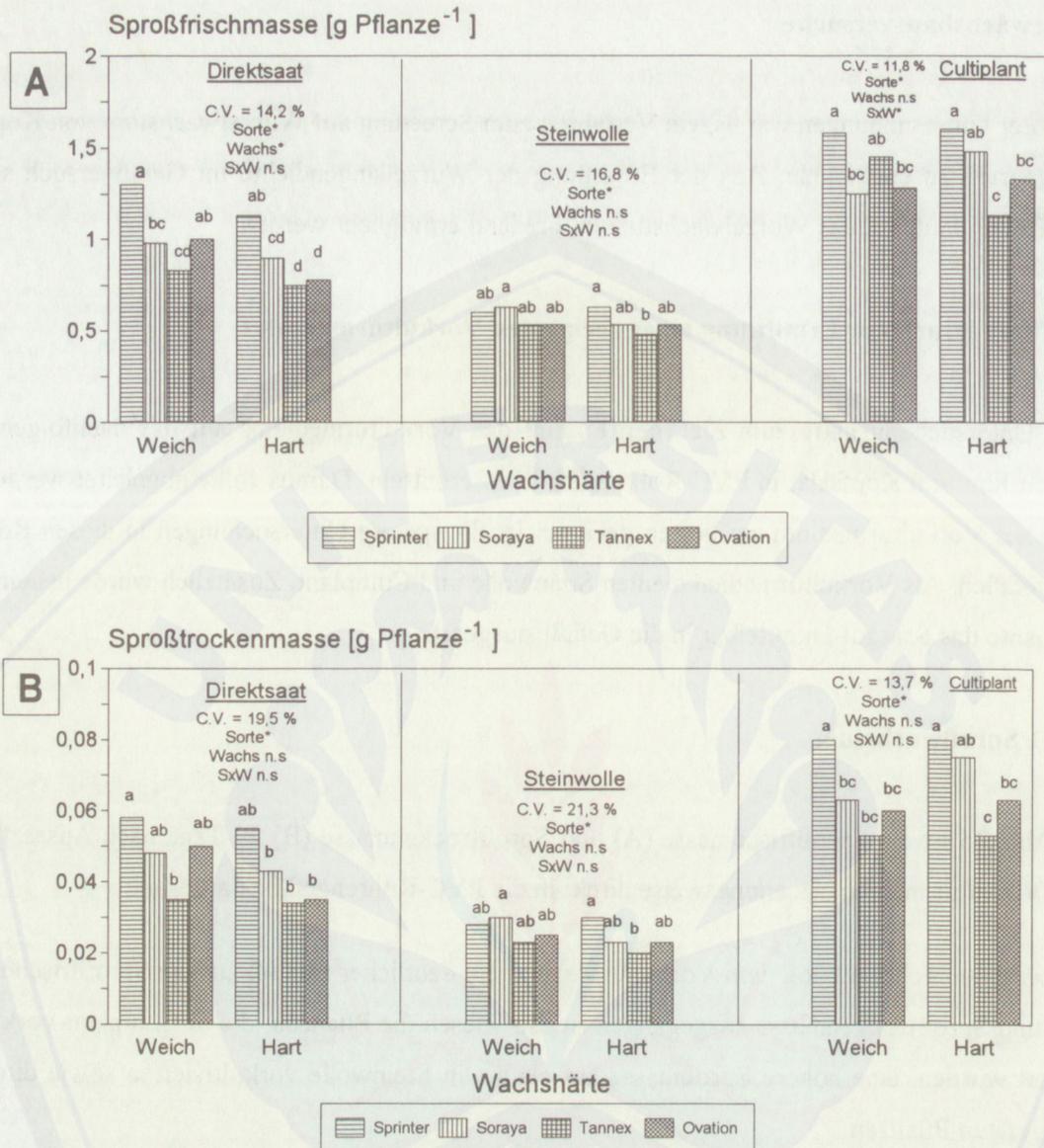


Abb. 35: Einfluß von Anzuchtssystem, Sorte und Wachshärte auf die Sproßfrischmasse (A) und Sproßtrockenmasse (B) 29 Tage nach Aussaat von Kopfsalat. Gleiche Buchstaben über den Säulen bedeuten keine signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

2.1.2 Durchwurzelungsintensität

Die Wurzellängendichten im oberen Gefäßkompartiment (Abb. 36A) unterschieden sich in Abhängigkeit vom Anzuchtssystem, wobei in Übereinstimmung mit dem Sproßwachstum die Pflanzen, die in Steinwolle vorkultiviert worden waren, das geringste Wurzelwachstum zeig-

ten. Die direkt ausgesäten und in Cultiplant vorkultivierte Pflanzen wiesen dagegen eine höhere Wurzellängendichte auf.

Zwischen den Sorten traten deutliche Unterschiede auf, die jedoch zwischen den Anzuchtssystemen nicht konsistent waren. Die Wachshärte hatte einen signifikanten Einfluß auf das Wurzelwachstum im oberen Kompartiment der Gefäße nur bei Direktsaat.

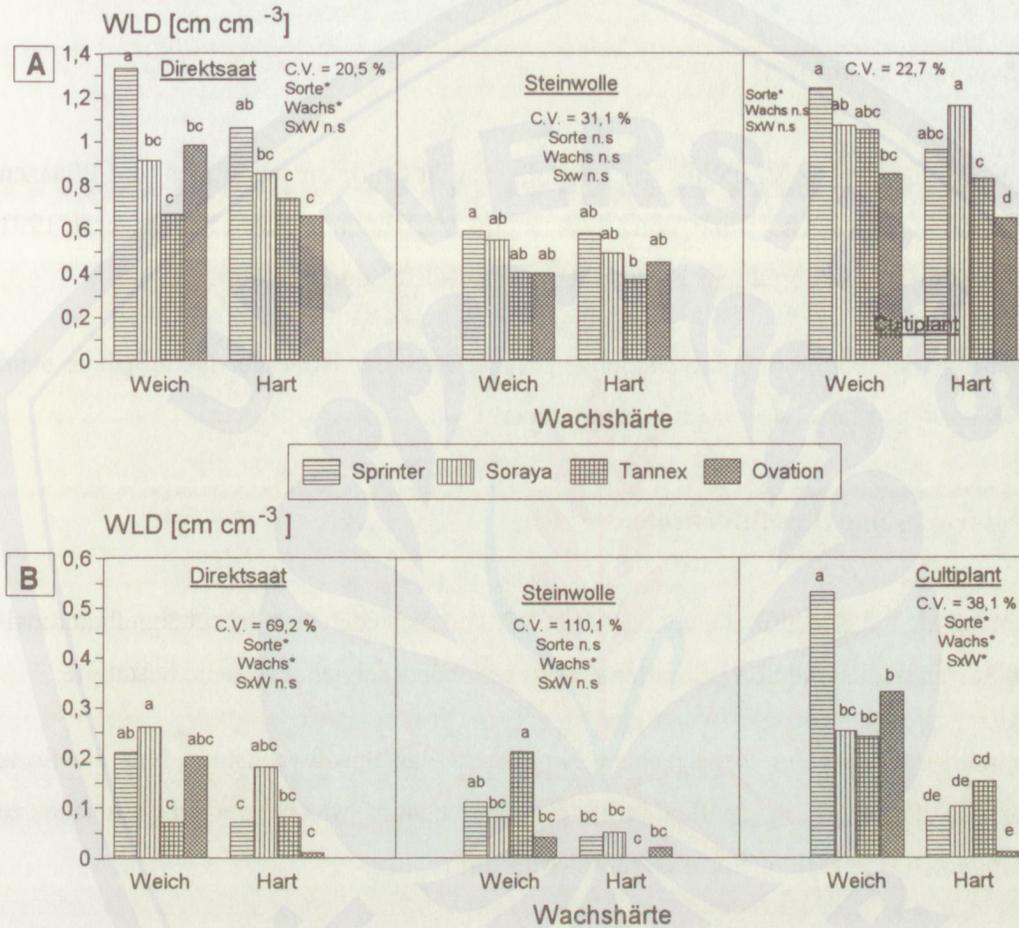


Abb. 36: Einfluß von Anzuchtssystem, Sorte und Wachshärte auf die WLD von Kopfsalat im oberen (A) und im unteren Gefäßkompartiment (B) 29 Tage nach Aussaat. Gleiche Buchstaben über den Säulen bedeuten keine signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Im unteren Gefäßkompartiment (Abb. 36B) führte das harte Wachs jedoch bei allen Anzuchtverfahren und Sorten zu einer Verminderung der Wurzellängendichte. Insbesondere bei weichem Wachs traten deutliche Unterschiede in der Durchwurzelung in Abhängigkeit vom Anzuchtssystem auf, wobei die Anzucht in Cultiplant sich als besonders günstig (besseres Sproß-

wachstum und bessere Durchwurzelungsintensität) erwies. Zwischen den Sorten traten beträchtliche Unterschiede in der Durchwurzelungsintensität auf. Diese Unterschiede waren jedoch weder in Abhängigkeit vom Anzuchtssystem noch von der Wachshärte konsistent.

Eine Korrelation zwischen der Wurzellängendichte im oberen und unteren Gefäßabschnitt ist nicht ersichtlich.

2.2 Gefäßversuch im Jahre 1993

Da sich im Vorversuch die Vorkultur der Salatpflanzen in Cultiplant als bestes (die Pflanzen haben besseres Sproßwachstum und Wurzelwachstum) Verfahren erwiesen hatte, wurde 1993 unter Anwendung dieses Verfahrens erneut ein Sortenvergleich durchgeführt.

Die Reihenfolge der Sorten in den Abbildungen wurde nach der Höhe der N-Aufnahme beim weichen Wachs (1. = hoch, 4. = niedrig) angeordnet.

2.2.1 Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse

Sproßfrischmasse und Sproßtrockenmasse (Abb. 37) unterschieden sich erneut signifikant zwischen den Sorten, wobei die Sorte Sprinter sich als besonders schnell wachsend bestätigte.

Die Wachshärte hatte in der Regel keinen Einfluß auf das Sproßwachstum. Nur die Sorte Tannex war bei hartem Wachs deutlich im Wachstum gehemmt, was bei der Frischsubstanz zu einer signifikanten Interaktion (Sorte x Wachshärte) führte.

Die Variabilität, die in der Sproßfrischmasse von den Sorten gezeigt wurde, sieht man auch in der Sproßtrockenmasse, allerdings lagen keine Interaktionen zwischen der Sorte und der Wachshärte vor (Abb. 37B).

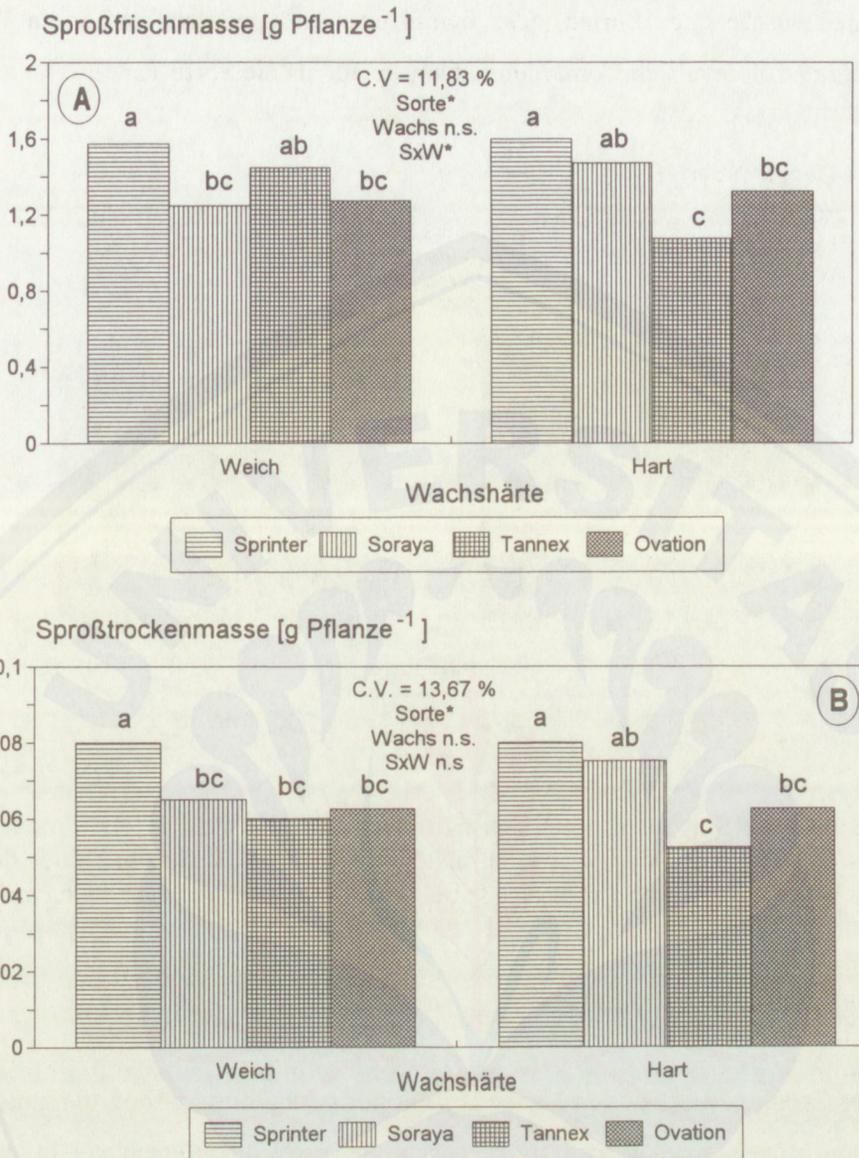


Abb. 37: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf die Sproßfrischmasse (A) und auf die Sproßtrockenmasse (B) 29 Tage nach Aussaat von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

2.2.2 Stickstoff-Gehalte im Sproß

Die N-Gehalte in den Sprossen dieser jungen Salatpflanzen waren insgesamt hoch, bei hartem Wachs jedoch signifikant niedriger als bei weichem Wachs. Dieser Unterschied war besonders deutlich bei den Sorten Tannex und Ovation. Während bei weichem Wachs die Unterschiede in

den N-Gehalte zwischen den Sorten nicht signifikant waren, wiesen bei hartem Wachs die Sorten Sprinter und Soraya signifikant höhere Gehalte auf als die Sorte Tannex.

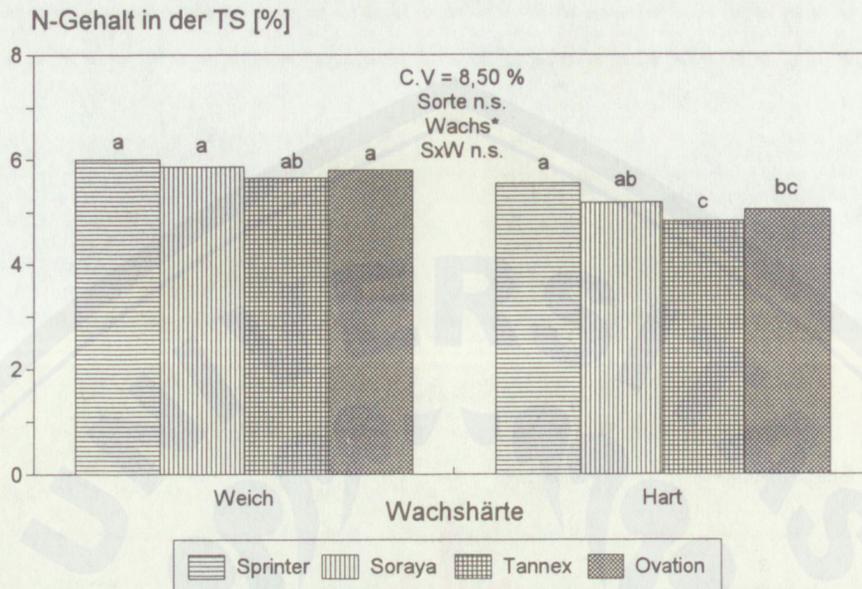


Abb. 38: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf dem N-Gehalt in der Trockensubstanz 29 Tage nach Aussaat von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

2.2.3 Stickstoff-Aufnahme des Sprosses

Obwohl die N-Gehalte zwischen den Sorten absolut nur geringfügig differierten, unterschieden sich die N-Aufnahmen absolut sehr stark wegen der großen Unterschiede in der Sproßtrockenmassebildung. Die Sorte Sprinter zeigte insgesamt die höchste N-Aufnahme. In Abhängigkeit von der Wachshärte bestanden keine signifikanten Unterschiede, obwohl bei hartem Wachs die N-Aufnahme wegen der geringeren N-Gehalte (s.o) generell etwas niedriger war (Abb 39).

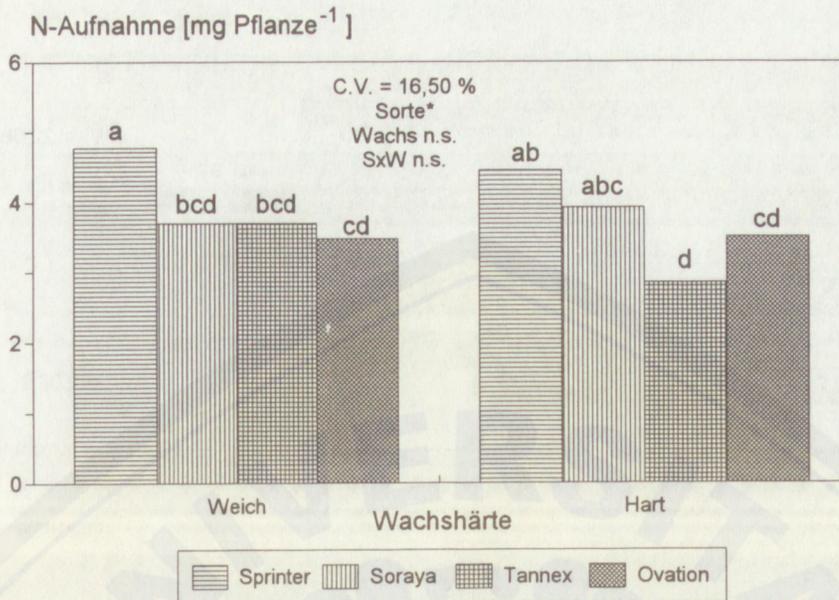


Abb. 39: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf die N-Aufnahme 29 Tage nach Aussaat von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

2.2.4 Durchwurzelungsintensität

Im oberen Gefäßabschnitt war die Wurzellängendichte aller Sorten deutlich höher als im unteren Abschnitt. Während die Wachshärte im oberen Abschnitt die Wurzellängendichte nicht signifikant beeinflusste, war unter hartem Wachs im unteren Gefäßabschnitt das Wurzelwachstum stark vermindert. Signifikante Sortenunterschiede traten sowohl im oberen als auch unteren Gefäßabschnitt auf, wobei im unteren Abschnitt die Interaktion mit der Wachshärte signifikant war. Generell wies die Sorte Ovation ein schwaches, die Sorte Sprinter ein starkes Wurzelwachstum auf, wobei insbesondere die Tiefendurchwurzelung bei weichem Wachs auffiel (Abb. 40).

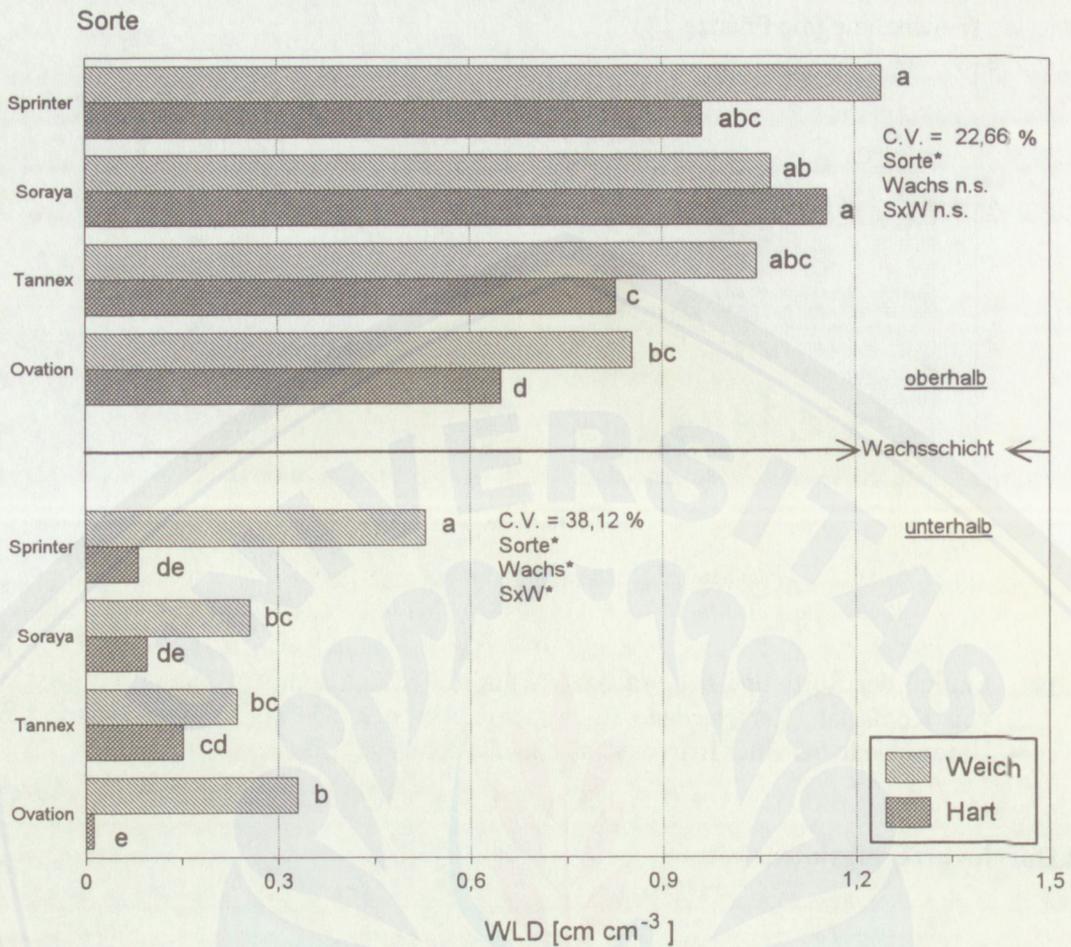


Abb. 40: Einfluß der Sorte und Wachshärte auf die WLD 29 Tage nach Aussaat von Kopfsalat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Die Buchstaben oberhalb- und unterhalb der Wachsschicht sind nicht zu vergleichen.

2.2.5 Zahl der Wurzelporen im Wachs

Da das Auswaschen der Wurzeln und die Bestimmung der Wurzellängendichte sehr aufwendig ist, sollte untersucht werden, ob nicht allein die Zahl der Wurzelporen in den Wachsplatten ein Maß für die genotypischen Unterschiede in der Durchwurzelung des unteren Gefäßabschnittes darstellten (Abb. 41). Die deutliche Verringerung des Wurzelwachstums unter hartem Wachs kommt auch bei der Zahl der Wurzelporen deutlich zum Ausdruck. Die Variabilität war jedoch sehr groß, sodaß zwischen den Sorten signifikante Unterschiede nicht festzustellen waren.

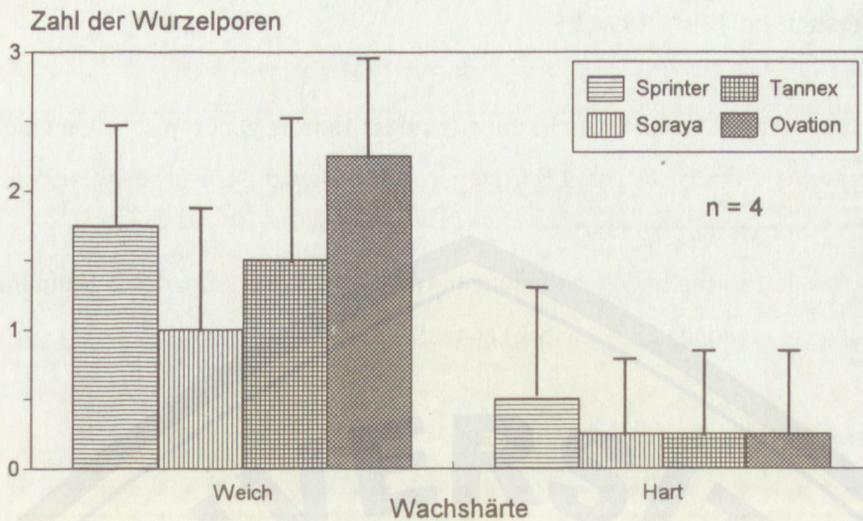


Abb. 41: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf die Zahl der Wurzeporen im Wachs von Kopfsalat 29 Tage nach Aussaat. Die Werte sind die Mittelwerte von vier Wiederholungen. Die Balken geben Standardabweichung an.

Die Beziehung zwischen Wurzellängendichte im unteren Gefäßabschnitt und Zahl der Wurzeporen (Abb. 42) gibt zwar den Einfluß der Wachshärte klar wieder, beim Vergleich der Sorten innerhalb der Wachshärteklasse ist jedoch nur bei weichem Wachs im besten Falle eine Tendenz zu einer positiven Beziehung zu erkennen.

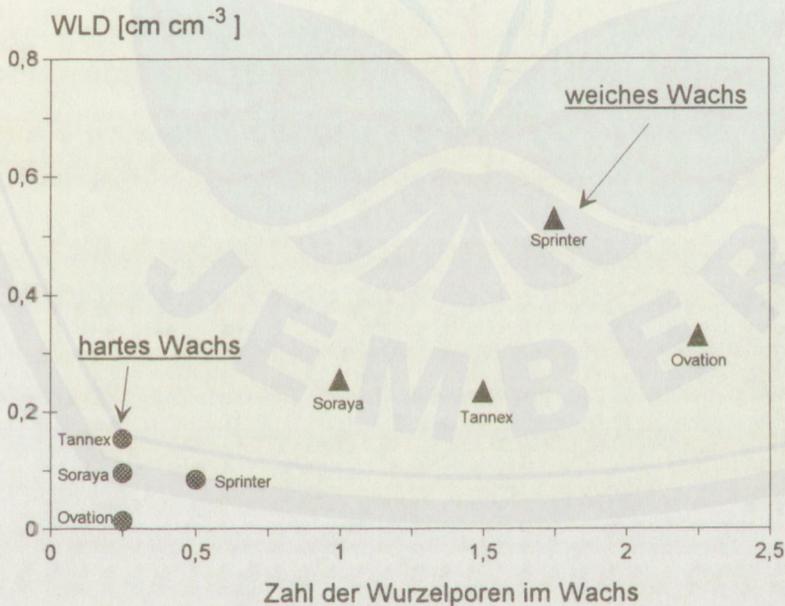


Abb. 42 Beziehung zwischen Zahl der Wurzeporen im Wachs und WLD unterhalb der Wachsschicht in Abhängigkeit von der Wachshärte von vier Kopfsalatsorten 29 Tage nach Aussaat.

2.3 Gefäßversuch im Jahre 1994/95

Da die Aussagekraft der Gefäßversuche zur Charakterisierung genotypische Unterschiede im Wurzelwachstum auf der Basis von 4 Sorten nur sehr begrenzt ist, wurde 1994/95 ein weiterer Versuch mit 15 Sorten durchgeführt.

Die Reihenfolge der Sorten in den Abbildungen wurde nach der Höhe der N-Aufnahme beim weichem Wachs (1. = hoch, 15. = niedrig) angeordnet.

2.3.1 Sproßfrisch- und Sproßtrockenmasse

Das Sproßwachstum (Abb. 43) wurde durch die Wachshärte erwartungsgemäß nicht beeinflusst. Zwischen den Sorten traten beträchtliche Unterschiede in der Sproßfrisch- (Abb. 43A) und entsprechend auch in der Sproßtrockenmasse (Abb. 43B) auf. Generell erwiesen sich die Sorten Charan, Sprinter, Stephanie und Mirian als besonders wüchsig, die Sorten Soraya, Prosper und Votan hingegen als wenig wüchsig.

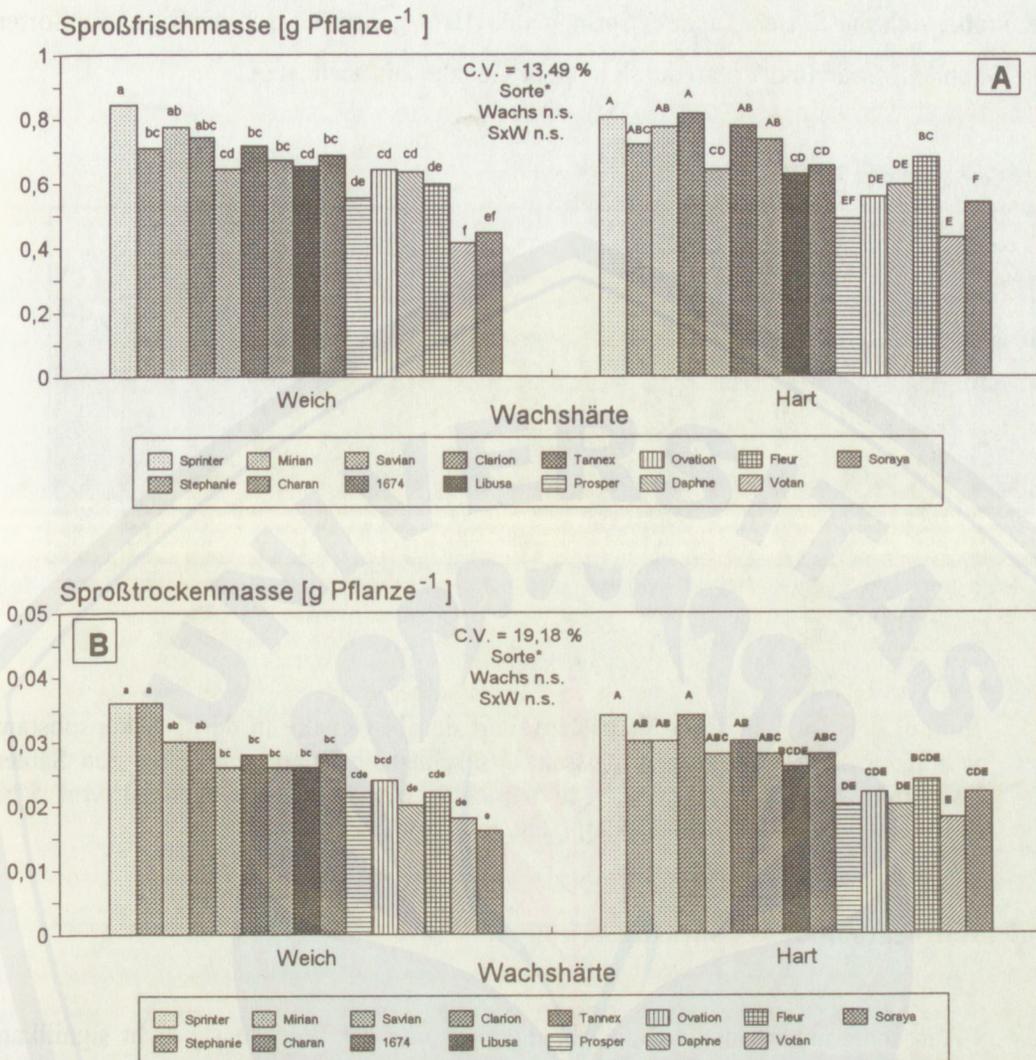


Abb. 43: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf die Sproßfrischmasse (A) und auf die Sproßtrockenmasse (B) von Kopfsalat 35 Tage nach Aussaat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

2.3.2 Stickstoff-Gehalte im Sproß

Der N-Gehalt im Sproß lag generell mit 8-9 % sehr hoch und zeigte einen sehr guten N-Versorgungsgrad an. Zwischen den Wachshärten bestanden keine signifikante Unterschiede. Da jedoch einige Sorten bei hartem Wachs signifikant höhere (Ovation, Prosper, Fleur, Votan), andere jedoch niedrigere (Savian, Clarion, 1674) N-Gehalte aufwiesen, war die Interaktion Sorte x Wachs statistisch signifikant. Zwischen den Sorten bestanden signifikante Unter-

schiede, wobei sich die Sorten Tannex, Sprinter und 1674 generell durch niedrige, die Sorten Prosper, Daphne, Mirian und Votan durch hohe N-Gehalte auszeichneten.

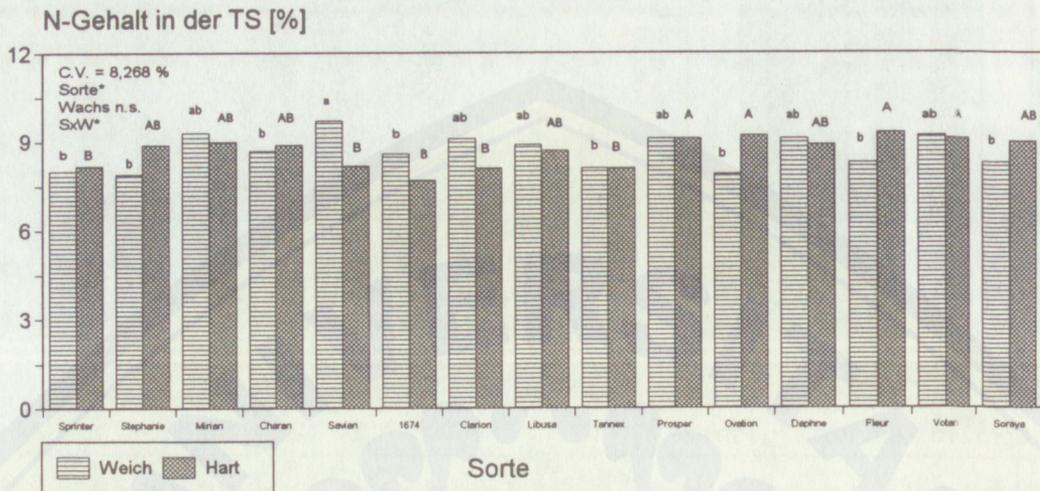


Abb. 44: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf den N-Gehalte in der Trockensubstanz von Kopfsalat 35 Tage nach Aussaat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Große und kleine Buchstaben sind nicht zu vergleichen.

2.3.3 Stickstoff-Aufnahme des Sprosses

Auch die N-Aufnahme unterschied sich in Abhängigkeit von der Wachshärte nicht signifikant (Abb. 45). Zwischen den Sorten traten jedoch beträchtliche Unterschiede auf. Sorten mit generell hoher N-Aufnahme waren Charan, Mirian, Stephanie, und Sprinter, Sorten mit niedriger Aufnahme waren Soraya, Votan, Fleur und Daphne, was den Unterschieden in der Sproßmassebildung entspricht (Abb. 46).

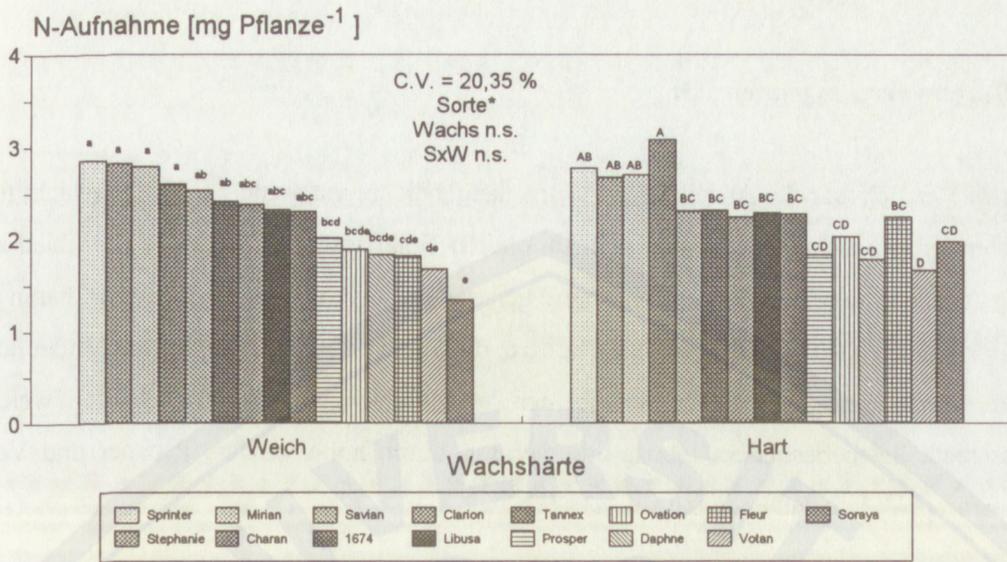


Abb. 45: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf die N-Aufnahme von Kopfsalat 35 Tage nach Aussaat. Verschiedene Buchstaben über den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

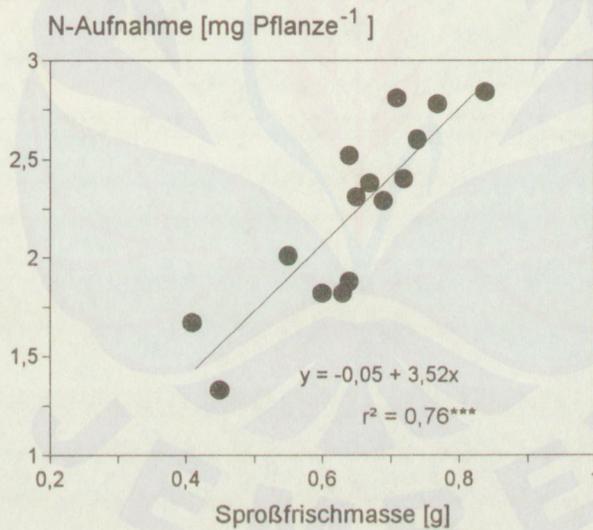


Abb. 46: Beziehung zwischen der Sproßfrischmasse und der N-Aufnahme bei weicher Wachsschicht von 15 Kopfsalatsorten 35 Tage nach Aussaat.

2.3.4 Durchwurzelungsintensität

In diesem Versuch war die Abnahme der Wurzellängendichte unterhalb der Wachsschicht noch deutlicher als 1993 ausgeprägt (Abb. 47). Im oberen Gefäßabschnitt war im Unterschied zum unteren Abschnitt der Einfluß der Wachshärte generell nicht signifikant. Die Sorten Charan und Sprinter zeichneten sich durch signifikant höhere, die Sorten Soraya, Prosper und Votan durch niedrigere Wurzellängendichten oberhalb der Wachsschicht aus. Unterhalb der weichen Wachsschicht fielen besonders Libusa und Sprinter durch hohe, Savian, Prosper und Votan durch niedrige Wurzellängendichte auf.



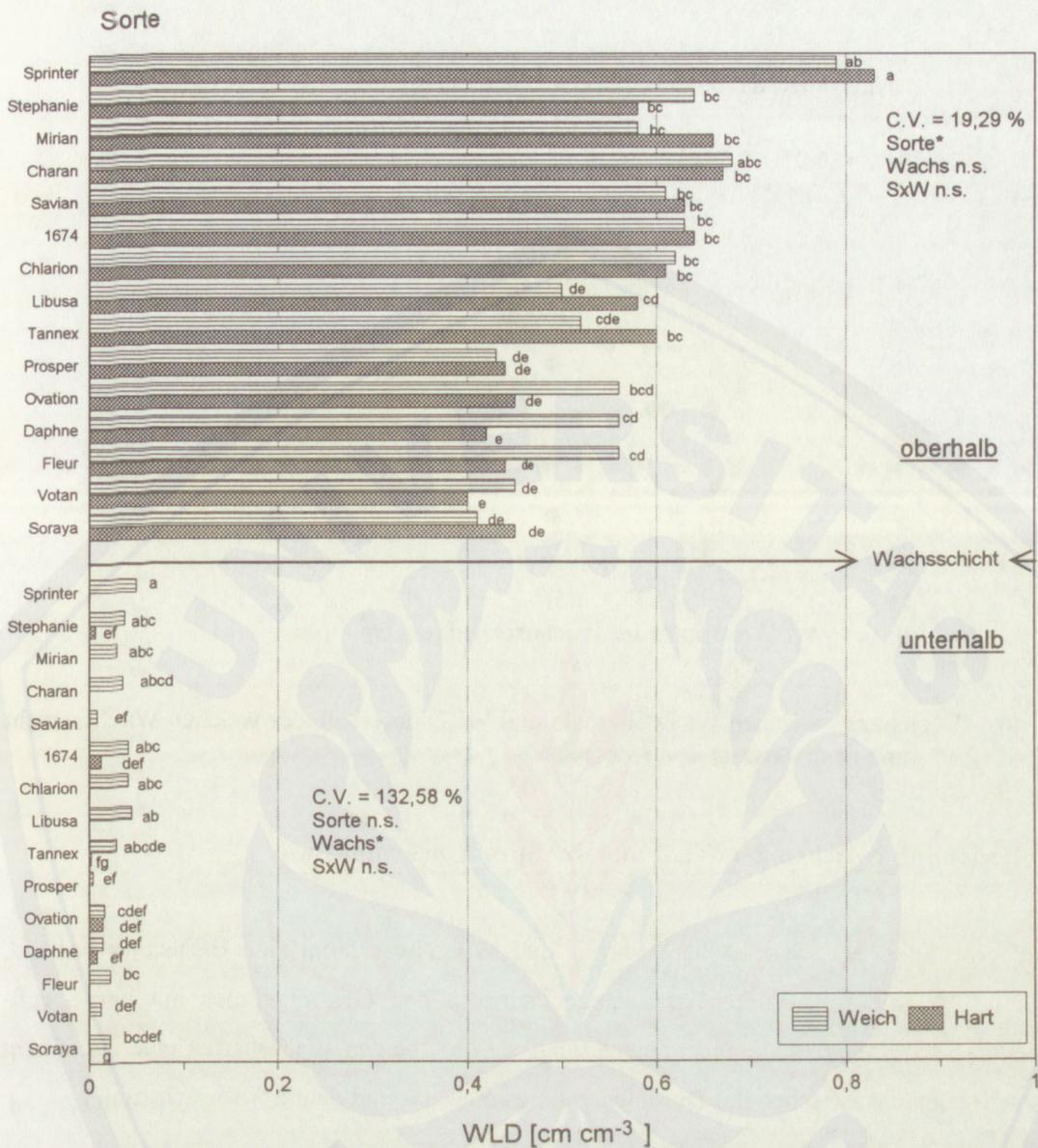


Abb. 47: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf die Wurzellängendichte (WLD) von Kopfsalat 35 Tage nach Aussaat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Zwischen der Wurzellängendichte oberhalb und unterhalb der weichen Wachsschicht bestand eine signifikante Beziehung (Abb. 48). Insgesamt war die Wurzellängendichte unterhalb der Wachsschicht jedoch so niedrig, daß die Ergebnisse mit Vorsicht betrachtet werden müssen. Die harte Wachssicht erlaubte nur wenigen Sorten überhaupt nur eine oder zwei Wurzeln in den unteren Gefäßabschnitt hineinwurzeln zu lassen.

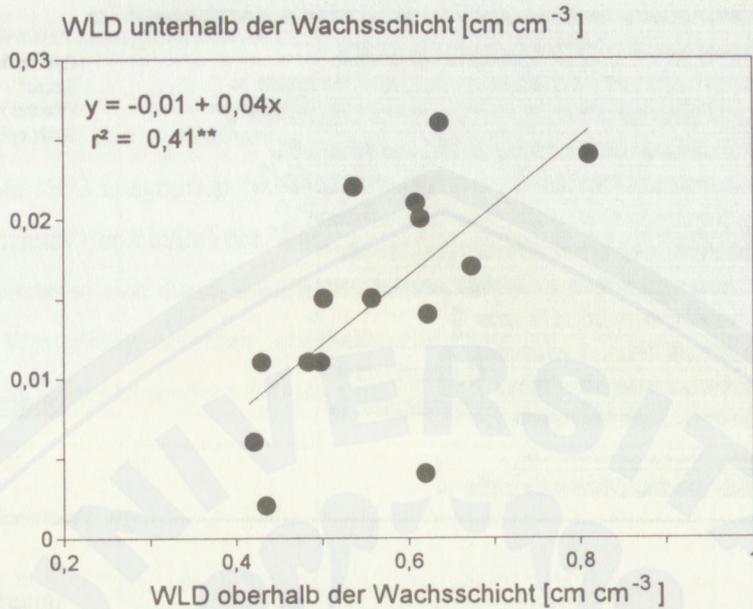


Abb. 48 Beziehung zwischen WLD oberhalb und WLD unterhalb der weichen Wachsschicht 35 Tage nach Aussaat von Kopfsalat.

2.3.5 Beziehung zwischen der WLD und der Sproßtrockenmasse

Zur Überprüfung, ob zwischen dem Sproß- und Wurzelwachstum eine Beziehung bestand, wurde in Abb. 49 die mittlere Wurzellängendichte in den Gesamtgefäßen mit der Sproßtrockenmasse korreliert. Übereinstimmend zeigt sich bei beiden Wachshärten eine signifikant positive Beziehung zwischen der Durchwurzelungsintensität und dem Sproßwachstum.

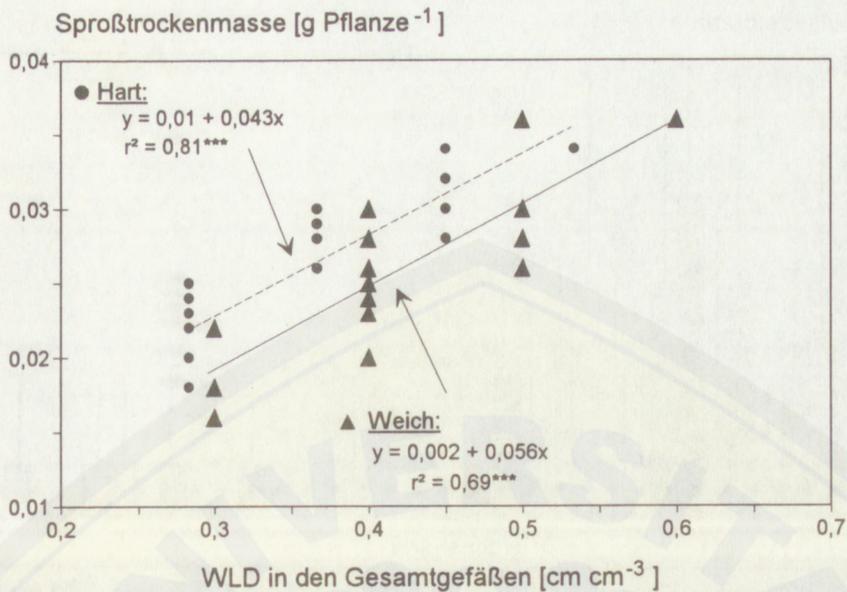


Abb. 49: Beziehung zwischen WLD in den Gesamtgefäßen (oben + unten) und Sproßtrockenmasse von Kopfsalat 35 Tage nach Aussaat bei weicher und harter Wachsschicht.

2.3.6 Zahl der Wurzelporen im Wachs

Entsprechend der geringen Wurzellängendichte unter den Wachsschichten in diesem Experiment war auch die Anzahl der Wurzelporen im Wachs nur sehr gering. In Mittel waren bei weichem Wachs nur knapp eine Pore pro Gefäß, bei hartem Wachs sogar nur weniger als eine Pore pro 5 Gefäße zu finden. Entsprechend groß war die Variabilität dieses Parameters, die nur begrenzt Aussagen über sortenspezifische Unterschiede erlaubt (Abb. 50).

Trotz der relativ großen Variabilität dieses Parameters bestand beim weichen Wachs zwischen der Anzahl an Wurzelporen im Wachs und der Wurzellängendichte im Gefäßkompartiment unterhalb der Wachsschicht eine enge Beziehung (Abb. 50). Beim harten Wachs ließ sich aufgrund der geringen Anzahl an Sorten, die die Wachsschicht durchwuchsen, keine Beziehung zwischen beiden Parametern nachweisen (Ergebnisse nicht dargestellt).



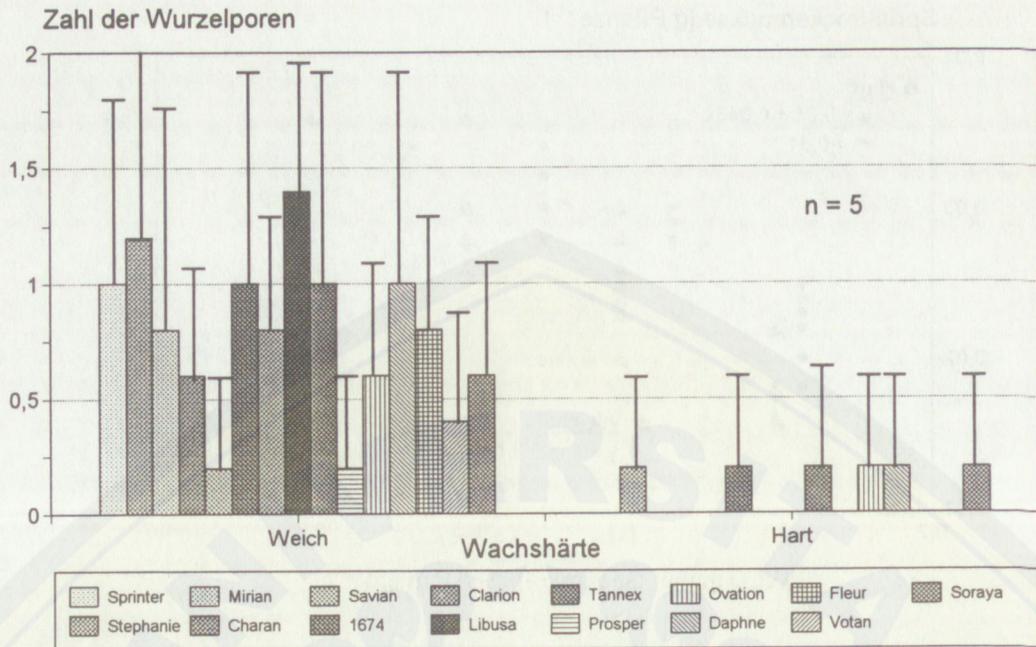


Abb. 50: Zahl der Wurzelforen im Wachs von Kopfsalat 35 Tage nach Aussaat in Abhängigkeit von der Sorte und der Wachshärte. Die Balken geben die Standardabweichung an.

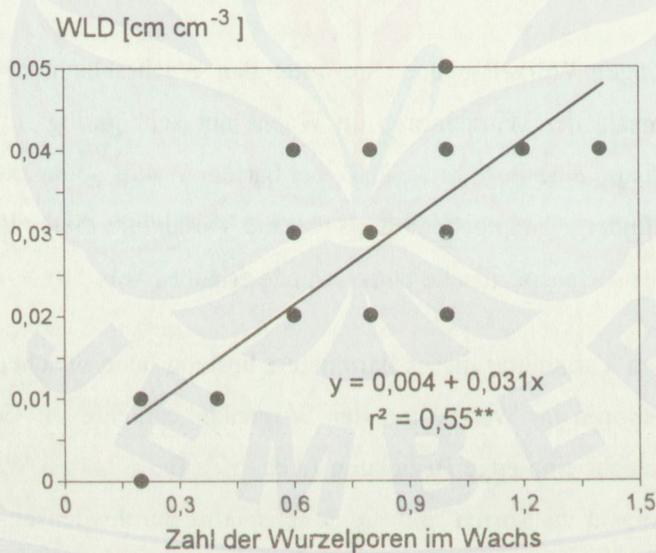


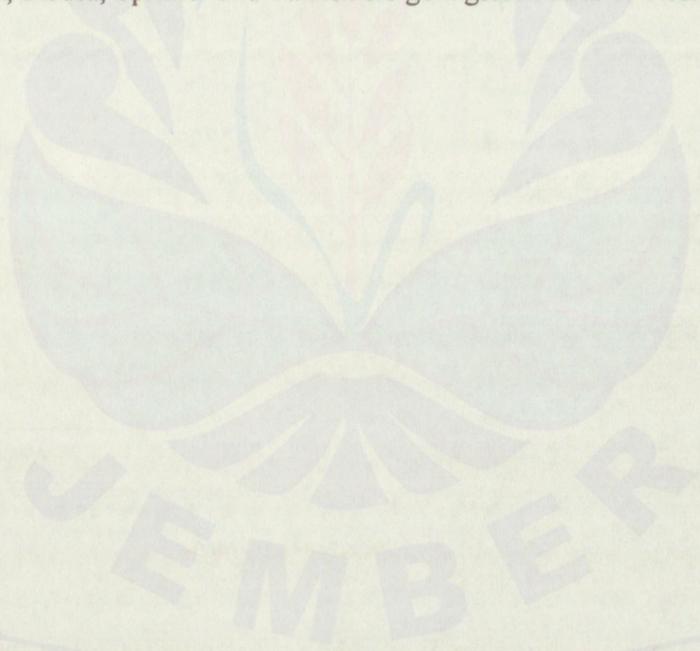
Abb.51: Beziehung zwischen Zahl an Wurzelforen im Wachs und WLD unterhalb der Wachsschicht bei weichem Wachs von 15 Kopfsalatsorten 35 Tage nach Aussaat.

2.3.7 Nitrat-N-Rest im Bodensubstrat

In Laufe des Wachstums der Salatpflanzen kam es zu deutlicher Nitratverarmung, besonders im oberen Gefäßkompartiment (Ausgang-Nitrat-N-Gehalt: 15 mg), aber auch unterhalb der Wachsschicht (Ausgang-Nitrat-N-Gehalt: 5 mg).

In Abhängigkeit von der Wachshärte waren im Oberboden die Nitrat-N-Restgehalte bei hartem Wachs signifikant geringer, unterhalb der Wachsschicht jedoch höher, was die stärkere Abhängigkeit der N-Versorgung der Sprosse aus dem Oberboden bei stark verminderter Durchwurzelbarkeit des Unterbodens widerspiegelt.

Zwischen den Sorten traten signifikante Unterschiede in den Nitrat-N-Resten auf, obwohl die Unterschiede absolut vergleichbar gering waren. Im Oberboden fielen besonders die Sorten Mirian und Clarion durch starke, die Sorten Soraya und Libusa durch geringe Nitrat-N-Verarmung auf. Unterhalb der weichen Wachsschicht hinterließen die Sorten Ovation, Prosper und Savian die höchsten, Libusa, Sprinter und Tannex die geringsten Nitrat-N-Restwerte.



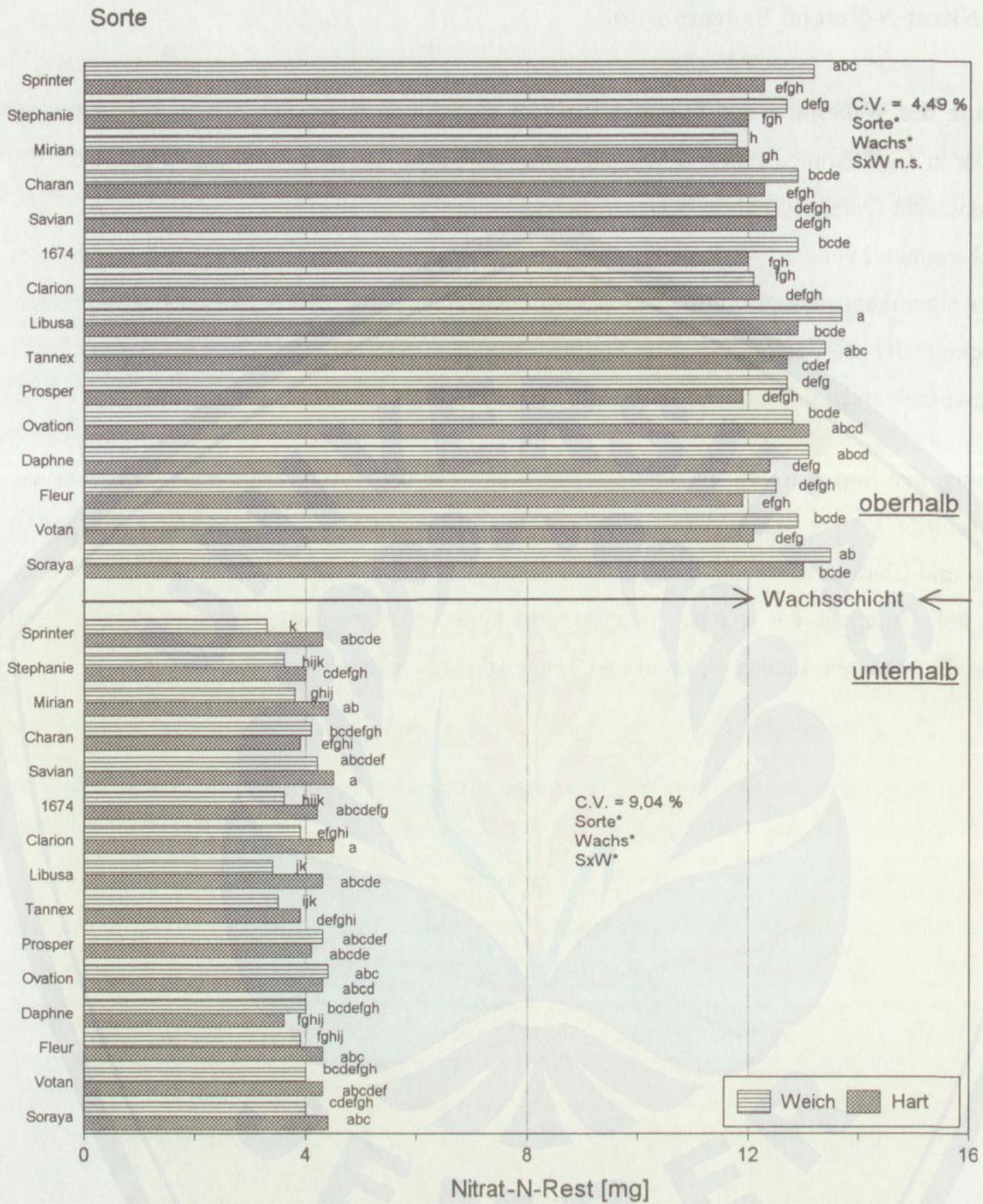


Abb. 52: Einfluß der Sorte und der Wachshärte auf den NO_3^- -N-Rest im Bodensubstrat bepflanzt mit Kopfsalat 35 Tage nach Aussaat. Verschiedene Buchstaben neben den Säulen bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

2.3.8 Beziehung zwischen der N-Aufnahme, WLD und N-Verarmung im Bodensubstrat

Die N-Verarmung des Bodensubstrates war in der Regel höhere als die N-Aufnahme der Pflanze. Das bedeutet, es gab Stickstoffverluste aus dem Bodensubstrat, die nicht durch N-Aufnahme durch die Pflanzen erklärt werden können. Abb. 53A zeigt eine signifikante Beziehung zwischen N-Aufnahme der Pflanzen und N-Verarmung des Bodensubstrates sowohl bei hartem als auch weichem Wachs, wobei jedoch die Beziehung nur als sehr locker angesehen werden muß. Zwischen Wurzellängendichten (aus gesamten Gefäß) und N-Verarmung bestand keine signifikante Beziehung, tendenziell zeigt sich zwischen beiden Parametern eine positive Beziehung (Abb. 53B).

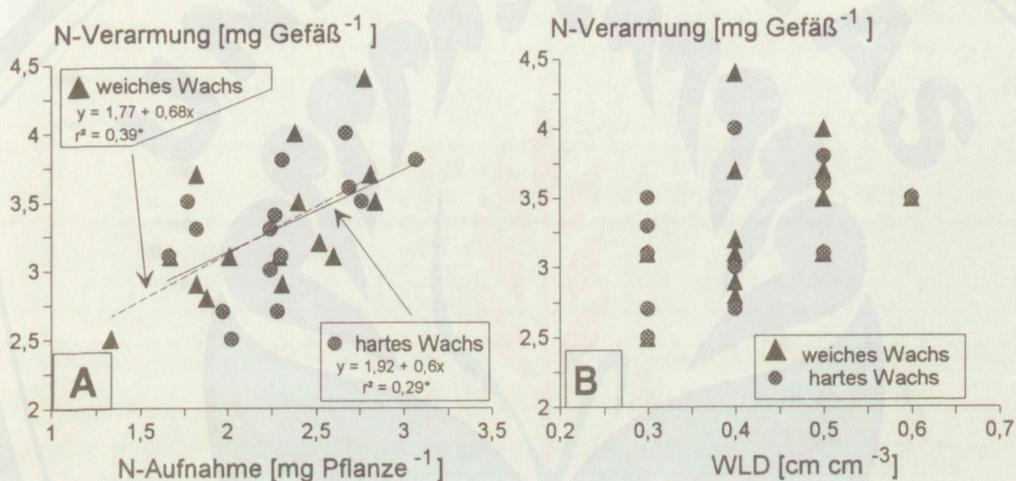


Abb. 53: Beziehung zwischen N-Aufnahme und N-Verarmung (A) und zwischen WLD (aus gesamten Gefäß) und N-Verarmung (B) von 15 Kopfsalatsorten kultiviert im Gefäßen mit Wachsplatte mit unterschiedlicher Härte für 35 Tage.

3 Zusammenhang zwischen der WLD des Feldversuches und WLD des Gefäßversuches

Ziel der Untersuchungen war es, ein Screening-Verfahren für das Wurzelwachstum von Kopfsalatsorten zu entwickeln. Aus der Ermittlung der Wurzelentwicklung im Gefäßversuch soll ein Rückschluß auf das Wurzelwachstum im Freiland ermöglicht werden. Um zu überprüfen, ob der angewandte methodische Ansatz dazu geeignet ist, wurden in Abb. 54 und Abb. 55 die Wurzellängendichte im Gefäßversuch mit der Wurzellängendichte im Feldversuch korreliert.

Die Wurzellängendichte des Feldversuches im Jahre 1993 wurden 25 Tage nach der Pflanzung beim Frühlingsatz und 28 Tage nach der Pflanzung beim Sommersatz ermittelt. Diese Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen des Gefäßversuches, der 35 Tage nach Aussaat geerntet wurde, korreliert.

Zwischen der Wurzellängendichte in den Feldversuchen und der Wurzellängendichte des Gefäßversuches, bestanden keine signifikanten Beziehungen. Besonders auffallend sind die großen Unterschiede in der Wurzellängendichte im Feld zwischen den beiden Sätzen.

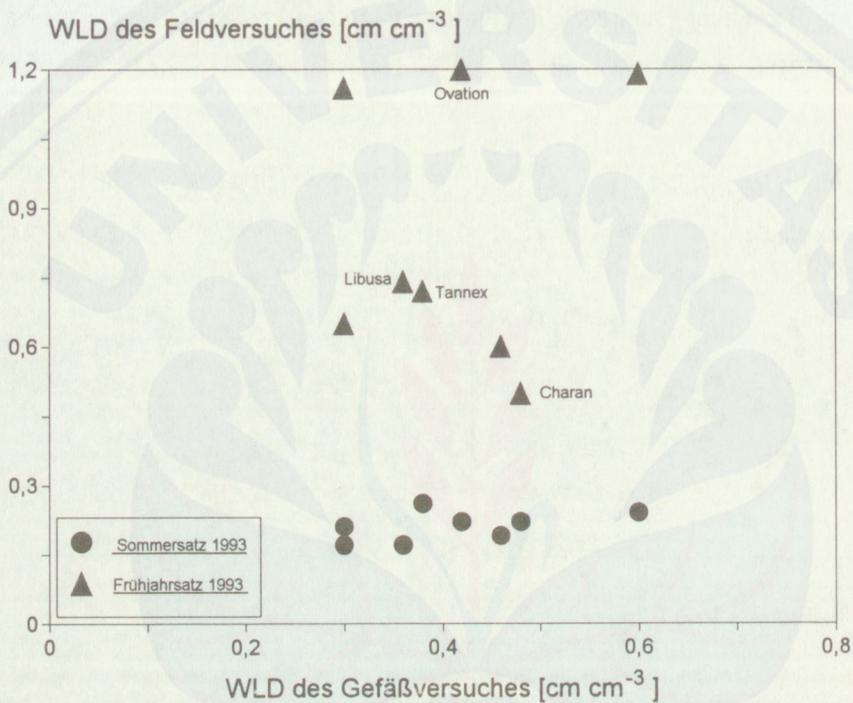


Abb. 54: Beziehung zwischen WLD des Feldversuches (0-60 cm) 25 bzw. 28 Tage nach der Pflanzung und WLD des Gefäßversuches (Gesamtgefäß) bei 8 Kopfsalatsorten. In die Beziehung eingegangene Einzelwerte stellen Mittelwerte aus 4 (Feldversuche) bzw. 5 (Gefäßversuch) Wiederholungen dar.

In Abb. 55 werden Beziehung zwischen den WLD unterhalb der weichen Wachsschicht des Gefäßversuches und den WLD je 15 cm Bodenschicht zur Zwischenernte des Feldversuches im Frühjahr dargestellt. Nur für die Bodenschicht 15-30 cm bestand eine signifikante Beziehung zwischen beiden Parametern. Auf der Grundlage der Ergebnisse des Feldversuches im Sommer bestanden für keine Bodenschicht signifikante Beziehung zu dem Gefäßversuch (Ergebnisse nicht dargestellt).

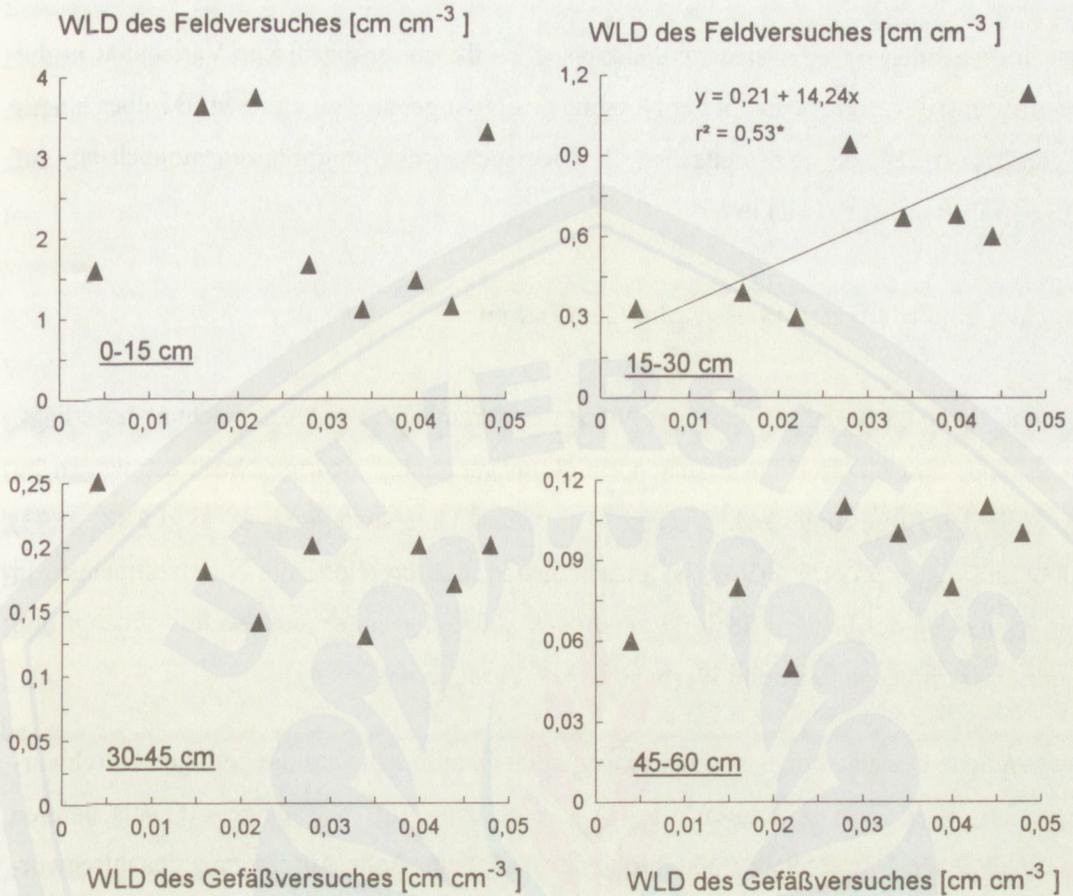


Abb. 55: Beziehung zwischen WLD unterhalb der weichen Wachsschicht des Gefäßversuches und WLD 25 Tage nach der Pflanzung des Feldversuches im Frühjahr von 8 Kopfsalatsorten. In die Beziehung eingegangene Einzelwerte stellen Mittelwerte aus 4 (Feldversuche) bzw. 5 (Gefäßversuch) Wiederholungen dar.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Aus vielen Untersuchungen ist zu entnehmen, daß die Höhe die Nitratresmenen in starkem Maße von der Bewirtschaftung der Böden sowie der angebauten Kultur abhängt und im Gemüsebau oft besonders hohe Werte erreicht. Eine wesentliche Ursache hoher Nitratrestmengen im Salatanbau sind die geringen Durchwurzelungstiefen von Kopfsalat, die (a) eine Nutzung des Nitratangebotes aus tieferen Bodenschichten nicht ermöglichen und infolgedessen (b) eine hohe Aufdüngung des durchwurzelten Oberbodens erforderlich machen. Eine weitere Ursache hoher Nitratresmenen ist (c) die Tatsache, daß Salat zu einem Zeitpunkt geerntet werden, in dem sich die Pflanzen noch in vollem Wachstum befinden. Das heißt, zum Zeitpunkt der Ernte müssen die Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung noch so hoch sein, daß eine ausreichende Nitratanlieferung an die Wurzel gewährleistet ist, um angestrebte Erträge und auch Qualitäten zu erreichen.

Ziel der vorliegende Arbeit war die Klärung folgender Frage:

- Bestehen genotypische Unterschiede im Wurzelwachstum von Kopfsalat ?
- Welche Bedeutung haben mögliche Unterschiede im Wurzelwachstum für die Nutzung des N-Angebotes ?
- Besteht eine Wechselwirkung zwischen genotypisch spezifischer Durchwurzelungsintensität, Anbauzeitraum und N-Angebot des Bodens ?
- Bestehen genotypische Unterschiede in der N-Effizienz ?
- Kann durch Sortenwahl die Nutzung des Nitratangebotes insbesondere des Unterbodens (30-60 cm) verbessert und damit die Nitratauswaschung vermindert werden ?

Hierzu wurden Feldversuche über 3 Jahre durchgeführt. Besonderer Schwerpunkt wurde auf die Ermittlung der Sproßfrischmasse, N-Aufnahme, des Wurzelwachstums und der Nitratgehalte im Boden gelegt. Darüber hinaus sollte eine Methode erprobt werden, die bereits im Jugendstadium in einem einfachen Gefäßversuch Wurzelwachstum und N-Aufnahme von Salatsorten zu erfassen erlaubt, und geprüft werden, in wie weit Wurzelwachstum und N-Aufnahme zu den Ergebnissen der Feldversuche in Beziehung stehen. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

A. Feldversuch im Jahr 1992

Die mit vier Sorten (Tannex, Ovation, Siletta und Soraya) durchgeführten Untersuchungen ergaben eine geringe genetische Variabilität in der Kopfbildung (Sproßfrischmasse: 629-797 g Pflanze⁻¹), der Aufnahmekapazität der Sprosse für Stickstoff (Gesamt-N-Aufnahme: 90-114 kg ha⁻¹) und der Durchwurzelungsintensität des Unterbodens (Wurzellängendichte in 30-60 cm: Probenahmeort neben der Pflanze 0,29-0,44 cm cm⁻³; Probenahmeort zwischen den Reihen 0,20-0,37 cm cm⁻³). Die Sorten Siletta und Tannex durchwurzelten den Unterboden intensiver als die Sorten Ovation und Soraya.

B. Feldversuch im Jahr 1993

1. Sproßfrischmasse. Sowohl im Frühjahrssatz als auch im Sommersatz wiesen die untersuchten 10 Sorten eine signifikante genotypische Variabilität in der Kopfbildung auf (Frühjahrssatz: 425-590 g Pflanze⁻¹; Sommersatz: 424-563 g Pflanze⁻¹).

2. N-Aufnahme. Die Gesamt-N-Aufnahme in den Sproß durch die untersuchten 10 Sorten war sowohl im Frühjahrssatz (58-94 kg N ha⁻¹) als auch im Sommersatz (77-99 kg N ha⁻¹) wesentlich niedriger als 1992. Die Sproßfrischmasse stand sowohl im Frühjahr als auch im Sommer mit der N-Aufnahme in einer signifikanten Beziehung.

3. Wurzelwachstum. Mit Hilfe der Bohrkernmethode durchgeführte Wurzeluntersuchungen ergaben, daß die Wurzeln von Salat sich vorwiegend im Oberboden (0-30 cm) befanden (Frühjahrssatz: 82-96 % und Sommersatz: 80-94 %). Die Verteilung der Wurzeln im Bodenprofil war beim Sommersatz ähnlich wie beim Frühjahrssatz. Allerdings waren die Wurzellängendichten beim Sommersatz nur etwa halb so groß wie beim Frühjahrssatz in allen Bodenschichten. Sowohl im Frühjahr als auch im Sommer traten signifikante Unterschiede in der Durchwurzelungsintensität zwischen den Sorten in allen Bodenschichten auf. Allerdings war die Rangfolge der Sorten in beiden Sätzen völlig unterschiedlich.

4. N_{min}-Restmengen im Boden. Nach dem Frühjahrssatz lagen insgesamt (0-60 cm) nur sehr niedrige N_{min}-Restmengen im Boden vor (14,4-41,3 kg N ha⁻¹). Die N_{min}-Restmengen nahmen von Ober- zum Unterboden ab, wobei jedoch die Variabilität sehr groß war. Aus diesem

Gründe waren zwischen den Sorten in den drei oberen Bodenschichten keine signifikanten Unterschiede in der N_{\min} -Restmengen festzustellen.

Im Vergleich zum Frühjahrssatz waren die N_{\min} -Restmengen im Boden beim Sommersatz deutlich höher. Dies ist möglicherweise auf eine erhöhte N-Nachlieferung auf Grund günstiger Bedingungen für die Mineralisierung zurückzuführen. Zwischen den Sorten lagen bis 45 cm Profiltiefe signifikante Unterschiede vor.

5. Beziehung zwischen der Durchwurzelungsintensität und dem N_{\min} -Rest im Boden zur Endernte. Weder im Frühjahrs- noch im Sommersatz bestand für die einzelnen Bodenschichten noch für das gesamten Bodenprofil eine signifikante Beziehung zwischen Durchwurzelungsintensität und N_{\min} -Restmenge im Boden zur Endernte.

C. Feldversuch im Jahr 1994

1. Sproßfrischmasse. In den ersten 26 Tagen nach Pflanzung zeigten alle Sorten (Tannex, Ovation, Charan und Libusa) unabhängig vom N-Angebot insgesamt ein langsames Wachstum. Danach wiesen alle Sorten mit Ausnahme von Tannex bis zur Endernte ein schnelles lineares Wachstum auf. Zur Endernte unterschieden sich die Sproßfrischmassen signifikant in Abhängigkeit vom N-Angebot. Unterschiede zwischen den Sorten waren zwar über alle N-Stufen berechnet nicht signifikant, beim niedrigsten N-Angebot (70 kg N ha^{-1}) jedoch sehr ausgeprägt: Die Sorte Charan wies die höchste Sproßfrischmasse auf und zeigte durch Erhöhung des N-Angebotes keine Ertragsteigerung. Aus agronomischer Sicht war Charan in diesem Versuch die N-effizienteste Sorte. Die absolut höchste Sproßfrischmasse beim höchsten N-Angebot (130 kg N ha^{-1}) erreichte die Sorte Ovation. Zwischen der Sproßfrischmasse und der N-Aufnahme der Sorte bestanden besonders bei den Angebotsstufen 70 und 100 kg N ha^{-1} sehr enge Beziehungen.

2. N-Aufnahme. 41 Tage nach Pflanzung hatten die Pflanzen im Mittel der untersuchten Sorten beim N-Angebot von 100 kg N ha^{-1} signifikant mehr Stickstoff aufgenommen als beim Angebot von 70 kg N ha^{-1} . Eine weitere Erhöhung des N-Angebotes auf 130 kg N ha^{-1} führte nur noch tendenziell zu einer Steigerung der N-Aufnahme. Dabei unterschieden sich die Sorten jedoch deutlich. Während beim niedrigsten ($66,7\text{-}73,6 \text{ kg N ha}^{-1}$) und beim mittleren N-

Angebot ($82,7-90,1 \text{ kg N ha}^{-1}$) kaum Sortenunterschiede festzustellen waren, unterschied sich die N-Aufnahme beim höchsten N-Angebot signifikant zwischen den Sorten.

Bis zur Ernte stieg die N-Aufnahme beim niedrigsten Angebot (70 kg N ha^{-1}) bei den Sorten Charan, Libusa und Ovation, nicht aber bei Tannex weiter an. Beim mittleren N-Angebot (100 kg N ha^{-1}) zeigten alle Sorten eine deutliche Steigerung der N-Aufnahme. Beim N-Angebot von 130 kg N ha^{-1} wiesen alle Sorten mit Ausnahme von Ovation eine leichte Aufnahmesteigerung bis zur Ernte auf. Wie nach 41 Tagen wurden auch zur Ernte signifikante N-Angebot x Sorte Interaktionen festgestellt. In diesem Zusammenhang sind die Sorten Charan und Ovation besonders interessant. Während Ovation mit jeder Erhöhung des N-Angebotes mit einer Erhöhung der N-Aufnahme reagierte, erreichte die Sorte Charan die höchste N-Aufnahme schon beim niedrigsten N-Angebot. Beim niedrigsten N-Angebot (70 kg N ha^{-1}) war die N-Aufnahme der N-effizientesten Sorte (Charan) um ca. 50 kg N höher als die der ineffizientesten Sorte (Tannex).

3. Wurzelwachstum. In den ersten 14 Tagen nach Pflanzung war das Wurzelwachstum insgesamt nur sehr schwach. Alle Sorten hatten den Boden maximal bis 15 cm Tiefe durchwurzelt. Die Durchwurzelungstiefe erhöhte sich 26 Tage nach Pflanzung auf 30 cm und 41 Tage nach Pflanzung auf 60 cm . Wie die Durchwurzelungstiefe erhöhte sich auch die Durchwurzelungsintensität in den verschiedenen Bodenschichten mit fortschreitender Vegetationszeit. Während zu keinem Zeitpunkt des Versuches Unterschiede zwischen den Sorten in der maximalen Durchwurzelungstiefe ermittelt werden konnten, deuteten sich, wenn auch nicht signifikant, Unterschiede zwischen den Sorten in der Durchwurzelungsintensität der verschiedenen Bodenschichten ab dem Probenahmezeitpunkt 41 Tage nach Pflanzung an. In Abhängigkeit vom N-Angebot ergab sich eine sehr deutliche Tendenz geringerer Wurzellängendichten im gesamten Bodenprofil beim hohen N-Angebot. Dabei reagierten die Sorten aber offensichtlich unterschiedlich „empfindlich“, insbesondere die Sorte Libusa wesentlich stärker als die Sorte Tannex. Beim niedrigen N-Angebot zeichneten sich Libusa und Charan durch hohe Wurzellängendichten im Unterboden, jedoch weniger deutlich im Oberboden aus. Zur Ernte waren die Unterschiede zwischen den Sorten beim N-Angebot von 130 kg N kg^{-1} absolut gering und in allen Bodenschichten statistisch nicht abzusichern.

4. N_{\min} -Restmengen im Boden. Im Verlauf der Kultur zeigt sich, daß zum Zeitpunkt 14 Tage nach Pflanzung bei der Variante 130 kg N nur noch etwa 50 kg N ha^{-1} im Oberboden (0-

30 cm) wiedergefunden wurden. In den folgenden beiden Wochen stiegen die N_{\min} -Mengen im Boden wieder leicht an. Einsetzende intensive N-Aufnahme führte dann ab dem Zeitpunkt 26 Tage nach Pflanzung zu einem starken Abfall der N_{\min} -Mengen im Oberboden (0-30 cm). Im Unterboden (30-60 cm) trat nur gegen Ende der Kulturzeit (41 Tage nach Pflanzung) eine einheitliche Abnahme des mineralischen Stickstoffs im Boden auf. Erwartungsgemäß lagen die N_{\min} -Mengen im Boden bei geringem N-Angebot (70 kg N ha^{-1}) deutlich niedriger als bei hohem N-Angebot (130 kg N ha^{-1}). Zur Ernte (48 Tage nach Pflanzung) traten in keiner Bodenschicht, mit Ausnahme der hohen N_{\min} -Restmenge in der Bodenschicht 0-15 cm bei der Sorte Tannex, signifikante Unterschiede zwischen den Sorten auf.

5. Beziehung zwischen Durchwurzelungsintensität und den N_{\min} -Restmengen im Boden.

Zur Ernte bestanden keine Beziehungen zwischen der Wurzellängendichte bzw. Wurzellänge der Sorte und den N_{\min} -Restmengen in verschiedenen Bodenschichten.

D. Gewächshausversuch

Ziel der Untersuchungen war es, ein Verfahren zum Screening auf Wurzelwachstum von Kopfsalatsorten zu entwickeln. Aus der Ermittlung der Wurzellängendichte im Gefäßversuch sollte ein Rückschluß auf das Wurzelwachstum im Freiland ermöglicht werden.

Als Versuchsgefäße dienten PVC-Röhren mit einem Innendurchmesser von 5,7 cm und einer Höhe von 20 cm (zweiteilig: oberes Kompartiment 15 cm und unteres Kompartiment 5 cm). Die Füllhöhe des oberen Kompartimentes betrug 12 cm, während die des unteren Kompartimentes 4 cm betrug. Zwischen dem oberen und unteren Kompartiment befand sich eine Wachsplatte. Mit Hilfe eines Drahtsiebes wurde die Bodensäule im unteren Kompartiment stabilisiert.

Als Substrat diente ein Quarzsand-Lößunterboden-Gemisch im Volumenverhältnis 1:3 mit einer Lagerungsdichte von $1,4 \text{ g cm}^{-3}$.

Die Durchwurzelungsintensität wurde in diesen Untersuchungen als Hauptparameter untersucht. Im oberen Gefäßabschnitt war die Wurzellängendichte aller Sorten deutlich höher als im unteren Abschnitt. Während die Wachshärte im oberen Abschnitt die Wurzellängendichte nicht signifikant beeinflusste, traten im unteren Gefäßabschnitt signifikante Unterschiede auf. Signifikante Sortenunterschiede traten im Versuchsjahr 1993 sowohl im

oberen als auch unteren Gefäßabschnitt, im Versuchsjahr 1994/95 jedoch nur im oberen Gefäßabschnitt auf. Die im Feldversuch 1994 als effizient gekennzeichnete Sorte Charan produzierte in der Tendenz im oberen Gefäßabschnitt eine höhere Wurzellängendichte als die Sorten Tannex, Ovation und Libusa.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Felduntersuchungen, daß deutliche Unterschiede in der N-Effizienz zwischen Salatsorten bestehen und daher durch Sortenwahl die Nutzung des Nitratangebotes des Bodens verbessert und damit ein Beitrag zur Verminderung der Nitratauswaschung geleistet werden kann. Es deutet sich an, daß eine sortenspezifisch hohe Durchwurzelungsintensität mit für die erhöhte N-Effizienz verantwortlich ist. Die PVC-Röhren/Wachsplatte-Methode ist in der Lage, deutliche Unterschiede zwischen den Sorten im Sproßwachstum als aber auch in der Durchwurzelungsintensität zu erfassen, wobei jedoch die Übereinstimmung mit den Ergebnissen in den Feldversuchen noch nicht befriedigen kann.



VII. LITERATURVERZEICHNIS

- ANDERSON, F. N.; PETERSON, G. A. und OLSON, R. A. (1972): Uptake patterns of ^{15}N tagged nitrate by sugar beets as related to soil nitrate level and time. *J. Amer. Soc. Sugar Beet Technol.* **17**, 42-48.
- ANDREWS, R. E. und NEWMAN, E. I. (1970): Root density and competition for nutrient. *Oecol. Plant* **5**, 319-334.
- BACH, M. (1985): Stickstoff-Bilanzen der Kreise der Bundesrepublik Deutschland als Grundlage einer Abschätzung der möglichen Nitratbelastung des Grundwassers durch die Landwirtschaft. *Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges.* **43/II**, 625-630.
- BALDWIN, I. P.; NYE, P. H.; TINKER, P. B. (1973): Uptake of solutes by multiple root systems from soil. III. A model for calculating the solute uptake by a randomly dispersed root system developing in a finite volume of soil. *Plant Soil* **38**, 621-635.
- BARLEY, K. P. (1970): The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. *Adv. Agron.* **32**, 159-201.
- BÖHM, W. (1979): *Method of Studying Root Systems*. Springer Verlag, Berlin.
- BRAY, R. H. (1954): A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Sci.* **78**, 9-22.
- BROUDER, S. M. und CASSMAN, K. G. (1990): Root development of two cotton cultivars in relation to potassium uptake and plant growth in a vermiculitic soil. *Field Crops Res.* **23**, 187-203.
- BRUMM, I. (1992): Einfluß des Stickstoffangebots auf das Auftreten von Ca-Mangel bei Kopfsalat. Dissertation Universität Hannover.
- CARR, M. K. V. und DODDS, S. M. (1983): Some effects of soil compaction on root growth and water use of lettuce. *Expl. Agric.* **19**, 117-130.
- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. (1975): Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. and Plant Analysis* **6**, 71-80.
- CHOLICK, F. A.; WELSH, J. R. und COLE, C. V. (1977): Rooting patterns of semidwarf and tall winter wheat cultivars under dryland field conditions. *Crop Sci.* **17**, 637-639.
- CIMMYT (1970-1971): Annual Rep. 1970-1971. p. 34. International maize and wheat improvement center, Mexico City, Mexico.
- CLAASEN, N.; SYRING, K. M. und JUNGK, A. (1986): Verification of a mathematical model by simulating potassium uptake from soil. *Plant Soil* **95**, 209-220.

- COMFORT, S. D.; MALZER, G. L.; BUSCH, R. H. (1988): Nitrogen fertilization of spring wheat genotypes: Influence on root growth and soil water depletion. *Agron. J.* **80**, 114-120.
- CORNFORTH, I. S. (1968): Relationships between soil volume used by roots and nutrient accessibility. *J. Soil Sci.* **19**, 291-301.
- COX, M. C.; QUALSET, C. O. und RAINS, D. W. (1985): Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* **25**, 435-440.
- DAIGGER, L. A. und SANDER, D. H. (1976): Nitrogen availability to wheat as affected by depth of nitrogen placement. *Agron. J.* **68**, 524-526.
- De WILLIGEND, P. und Van NOORDWIJK, M. (1987): Roots, plant production and nutrient use efficiency. Ph. D. thesis, Agricultural University Wageningen, Netherlands.
- DRESSEL, J. und JUNG, J. (1980): Modelluntersuchungen zur Stickstoffaufnahme von Getreide aus verschiedenen Bodentiefen. *Landwirtsch. Forsch., Sonderh.* **37**, 226-234.
- DREW, M. C. (1975): Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate and potassium on the growth of the seminal root system and the shoot of barley. *New Phytol.* **75**, 479-490.
- DREW, M. C. und SAKER, L. R. (1975): Root systems in barley. II. Localized, compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when nitrate supply is restricted to only part of the root system. *J. Exp. Bot.* **26**, 79-89.
- DREW, M. C.; SAKER, L. R. und ASHLEY, T. W. (1973): Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. I. The effect of nitrate concentrations on the growth of axes and laterals. *J. Exp. Bot.* **24**, 1189-1202.
- EGBALL, B. und MARANVILLE, J. W. (1993): Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agron. J.* **85**, 147-152.
- EHLERS, B. und HARTMANN, H. D. (1987): Biologische Konservierung von Nitrat. *Gemüse* **23**, 210-214.
- EKANAYAKE, I. J; GARRITY, D. P und O'TOOLE, J. C. (1986): Influence of deep root density on root pulling resistance in rice. *Crop Sci.* **26**, 1181-1186.
- ENGELS, Th. (1993): Nitratauswaschung aus Getreide- und Zuckerrübenflächen bei unterschiedlichem N-Angebot. Verlag U. Grauer, Stuttgart.
- GASS, W. B.; PETERSON, G. A.; HANCK, R. D. und OLSON, R. A. (1971): Recovery of residual nitrogen by corn (*Zea mays* L.) from various soil depth as measured by ¹⁵N tracer techniques. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **35**, 290-294.

- HACKETT, C. (1972): A method of applying nutrients locally to roots under controlled conditions and some morphological effects of locally applied nitrate on the branching of wheat roots. *Aust. J. Soil Sci.* **25**, 1169-1180.
- HAHN, J. (1991): Grundwasser in Niedersachsen. In: Grundwasser in Niedersachsen. Nds. Akad. Geowiss. Veröf. 7, Hannover.
- HAMBLIN, A. (1985): The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. *Adv. Agron.* **38**, 95-158.
- HENRIKSEN, G. H.; RAJ RAMAN, D.; WALKER, L. P und SPANSWICK, R. N. (1992): Measurement of net fluxes of ammonium and nitrate at the surface of barley roots using ion-selektive microelektrodes. II Patterns of uptake along the root axis and evaluation of the microelectrode flux estimation technique. *Plant Physiol.* **99**, 734-747.
- HERBST, F. und STUMPE, H. (1983): Stickstoffverlust und Stickstoffwirkung bei Düngerausbringung im Herbst. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk.* **26**, 665-672.
- HERRON, G. M.; TERMAN, G. L.; DREIER, A. F. und OLSON, R. A. (1968): Residual nitrate nitrogen in fertilized deep loess-derived soils. *Agron. J.* **60**, 477-482.
- HIMKEN, M. (1995): Einfluß plazierter N-Düngung zu Mais und Kartoffeln auf die N-Effizienz und das Sproß- und Wurzelwachstum. Dissertation Universität Hannover.
- HURD, E. A. (1974): Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric. Meteorol.* **14**, 39-55.
- ISFAN, D. (1993): Genotypic variability for physiological efficiency index of nitrogen in oats. *Plant and Soil* **154**, 53-59.
- JACKSON, L. E. und STIVERS, L. J. (1993): Root distribution of lettuce under commercial production: Implications for crop uptake of nitrogen. *Biol. Agric. and Horticulture* **9**, 273-293.
- JANSEN, H.; BACHTHALER, E.; FÖLSTER, E. und SCHARPF, H. C. (1984): *Gärtnerischer Pflanzenbau*. Ulmer Verlag Stuttgart.
- JORDAN, W. R. und MILLER, F. R. (1980): Genetic variability in sorghum root systems: Implications from drought tolerance. In: "Adaptation of Plants to Water and high Temperature Stress" (Turner, N. C.; Kramer, P. J., eds.), pp. 383-399. John Wiley and Sons, New York.
- KHALFAOUI, J. L. B. und HAVARD, M. (1993): Screening peanut cultivars in the field for root growth: a test by herbicide injection in the soil. *Field Crops Research* **32**, 173-179.
- KMOCH, H. G. und HANUS, H. (1967): Die Herstellung von Wurzelprofilen mit Hilfe des UTAH- Erdbohrers und ihre Ausdeutung. *Z. f. Acker- und Pflanzenbau* **126**, Heft 1, Paul Parey Verlag.

- KÖPCKE, U.; BÖHM, W. und JACHMANN, T. H. (1982): Rooting patterns of three winter wheat cultivars in a field and greenhouse experiment. *Z. Acker- Pflanzenbau* **151**, 42-48.
- KRIEG, K. H. (1977): Gemüsekulturen unter Flachfolien und Langzeitdünger. *Gemüse* **13**, 38-40.
- KUHLMANN, H. (1988): Ursachen und Ausmaß der N-, P-, K- und Mg- Ernährung der Pflanzen aus dem Unterboden. *Habilitationsschrift, Fachbereich Gartenbau, Univ. Hannover.*
- KUHLMANN, H.; BARRACLOUGH, P. B. und WEIR, A. H. (1989): Utilisation of mineral nitrogen in the subsoil by winter wheat. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **152**, 291-295.
- LAZOF, D. B.; RUFTY, Jr. T. W. und REDINBAUGH, M. G. (1992): Localisation of nitrate absorption and translocation within morphological regions of the corn root. *Plant Physiol.* **100**, 1251-1258.
- LENZ, F. (1993): Maßnahmen zur Verminderung der Nitratauswaschung. In: ZAKOSEK, H. und LENZ, F. (eds): *Nitrat in Boden und Pflanze*, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- LOCASCIO, S. J.; FISKELL, J. G. A. und MARTIN, F. G. (1981): Response of bell pepper to nitrogen sources. *Amer. Soc. Hort. Sci.* **106**, 628-632.
- LORENZ, H. P.; SCHLAGHECKEN, J.; ENGL, G. (1985): Gezielte Stickstoff-Versorgung. *Deutscher Gartenbau* **39**, 646-648.
- LUPTON, F. G. H.; OLIVER, R. H.; ELLIS, F. B.; BERNES, B. T.; HOWSE, K. R.; WELBANK, P. J.; TAYLOR, P. J. (1974): Root and shoot growth of semidwarf and taller winter wheat. *Ann. Appl. Biol.* **77**, 129-144.
- Mac KEY, J. (1973): The wheat root. In: „Proc. of the 4th Intern. wheat genetics symp.“ (Sears, E. R.; Sears, L. M., eds.), pp. 827-842. University of Missouri.
- MACKAY, A. D. und BARBER, S. A. (1986): Effect of nitrogen on root growth of two corn genotypes in the field. *Agron. J.* **78**, 699-703.
- MATZEL, W.; TASKE, W. und LIPPOLD, H. (1984): Nitrataufnahme aus unterschiedlichen Bodentiefen durch Wintergetreide. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk.* **28**, 393-401.
- MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J. und JACKSON, W. A. (1982): Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.* **74**, 562-564.
- NEWMANN, E. I. (1966): A method of estimating the total length of roots in a sample. *J. Appl. Ecol.* **3**, 139-145.
- OPITZ, K. (1904): Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidearten. *Mittl. d. Landw. Instit. d. Königl. Univ. Breslau* **2**, 749-816.

- OSTERMANN, W. (1931): Vergleichende morphologische und physiologische Untersuchungen am Wurzelsystem verschiedener Kartoffelsorten. Inaugural-Diss. d. Landw. Hochschule Berlin.
- O'TOOLE, J. C. und BLAND, W. L. (1987): Genotypic variation in crop plant root systems. *Adv. Agron.* **41**, 91-145.
- PEPE, J. F. und WELSH, J. R. (1979): Soil water depletion patterns under dryland field conditions of closely related high lines of winter wheat. *Crop Sci.* **19**, 677-680.
- PETERSON, G. A.; ANDERSON, F. N.; VARVEL, G. E. und OLSON, R. A. (1979): Uptake of ¹⁵N-labelled nitrate by sugar beets from depths greater than 180 cm. *Agron. J.* **71**, 371-372.
- PEW, W. D.; GARDENER, B. R. und BESSERY, P. M. (1983): Comparison of controlled-release nitrogen fertilizer, urea und ammonium nitrate on yield and nitrogen uptake by fall-grown lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **108**, 448-453.
- POLETSCHNY, H. (1988): Konzept und Durchführung des Nitratminderungsprogramms in Wasserschutzgebieten Nordhein-Westfalens. VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongreßband 1988 II, 243-250.
- REIDENBACH, G und HORST, W. J. (1995): Bedeutung verschiedener Wurzelzonen für die Nitrataufnahmerate bei Mais (*Zea mays* L.). VDLUFA-Schriftenreihe **40**, Kongressband 1995, 121-124.
- ROBERTSON, B. M.; HALL, A. E und FOSTER, K. W. (1985): A field technique for sreening for genotypic differences in root growth. *Crop Sci.* **25**, 1084-1090.
- ROBINSON, D. und RORISON, I. H. (1983): Relationships between root morphology and nitrogen availability in recent theoretical model for describing nitrogen uptake from soil. *Plant, Cell Environ.* **6**, 641-647.
- ROHMANN, U. und SONTHEIMER, H. (1985): Nitrat im Grundwasser - Ursachen, Bedeutung, Lösungswege. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH).
- RUSSELL, R. S. (1977): *Plant Root System: Their function and interaction with the soil.* McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, London.
- SCHARPF, H. C. (1977): Der Mineralstickstoffhaushalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. Diss. Universität Hannover.
- SCHARPF, H. C. (1988): Bemessung der Stickstoffdüngung heute. In: *Düngung von Gemüse.* BASF-Mitteilungen für den Landbau, 18-27.
- SCHARPF, H. C.; WEHRMANN, J. und LIEBIG, H. P. (1986) Ernährung und Düngung. In: KRUG, H.: *Gemüseproduktion.* Paul Parey, Berlin-Hamburg.



- SCHARPF, H. C. (1991): Stickstoffdüngung im Gemüsebau. AID Heft 1223.
- SCHARPF, H. C. und BAUMGÄRTEL, G. (1994): Fachgerechte Stickstoffdüngung: schätzen, kalkulieren und messen. AID Heft 1017.
- SCHARPF, H. C. und WEHRMANN, J. (1991): Nitrat in Grundwasser und Nahrungspflanzen. AID Heft 1136.
- SCHARPF, H. C. und WEIER, U. (1994): Kalkulatorische Ermittlung des N_{\min} -Sollwertes im Gemüsebau unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffimmobilisierung bzw. -fixierung. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **157**, 11-16.
- SCHENK, M. K. und BARBER, S. A. (1980): Potassium and phosphorus uptake by corn genotypes grown in the field as influenced by root characteristics. Plant Soil **54**, 65-76.
- SCHULZE, R.; UNGER, H. und KÖRBS, P. (1989): Möglichkeiten zur Bestimmung des Penetrationsvermögens der Pflanzenwurzeln und der Perforationsleistung mittels Wachsschichten. Erste Ergebnisse aus Labormodellversuchen. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd. **33**, 759-766.
- SCHWARZ, K. U. (1988): Untersuchungen zur Entwicklung einer Serienmethode für die Bestimmung wurzelmorphologischer Merkmale als Grundlage der Selektion auf Ertragshöhe und Ertragsstabilität. Dissertation Universität Kiel.
- SIDDIQUE, K. H. M.; BELFORD, R. K. und TENNANT, D. (1990): Root:Shoot ratios of old and modern, tall and semi-dwarf wheats in a mediterranean environment. Plant Soil **121**, 89-98.
- SONTHEIMER, H. und ROHMANN, U. (1984): Grundwasserbelastung mit Nitrat. Ursachen, Bedeutung, Lösungswege. GWF-Wasser **125**, 599-608.
- SPENCER, J. T. A. (1940): A comparative study of the seasonal root development of some inbred lines in hybrid of maize. J. Agric. Res. **61**, 521-538.
- STAVER, K. W. und BRINSFIELD, R. B. (1990): Patterns of soil nitrate availability in corn productions system: Implication for reducing ground water contamination. J. Soil Water Conserv. **45**, 318-322.
- STEINGROBE, B. und SCHENK, M. K. (1994): Wurzelverteilung von Kopfsalat und Möglichkeiten der Düngerplatzierung sowie N-Bevorratung des Pflanzballens zur Erhöhung der Düngereffizienz. Gartenbauwissenschaft, **59**, 167-172.
- STREBEL, O. und DUYNISVELD, H. M. (1989): Nitrogen supply to cereals and sugar beet by mass flow and diffusion on a silty loam soil. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **152**, 135-141.
- TENNANT, D. (1975): A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol. **63**, 995-1001.

- THIRAPORN, R.; GEISLER, G. und STAMP, P. (1987): Effects of nitrogen fertilization on yield and yield components of tropical maize cultivars. *J Agron. Crop Sci.* **159**, 9-14.
- TROUGHTON, A. und WHITTINGTON, W. J. (1968): The significance of genetic variation in root system. In: "Root Growth" (Whittington, W. J., ed.), pp. 296-314. Butterworth, London.
- TAYLOR, H. M. (1980): Modifying root systems of cotton and soybean to increase water absorption. In: *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* (Turner, N.C.; Kramer, P. J., eds.), pp. 75-84. John Wiley and Sons, New York.
- ÜLGER, A. C. (1986): Reaktion verschiedener Mais- Inzuchtlinien und -Hybriden auf steigendes Stickstoffangebot. Dissertation Universität Hohenheim.
- Van NOORDWIJK, M. und De WILLIGEN, P. (1986): Quantitative root ecology as element of soil fertility theory. *Netherlands Journal of Agric. Sci.* **34**, 273-281.
- Von KESSEL, W. -Chr. (1991): Reihendüngung - ein Verfahren mit Zukunft ? *Zuckerrübe.* **40**, 268-274.
- WEHRMANN, J. und SCHARPF, H. C. (1987): Sachgerechte Stickstoffdüngung - schätzen, kalkulieren, messen. *AID-Heft* 1017.
- WEHRMANN, J. (1984): Auswaschung von Nitraten aus Böden mit Gemüsebau. In: HESPELER, O. und HENTSCHEL, G. (eds): *Blickpunk Nitrat.* Beilage zu *Gartenbau Report* **10**, XIV-XVII.
- WERNER, G. (1983): Die Entwicklung der Nitratkonzentrationen in der von der Landeswasserversorgung genutzten Grundwasservorkommen in den letzten 50 Jahre. *LW-Schriftenreihe* 3, Zweckverband Landeswasserversorgung, Stuttgart.
- WIERSUM, L. K. (1962): Uptake of nitrogen and phosphorus in relation to soil structure and nutrient mobility. *Plant Soil* **16**, 62-70.
- WIESLER, F. (1991): Sortentypische Unterschiede im Wurzelwachstum und in der Nutzung des Nitratangebots des Bodens bei Mais. Dissertation Universität Hohenheim.
- WIESLER, F und HORST, W. J. (1994): Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. *Plant and Soil* **163**, 267-277.
- ZOBEL, R. W. (1986): Rhizogenetics (Root Genetics) of vegetable crops. *HortScience* **21**, 956-959.

VII. ANHANG

Tab. 9: Untersuchten Kopfsalatsorten

Nr.	Sorte	Herkunft, Züchter
1	Tannex	Jos Huizer Zaden
2	Ovation	Enza Zaden
3	Charan	Zwaan Pannvis
4	Libusa	Rijk Zwaan
5	Soraya	Rijk Zwaan
6	Siletta	Leen de Mos
7	Pandorian	Zwaan Pannvis
8	Prosper	Enza Zaden
9	1674	Rijk Zwaan
10	Sprinter	Rijk Zwaan
11	Mirian	Zwaan Pannevis
12	Stephanie	Enza Zaden
13	Clarion	Enza Zaden
14	Savian	Zwaan Pannevis
15	Daphne	Enza Zaden
16	Fleur	Enza Zaden
17	Votan	Zwaan Pannevis

DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. W.J. Horst danke ich ganz herzlich für die Überlassung des Themas, die Unterstützung, die mir entgegengebrachte große Geduld und die großzügig gewährte Zeit während der Fertigstellung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. H.-J. Wiebe danke ich für die Übernahme des Korreferates und das Interesse an dieser Arbeit.

Von unschätzbarem Wert während der Versuche und der Ausarbeitung der Ergebnisse war die Unterstützung durch Herrn Dr. F. Wiesler. Für seine Hilfsbereitschaft und anregenden Diskussionen bedanke ich mich ganz herzlich.

Allen Kollegen im Institut für Pflanzenernährung danke ich für ihre Freundschaft, das gute Arbeitsklima und die Hilfsbereitschaft während meiner Arbeit.

Weiterhin danke ich allen Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenernährung für ihre Mithilfe bei der Feld- und Laborarbeit.

Das langjährige Studium in Deutschland wäre nicht zu verwirklichen gewesen, ohne ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD), wofür ich mich bedanken möchte.

Letztlich möchte ich mich bei meiner Frau Rina für ihr Verständnis und ihre Solidarität bedanken.

LEBENS LAUF

- Name: Ketut-Anom Wijaya
- Geburtsdatum: 17. Juli 1958
- Geburtsort: Jembrana, Bali
- Staatsangehörigkeit: Indonesisch
- Eltern: Nengah Sutri, Hausfrau
Gede Rebek, Landwirt
- Schulbildung: 1964 bis 1970 Grundschule (SD Negeri) in Manistutu, Jembrana, Bali
1971 bis 1973 Allgemeine Mittelschule (SMP Negeri) in Negara, Jembrana, Bali
1973 bis 1976 Gymnasium (SMA Negeri) in Negara, Jembrana, Bali
- Studium: 1978 bis 1983 Studium der Agrarwissenschaften an der Universität Gajah Mada, Yogyakarta
Abschluß: Agrar Ing.
- Berufliche Tätigkeit: 1985 bis 1989 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenbau der Universität Bengkulu
- 1989 bis 1991 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenbau der Universität Jember
- seit April 1992 bis Juni 1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenernährung der Universität Hannover, Durchführung der vorliegenden Arbeit