Gartenbauwissenschaft, **65** (2). S. 102–106, 2000, ISSN 0016–478X. © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Hydro-physikalische Gewebeeigenschaften von Kohlrabiknollen (*Brassica oleracea* var. *Gongylodes* L.)

Hydro-Physical Tissue Characteristics of Kohlrabi Tubers (*Brassica oleracea* var. *Gongylodes* L.)

F. Lippert
(Institut für Obstbau und Gemüsebau der Universität Bonn)

Zusammenfassung

Kohlrabiknollen wurden in 15 verschiedene Bereiche aufgeteilt, die sowohl einer akropetalen als auch einer radialen Segmentierung entsprechen. Von diesen Gewebesegmenten wurde jeweils der Wasserzustand charakterisiert. Während der Turgordruck in radialer Richtung vom inneren Markparenchym bis zur Epidermis hin abnimmt, findet sich ein Gefälle vom Apex in basipetaler Richtung, welches im Gefäßbündelring und im Rindenparenchym am ausgeprägtesten ist. Diese Unterschiede gehen sowohl auf die osmotischen Potentiale als auch auf die Wasserpotentiale zurück. Der zentrale Apex weist die höchste Extensibilität der Zellwände auf, was in dem hohen Anteil an meristematischem Gewebe in diesem Knollenbereich begründet ist. Die Dehnung bzw. Volumenzunahme in diesem Knollenbereich ist erwartungsgemäß zu einem ca. 30% höheren Anteil irreversibel als in der Peripherie. Die Folgen für spezifische Wachstumsvorgänge sowie Qualitätsentwicklungen werden diskutiert.

Summary

Kohlrabi tubers were partitioned into 15 different samples corresponding to both an acropetal and a radial segmenting. The water relations were characterized in these tissue segments. In the radial direction turgor pressure decreases from 0,91 MPa in the internal parenchyma to 0,035 MPa in the epidermis; a general downward gradient in turgor pressure was observed in the basipetal direction which was clearest in the cortex. These differences in hydrostatic pressures were mainly due to those in ψ_π. The central apex shows the highest extensibility with 0,52 $cm^3h^{-1}MPa^{-1}$, the lowest was measured in epidermal tissue (0,07 $cm^3h^{-1}MPa^{-1}$) located also in the apical tuber third. In this tuber area additionally the tissue expansion remains irreversible to a much higher degree than in the basal tuber part. Cells were less elastic (reversible) in peripheric tissues than in inner parenchyma. The consequences for growth and quality characteristics of kohlrabi tubers were discussed.

Einleitung

Kohlrabi zeichnet sich durch einen sehr hohen Wassergehalt aus, wodurch viele qualitative Eigenschaften maßgeblich beeinflußt werden. Dabei stellt die Turgeszenz der Knolle eine der wichtigsten Eigenschaften dar. Sie bestimmt unter anderem den Frischegrad sowie die Konsistenz des Knollengewebes. Darüber hinaus hat der Turgor auch eine zentrale Bedeutung für das Wachstum. Durch sekundäres Dickenwachstum erfährt der Sproß dieser Kohlform eine abnorme Volumenzunahme, die zu einem großen Teil auf Zellstreckung zurückzuführen ist (Orsos 1941). Diese ist ohne Turgordruck unmöglich (Boyer 1992, Cosgrove 1993). Die morphologisch und funktionell verschiedenen Gewebe der Kohlrabiknolle (Gnam 1989) heben sich auch bezüglich ihrer Beteiligung an der Wachstumsdynamik sowie der Qualitätsentwicklung voneinander ab. Ohne die Kenntnis dieser Gewebeeigenschaften im einzelnen, kann auch die Ertrags- und die Qualitätsbildung dieser Sproßknolle nur unvollkommen verstanden und beeinflußt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war deswegen die Charakterisierung des Wasserzustandes einzelner Knollengewebe, um daraus Schlüsse für die Ertrags- und Qualitätsbildung ziehen zu können. Auf der Grundlage des morphologischen Aufbaus der Sproßknollen wurde eine detaillierte Analyse derjenigen Gewebeeigenschaften angestellt, die in unterschiedlicher Weise den Turgor betreffen.

Material und Methoden

Versuchspflanzen

Kohlrabi der Sorte 'Express Forcer' wurde in fünffacher Wiederholung mit je 125 Pflanzen im Freiland praxisüblich angebaut. Aus jeder Wiederholung wurden jeweils 10 homogene Pflanzen mit einem Knollendurchmesser von 70–80 mm entnommen.

Probenahme

Auf der Grundlage histologischer Untersuchungen wurden diese Sproßknollen in 15 verschiedene Bereiche unterteilt (Abb. 1). Dabei kam es darauf an, die Aufteilung sowohl in axialer als auch in radialer Richtung vorzunehmen. Aus diesem Grund wurden im axialen Abstand von 10 mm aus den ganzen Knollen jeweils drei Scheiben als Querschnitte von ca. 5 mm Dicke entnommen. Somit war ein basaler, ein äquatorialer und ein apikaler Bereich definiert. Jede dieser Scheiben wurde in fünf weitere radial angeordnete Bereiche aufgegliedert. Die Proben wurden entsprechend der Versuchsanordnung auf dem Feld in fünf Wiederholungen

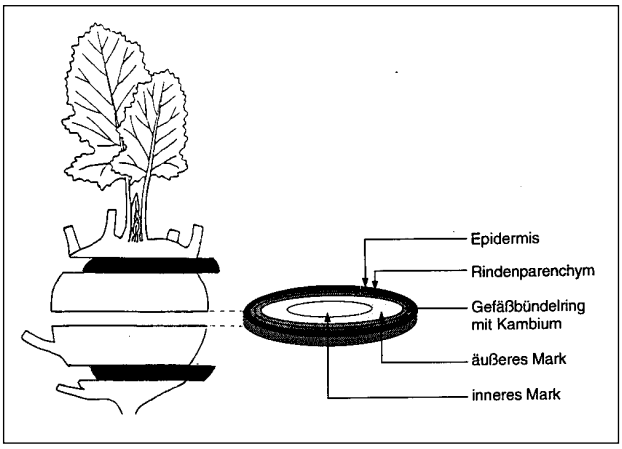


Abb. 1. Probenahme aus einer Kohlrabiknolle.
Tissue sampling in kohlrabi tubers.

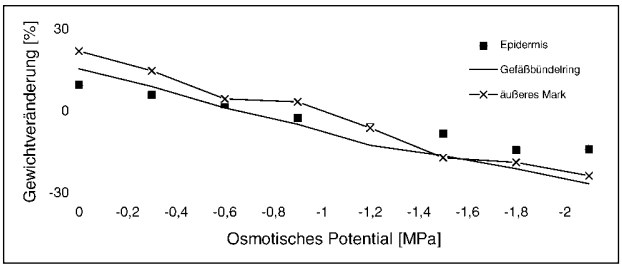


Abb. 2. Beziehung zwischen dem osmotischen Potential der Immersionslösung und Gewichtsveränderungen der Gewebeproben (äquatorialer Bereich).
Relation of osmotic potential of the immersion solution and weight changes of tissue samples.

zusammengefaßt, indem sie zu Mischproben vereinigt wurden.

Während die Epidermis von der Knolle abgezogen werden konnte, wurden die übrigen Schichten mit einer Rasierklinge ringförmig von den vorher angefertigten Querschnitten abgetragen. Um Unterschiede deutlicher zu machen, wurde zwischen diesen Geweben jeweils einige Zellagen verworfen.

Statistische Verrechnung

Nach einer Prüfung auf Normalverteilung wurden die Analysenwerte einer einfaktoriellen Varanzanalyse unterzogen. Bei signifikanten F-Werten erfolgte ein Mittelwertvergleich nach Newman-Keuls mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% (MUNZERT 1992).

Analysen

Wasserpotential (ψ): Für die Bestimmung des Wasserpotentials wurden vorgewogene Gewebestücke aus derselben Mischprobe in Mannit-Lösungen unterschiedlicher Osmolalität inkubiert und nach 60 min die Gewichtszu- bzw. -abnahme nachgewogen (SCHOPFER 1986). Gleichförmige Gewebestücke von 1 mm Schichtdicke wurden mit einem speziellen Hobel angefertigt.

Abbildung 2 zeigt für den äquatorialen Bereich einer Kohlrabiknolle die Beziehung zwischen Gewichtsveränderung einzelner Gewebe und osmotischem Potential der Inkubationslösung.

Osmotisches Potential (ψ_π): Das osmotische Potential wurde aus dem Preßsaft von Gewebestücken ermittelt, die direkt nach der Probenahme in 1,5 ml Reaktionsgefäßen (Fa. Eppendorff) in flüssigem N_2 schockgefroren und zur Analyse wieder aufgetaut wurden. Mit Hilfe eines Dampfdruck-Mikro-Osmometers (Fa. Wescor, Typ 5500 XR) wurde der osmotische Wert bestimmt, nachdem der Zellsaft durch Zentrifugation gewonnen wurde.

Auf der Grundlage der VAN'T HOFF'schen Beziehung (TYREE und JARVIS 1982) wurde die Osmolalität in ein osmotisches Potential umgerechnet (1).

$$\psi_\pi = -c \cdot R \cdot T \qquad (1)$$

ψ_π .....Osmotisches Potential [MPa]
c .....Konzentration gelöster Stoffe [mol/l]
R .....Gaskonstante 0.008314 [l·MPa·mol^{-1}·K^{-1}]
T .....absolute Temperatur [K]

Turgor (ψ_P): Der Turgor (o. Druckpotential) wurde aus der Differenz von Wasserpotential und osmotischem Potential abgeschätzt (2).

$$\psi_P = \psi - \psi_\pi \qquad (2)$$

ψ_P .....Turgor [MPa]
ψ.....Wasserpotential [MPa]
ψ_π .....osmotisches Potential [MPa]

Zellwandelastizität: Die elastische Dehnbarkeit der pflanzlichen Zellwand kann durch das volumetrische Elastizitätsmodul (ε) quantitativ beschrieben werden. Es entspricht der Änderung des Turgordruckes, welcher für die relative Zellvolumenänderung dV/V erforderlich ist (KUTSCHERA and BRIGGS 1987). Somit kann ε ebenfalls aus der Druck-Volumen-Beziehung (Abb. 2) bestimmt werden, denn die Steigung der Kurve im linearen Bereich ($\psi_P > O$) ist eine Funktion des Elastizitätsmoduls (3).

$$\varepsilon = d\pi_p \cdot \frac{V}{dV} \qquad (3)$$

ε .....Elastizitätsmodul [MPa]
$d\pi_p$ .....Änderung des Turgordruckes [MPa]
V .....Volumen [m^3]
dV .....Änderung des Volumens [m^3]

Anstelle des Volumens wurde die Wasseraufnahme an Gewebestücken mit Hilfe der Gewichtsveränderung festgestellt.

Extensibilität (Dehnung): Definition und Messung der Extensibilität läßt sich aus der Wachstumsgleichung von Lockhart ableiten (COSGROVE 1986, LOCKHART 1965). Der Dehnungskoeffizient stellt im Unterschied zu ε eine zeitabhängige Größe dar. Indem eine nicht begrenzende Wasserleitfähigkeit der Zellmembranen unterstellt wird (SCHOPFER 1986), ergibt sich folgende Beziehung (4):

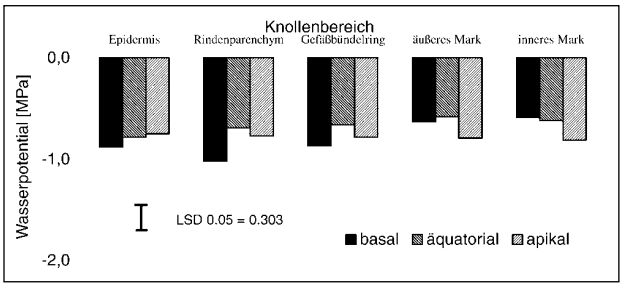


Abb. 3. Wasserpotential innerhalb der Sproßknolle von Kohlrabi.
Water potential within kohlrabi tubers.

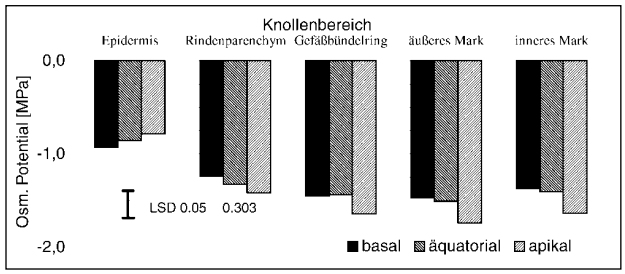


Abb. 4. Osmotisches Potential innerhalb der Kohlrabiknolle.
Osmotic potential within kohlrabi tubers.

$$\frac{dV}{dt} = m \cdot (\psi_P - Y) \qquad (4)$$

m .....Dehnungskoeffizient [g h^{-1} MPa^{-1}]
Y .....Turgorgrenzwert [MPa]
ψ_P .....Turgor [MPa]
dG .....Gewichtsänderung [g]
dt .....Zeitintervall [sec]

Die Extensibilität kann ebenfalls aus den Immersionsversuchen abgeleitet werden, indem die druckabhängige Gewichtsveränderung zusätzlich auf die Zeit bezogen wird. Dadurch wurde die Bestimmung von m und Y entbehrlich.

Elastische und plastische Zellwanddehnung: Ebenfalls mit Hilfe von Immersionsversuchen wurden die Anteile reversibler (elastischer) und irreversibler (plastischer) Volumenveränderungen von Gewebeproben untersucht (EDELMANN and KÖHLER 1995). Dabei wurden die streifenförmigen Gewebeproben (2×5 mm) 6 Stunden in destilliertem Wasser inkubiert. Vor der Immersion wurden die Proben mit Hilfe eines Lineals (Auflösung 0,1 mm) vermessen. Nach der Immersion erfolgte eine zweite Messung bei vollturgeszentem Gewebe und eine dritte Messung bei Turgor $\psi_P = 0$ MPa. Der Turgor im Gewebe wurde durch Gefrieren und anschließendes Auftauen auf 0 MPa reduziert.

Ergebnisse

Wasserpotential

Die ermittelten Werte schwanken zwischen den Extremen von –1,02 MPa im basalen Rindenparenchym und –0,59 MPa im inneren, basalen Mark. Sie stellen sich insgesamt, wie aus Abbildung 3 hervorgeht, als homogen dar. In axialer Richtung nehmen die Potentiale zum Apex hin zu. Dies trifft für die Epidermis, das Rindenparenchym und den Gefäßbündelring zu. Indessen zeigen die zentralen Markgewebe eine umgekehrte Tendenz, indem im Apex niedrigere Potentiale zu verzeichnen sind als im äquatorialen und im basalen Bereich der Kohlrabiknolle. Die geringsten Wasserpotentiale konnten in den äußeren Knollenbereichen festgestellt werden. Besonders deutlich zeigt sich dies im basalen Knollendrittel, während im apikalen und äquatorialen Knollendrittel dieser radiale Gradient nicht abzusichern ist.

Osmotisches Potential

Das osmotische Potential ist mit –1,7 MPa im äußeren Mark des apikalen Drittels am niedrigsten. Das höchste osmotische Potential, läßt sich mit –0,8 MPa in der Epidermis derselben Knollenebene nachweisen (Abb. 4). In den vier inneren Knollenbereichen besteht ein axialer Gradient. In diesen Zonen besteht im basalen Drittel das höchste Potential, das zum Apex hin abnimmt. In der Epidermis ist der Verlauf umgekehrt, indem das Gewebe im basalen Bereich das niedrigste Potential aufweist, welches in apikaler Richtung zunimmt. Im apikalen Sproßbereich sind die Zellen durch ein niedrigeres osmotisches Potential gekennzeichnet.

In radialer Richtung sind die Potentialdifferenzen geringer und nur im Falle der Epidermis signifikant. Dies gilt für dieses Gewebe in allen drei untersuchten Ebenen. Die Differenz zwischen unmittelbar benachbartem Gewebe ist zwischen dem Rindenparenchym und der Epidermis am größten und beträgt zum Beispiel im apikalen Bereich mehr als 0,9 MPa.

Turgor

Innerhalb der Kohlrabiknolle zeigen sich Differenzen im Turgordruck, die relativ größer sind als die Unterschiede des Wasserpotentials und des osmotischen Potentials . Der Turgordruck liegt zwischen 0,035 MPa in der Epidermis und 0,91 MPa im äußeren Mark, in beiden Fällen Gewebe des apikalen Knollendrittels. Innerhalb der untersuchten Gewebe läßt sich ein axialer Gradient dergestalt feststellen, daß der Turgordruck von der Basis zum Apex hin zunimmt. Hiervon abweichend verhalten sich die Epidermis und das innere Mark, die in dieser Beziehung keinerlei Tendenz aufweisen (Abb. 5). Die Druckdifferenz zwischen dem basalen und dem äquatorialen Knollendrittel ist dabei wesentlich größer als zwischen dem äquatorialen und dem apikalen Drittel.

Neben dem axialen Gradienten zeigt sich auch ein radialer Gradient, wobei die Epidermis diesbezüglich abweicht, indem die Differenz zwischen dem Abschlußgewebe und dem benachbarten Rindenparenchym in diesem Bereich am größten ist. Dies wird besonders im äquatorialen und im apikalen Knollendrittel deutlich, wo man von einem sehr drastischen Druckanstieg zum Knolleninneren hin sprechen kann. Im Gegensatz hierzu zeigt sich in der basalen Ebene ein kontinuierlicher Anstieg. In der gesamten Knolle steht nicht das zentrale, sondern das äußere Mark unter dem höchsten Turgordruck.

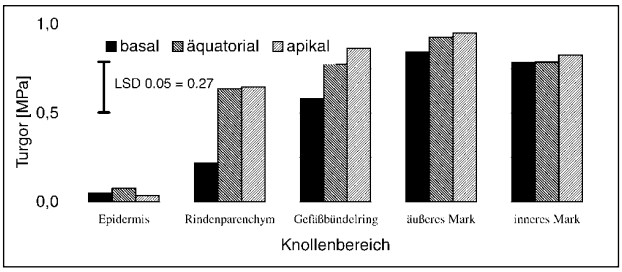


Abb. 5. Turgordruck einzelner Knollengewebe von Kohlrabi.
Turgor pressure within different tuber tissues of kohlrabi.

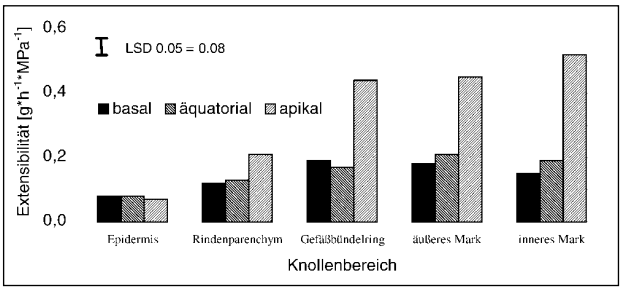


Abb. 6. Extensibilitätskoeffizient einzelner Knollengewebe von Kohlrabi.
Extensibility of different tuber tissues of kohlrabi.

Extensibilitätskoeffizient

Der Extensibilitätskoeffizient schwankt innerhalb der Knolle erheblich. Der geringste Betrag konnte mit 0,07 g h^{-1} MPa^{-1} in der Epidermis, der höchste mit 0,52 g h^{-1} MPa^{-1} im zentralen Mark festgestellt werden. Diese große Differenz beschränkt sich allerdings allein auf den apikalen Sproßabschnitt. Daraus deutet sich ein axiales Gefälle an, welches sich in abgeschwächter Form auch für die übrigen radial angeordneten Knollenbereiche erkennen läßt: in der Sproßbasis sind relativ niedrige Extensibilitätswerte zu messen, die in apikaler Richtung größer werden (Abb. 6).

Die Differenzen benachbarter Gewebebereiche sind in axialer Richtung zwischen dem äquatorialen und dem apikalen Knollendrittel am größten. In radialer Richtung zeigen sich besonders deutlich im Apex die äußeren Gewebe im Vergleich zu den inneren Geweben als weniger extensibel. Dies äußert sich in einer kontinuierlichen Zunahme bis zum höchsten Wert im äußeren Mark. Die weitaus größte Differenz in den Extensibilitäten von radial unmittelbar benachbartem Gewebe ist im apikalen Drittel zwischen dem Gefäßbündelring und dem Rindenparenchym zu erkennen. Die Beträge unterscheiden sich hier etwa um das 2-fache. Demnach ist das parenchymatische Gewebe des Markes am ehesten fähig, druckabhängig an Gewicht zuzunehmen.

Elastische und plastische Zellwanddehnung

In Abbildung 7 ist der Anteil irreversibler (plastischer) Zunahme an der Gesamtzunahme des Gewebevolumens dargestellt. Da die zur Anwendung gekommene Methode für die einzellige Epidermisschicht ungeeignet ist, sind die Werte nur für die inneren Gewebebereiche abgebildet.

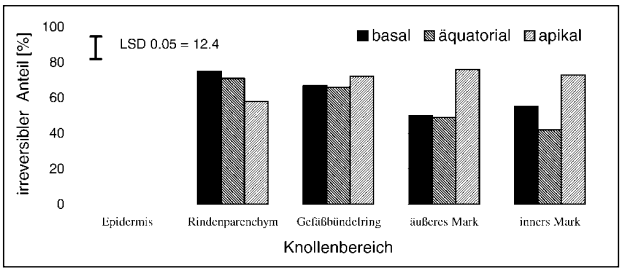


Abb. 7. Irreversibler (plastischer) Anteil an der Volumenausdehnung einzelner Gewebe der Kohlrabiknolle nach 2-stündiger Inkubation in dest. Wasser.
Irreversible increase in tissue volume of kohlrabi tubers after immersion in aqua dest for 2 hours.

Die Differenzen der Anteile plastischer Volumenzunahme zwischen den einzelnen Geweben zeigen sich in axialer Richtung uneinheitlich. Signifikante Unterschiede existieren in den zentralen Markparenchymen, wo die Volumenzunahme im apikalen Bereich zu ca. 75 % auf eine irreversible Expansion zurückgeht, in den darunter gelegenen Bereichen jedoch nur zu etwa 50 %. Der beschriebene axiale Gradient für die beiden inneren Parenchyme stellt sich andeutungsweise auch für den Gefäßbündelring dar, während im Rindenparenchym die Verhältnisse genau umgekehrt sind. Dort reagiert das basale Gewebe mit 75 % plastischem Anteil in stärkerem Maße irreversibel als im Apex, der nach der Behandlung nur 58 % als plastische Volumenzunahme ausbildet. Es zeigen sich also in axialer Richtung sehr aufschlußreiche Unterschiede, die auf verschiedene Arten der Zellwanddehnung zurückzuführen sind.

Die plastischen Anteile an der Volumenveränderung gehen vom Rindenparenchym bis zum zentralen Mark stetig zurück. Das Mark besteht aus wesentlich elastischeren Zellen als die peripheren Gewebe. Der apikale Knollenbereich zeigt dagegen geringere Differenzen. Diese lassen eher eine leichte Steigerung der plastischen Komponente zum Knolleninneren hin erkennen. Der apikale Sproßbereich reagiert also im Vergleich zum äquatorialen und basalen Sproßbereich entgegengesetzt.

Diskussion

Innerhalb der verschiedenen Pflanzenorgane ist das Wasserpotential unter sehr starkem Einfluß der sie umgebenden Gasatmosphäre (HARTGE und WIEBE 1977), wie die dargestellten Untersuchungen auch an Kohlrabiknollen bestätigen konnten. Daß die apikalen Gewebe ein deutlich niedrigeres Wasserpotential als die basalen aufweisen, ist jedoch vielmehr mit der meristematischen Aktivität dieser Knollengewebe zu erklären. COSGROVE (1986) charakterisiert meristematische, expandierende Zellen in diesem Zusammenhang dadurch, daß sie gegenüber benachbarten Geweben ein stärker negatives Wasserpotential aufweisen, wodurch der Wassereinstrom in das wachsende Gewebe gewährleistet wird. Dabei muß die sehr enge Korrelation zwischen der Plastizität der Zellwände und dem Streckungswachstum in Betracht gezogen werden (KUTSCHERA 1996) . Das niedrigere osmotische Potential in den

inneren, apikalen Geweben der Kohlrabiknollen führt nicht zu einer generellen Erniedrigung des Wasserpotentials, denn, wie die vorgestellten Untersuchungen zeigen, verformt sich das apikale Parenchym von Kohlrabi unter dem Einfluß einströmenden Wassers plastischer, also irreversibler als das darunter liegende Gewebe. Die Zellwände in diesem Bereich sind gleichzeitig sehr dehnfähig, was in der Summe zu einem Wachstum 'von innen nach außen' führt, d.h. das innere Parenchym wird in seiner Ausdehnung vom Rindenparenchym und vor allem von der Epidermis gehemmt. Basales und äquatoriales Gewebe besitzt auch im peripheren Bereich eine ähnlich hohe Plastizität wie apikales Parenchym, allerdings bei geringerer Dehnfähigkeit. Dies bestätigen Untersuchungen von EDELMANN und KUTSCHERA (1993), die am Beispiel der Sonnenblume die Epidermis als das Gewebe definieren, welches das Wachstum eines Sprosses am meisten oder sogar generell hemmt. Somit ergibt sich das Wachstum von Kohlrabiknollen außer aus der Turgeszenz des Parenchyms, besonders auch aus der Extensibilität der einzelnen am Wachstum beteiligten Gewebe, vornehmlich der Epidermis (LOESCHER und NEVINS 1973).

Für praktische Anbausituationen bedeutet dies, daß der Epidermis in unterschiedlicher Hinsicht besondere Bedeutung beigemessen werden muß. Zwar ist eine ausreichende Wasserversorgung insbesondere zur Volumenausdehnung des inneren und äußeren Markes und damit der Ertragsbildung notwendig, jedoch spielt sie vor allem eine bedeutende Rolle hinsichtlich der Wachstumsgeschwindigkeit und dem Auftreten qualitativer Mängel. Diskrepanzen im Dehnungsverhalten der inneren und äußeren Gewebe können beispielsweise zum Platzen des betroffenen Organes führen (LIPPERT 1995). GOLIAS und NEMCOVA (1984) und KOSKE et al. (1980) bringen für verschiedene Tomatensorten eine geringere Elastizität der Epidermis mit einer höheren Platzanfälligkeit in Zusammenhang. Dieser Sorteneinfluß ist für alle derartig betroffenen Pflanzenorgane zu erwarten. Für die Erhaltung einer hohen Zellwandelastizität in der Epidermis ist ein störungsfreies, kontinuierliches Wachstum notwendig. Störungen bereits im Jungpflanzenstadium führen zur 'Verhärtung' von Zellwänden mit der Folge nachhaltiger Ertrags- und Qualitätsdepressionen, wie dies LIPPERT (1997) für Kohlrabi nachweisen konnte. Somit müssen alle Produktionsverfahren, die beabsichtigt oder unbeabsichtigt eine Reduktion der Wachstumsraten zur Folge haben, in Frage gestellt werden. Dies gilt im Gemüsebau besonders für die Jungpflanzenanzucht, da in dieser Phase die physikalischen Zellwandeigenschaften des späteren Ertragsorganes bereits determiniert werden.

Weitere Untersuchungen sollen deswegen den Einfluß von Streßzuständen während der Jugendphase von Gemüsepflanzen auf die Determinierung des Ertrags- und Qualitätspotentials zum Gegenstand haben.

Literatur

BOYER J. S. 1992: Walls, water and solute in plant growth. In: D. D. RANDALL, R. E. SHARP, A. J. NOVACKY, D. G. BLEVINS Hrsg., Current topics in plant biochemistry and physiology: 1–17. The interdisciplinary plant Biochemistry and Physiology Program. Columbia.

COSGROVE, D. 1986: Biophysical control of plant cell growth. Ann. Rev. Plant Physiol. **37**, 377–405.

COSGROVE, D. J. 1993: How do plant cell wall extend? Plant Physiol. **102**, 1–6.

EDELMANN, H. G. und K. KÖHLER 1995: Auxin increases elastic wall-properties in ryecoleoptiles: implications for the mechanism of wall loosening. Physiol. Plant. **93**, 85–92.

GNAM, H.-J. 1989: Untersuchungen über die Verholzung bei Kohlrabi. Dissertation Universität Hohenheim.

GOLIAS, J. und A. NEMCOVA 1984: Resistenze odrud rajeàt vuěl praskání. Acta Universitatis Agriculturae, Brnŏ, **32**: 201–208.

HARTGE, K. H. und H.-J. WIEBE 1977: Der Wasserzustand von Pflanze und Boden, sein Einfluß auf die Ertragsbildung und seine Bestimmung. Gartenbauwissenschaft **42**, 71–76.

KOSKE, T. J., J. E. PALLAS und J.B. JONES 1980: Influence of ground bed heating and cultivar on tomato fruit cracking. HortScience, **15**, 760–762.

KUTSCHERA U. und W. R. BRIGGS 1987: Differential effect of auxin on in vivo extensibility of cortical cylinder and epidermis in pea internodes. Plant Physiol. **84**, 1361–1366.

KUTSCHERA, U. 1996: Cessation of cell elongation in rye coleoptiles is accompanied by a loss of cell-wall plasticity. J. Exp. Bot. **47**, 1387–1394.

LIPPERT, F. 1995: Methode zur Induktion der Rißbildung bei Sproßknollen von Kohlrabi (Brassica oleracea var. gongylodes L.). Gartenbauwissenschaft **60**, 187–190.

LIPPERT, F. 1997: Das Platzen von Kohlrabi – ein Problem der Jungpflanzenanzucht Gemüse **33**, 404–407.

LOCKHART, J. A. 1965: An analysis of irreversible plant cell elongation. J. Theor. Biol. **8**, 264–275.

LOESCHER, W. H. und D. J. NEVINS 1973: Turgor-dependent changes in Avena coleoptile cell wall composition. Plant Physiol. **52**, 248–251.

MUNZERT, M. 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Pareys Studientexte. Verlag Paul Parey, Berlin.

ORSOS, O. 1941: Die Gewebeentwicklung bei der Kohlrabiknolle. Flora **35**, 6–20.

SCHOPFER, P. 1986: Experimentelle Pflanzenphysiologie. Bd. I, 1. Auflage Springer-Verlag, Berlin: 153.

TYREE M. T. und P. G. JARVIS 1982: Water in tissues and cells. In Encyclopedia of Plant Physiology, New Series Vol. 12B (eds. O. L. LANGE, P. S. NOBEL, C. B. OSMOND und H. ZIEGLER), Springer-Verlag, Berlin,: 35–77.

Eingegangen: 16.9.1998/16.6.1999

Anschrift des Verfassers: F. Lippert, Institut für Obstbau und Gemüsebau der Universität Bonn, Auf dem Hügel 6, 53121 Bonn.