

Lehrstuhl für Gemüsebau der Technischen Universität München

## **Einfluss der Wasserversorgung auf biomorphologische und pflanzenphysiologische Merkmale von Tomatenjungpflanzen in Holzfasersubstrat**

N. Gruda und W.H. Schnitzler

(Eingegangen am 29.06.2000)

### **Summary**

#### **The Effect of Water Supply on Bio-morphological and Plant-physiological Parameters of Tomato Transplants Cultivated in Wood Fiber Substrate**

Recently the use of the mixture with wood fiber substrates for cultivation of vegetable transplants has received increasing attention. Several experiments were conducted to investigate the effect of water supply on bio-morphological and plant-physiological parameters of tomato transplants cultivated in pure wood fiber substrates in order to optimize cultivation.

Optimal growth of transplants in these substrates requires high moisture levels. Comparing time-dependent with water-tension-dependent irrigation ( $\phi = -30$  hPa) showed that almost identical bio-morphological plant characteristics were achieved. In an ebb/flood system, irrigation pulses are recommended at  $\phi = -30$  hPa for better leaf morphological parameters and optimal root development of tomato transplants in a coarse substrate. Measurements of free proline in plants grown under these irrigation levels support these results.

Critical water tension for irrigation pulses and content of free proline in tomato transplants were closely correlated ( $r^2=0,95$ ).

### **Einleitung**

Der stetige Abbau ökologisch bedeutsamer Torflagerstätten und die allgegenwärtige Abfallproblematik zwingen auch die Gartenbauwirtschaft zu einem nachhaltigen Umdenkprozess. Die zeitweise Torfknappheit durch den feuchten Sommer 1998 hat zusätzlich weitere Impulse zur intensiven Suche nach alternativen Torfersatzstoffen gegeben. Der Trend sollte zur Nutzung natürlicher Reserven und nachwachsender Rohstoffe gehen.

Substrate auf Holzbasis werden bereits seit einigen Jahren im Bereich Zierpflanzenbau, Baumschule sowie Gemüsebau verwendet (BOHNE et al., 1998; GERBER et al., 1999; LEMAIRE et al., 1989; PENNINGSFELD, 1992; SCHNITZLER et al., 1997). In letzter Zeit hat die Verwendung von Holzmischsubstraten auch für die Anzucht von Gemüsejungpflanzen Beachtung gefunden, vor allem als Komponenten in Torfsubstraten. Die Akzeptanz solcher Substrate setzt Technologien für eine angepasste Kulturführung voraus, bei der die Wasserversorgung eine wichtige Rolle spielt (GRUDA, 1999).

Substrate auf Holzfaserbasis haben ein weit niedrigeres Wasserspeichervermögen als torfhaltige. Bei gleicher Bewässerungsstrategie ist mit eingeschränktem Pflanzenwachstum zu rechnen.

Ein solch suboptimales Pflanzenwachstum ist nicht durch einen einzelnen Prozess charakterisiert, da das Pflanzenwachstum das Ergebnis vieler integrierter physiologischer und biochemischer Prozesse ist (HEUER, 1994).

Bei starkem Wassermangel schließen die Pflanzen die Spaltöffnungen der Blätter zur Minimierung von Wasserverlusten durch Transpiration. Als Folge verändert sich das Wasserpotential der Pflanzen sowie der Turgor der Zellen (REID et al., 1991). Die Pflanze versucht durch morphologische Veränderungen zu reagieren, indem sie eine niedrigere Blatt- und eine höhere Wurzelmasse ausbildet. Beim Auf-

treten sehr starker Wasserdefizite verringert sich jedoch auch die Wurzelentwicklung (HARTUNG, 1996). Da aber zugleich die  $\text{CO}_2$ -Assimilation in den Blättern verringert wird, tritt eine Störung wichtiger Stoffwechselprozesse, vor allem der Photosynthese auf. Als Folge kommt es zu gravierenden Veränderungen des Pflanzenwachstums bis hin zur Ertragsreduzierung (BRUNOLD et al., 1996; HSIAO, 1973; PUGNAIRE et al., 1994; RABE, 1990).

Auf molekularer Ebene reagieren die Pflanzen unter anderem mit einer Akkumulation von Zucker und freien Aminosäuren im Zellsaft und mit Prolinreicherung im Pflanzengewebe als Antwort auf Dehydration durch Wassermangel sowie Anstieg des osmotischen Potentials (HEUER, 1994; VERMA et al., 1993). Eine Anreicherung von freiem Prolin mit zunehmender Trockenheit im Wurzelraum wurde mehrfach an verschiedenen Pflanzen beobachtet (LEVY, 1980; STEWART und HANSON, 1980; ASPINALL und PALEG, 1981; STEWART, 1981; PAHLICH et al., 1982; RABE, 1990; ARGANDONA und PAHLICH, 1991; REID et al., 1991; RÖBER und HORN, 1993; TORRECILLAS et al., 1995; DRÜGE, 1997). Auch die Substratart übt einen Einfluss auf das Wachstumsverhalten der Pflanzen aus. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu klären, wie Gemüsejungpflanzen bei der Anzucht in Holzfasersubstrat (HFS) auf unterschiedliche Substratfeuchte reagieren. Darüber hinaus sollen Untersuchungen zu biomorphologischen und physiologischen Veränderungen während des Wachstums von Gemüsejungpflanzen in HFS Aufschluss geben. Dabei sind die Zusammenhänge zwischen Wasserversorgung und Prolingehalt interessant zur möglichen Früherkennung von Pflanzenstress.

### **Material und Methoden**

#### **Versuchsbehandlungen und -termine**

Ein Überblick über die Versuchsbehandlungen und -termine ist Tab. 1 zu entnehmen. Für die Anzucht von Jungpflanzen wurde Toresa spezial (Ts) verwendet, ein HFS mit einer groben Struktur (Intertoresa, Schweiz).

Die Versuche fanden auf 12 abgeteilten Ebbe-Flut-Tischflächen, die getrennt mit Nährlösung versorgt wurden, statt. In den Versuchen 1-2 standen dabei alle Pflanzen einer Variante auf einer Tischfläche und wurden durch Anstauen mit Nährlösung behandelt. Im Gegensatz dazu wurde bei Versuch 3 die Bewässerung von der Düngung getrennt. Die ermittelten Matrixpotentiale im Substrat Ts bei zeitabhängiger Bewässerung sind Abb. 1 zu entnehmen. In der letzten Versuchswoche wurden die Bewässerungsschaltpunkte (BSP) bei Variante 3 von -150 auf -100 hPa und bei Variante 4 von -300 auf -200 hPa erhöht.

Als Steuerungsgerät für die Bewässerung diente ein Multi-Rain der Fa. Staudinger (Kronwieden/Loiching). Wenn ein Tensiofühler (Typ S80, Bambach, Geisenheim) Wasser anforderte, wurde 5 min Nährlösung in die jeweilige Wanne gepumpt. Um den Kontakt zwischen Tensiometerzelle und Substrat sicher zu stellen, wurde bei Versuchsbeginn einmal manuell bewässert. Die Datenerfassung erfolgte mit Hilfe elektronischer Tensiomter (eines pro Variante in jeder Wiederholung) und einem Datalogger Typ DT 500 der Fa. Dr. Seitzner System und Sensortechnik GmbH. Die Daten wurden anschließend in

Tab. 1: Versuche zum Einfluss des Bewässerungsschaltpunktes auf das Wachstum von Tomatenjungpflanzen.

Versuch	Behandlungen	Termine	Pflanzenanzahl je Variante und Wiederholung
Versuch 1	Bewässerungsschaltpunkt:		
	1. -30 hPa	(1) 22.05.1995	30
	2. -50 hPa	(2+3) 12.06.1995	
	3. -70 hPa	(4) 10.07.1995	
4. -110 hPa			
Versuch 2	Bewässerungsschaltpunkt:		
	1. 0 hPa	(1) 12.08.1996	30
	2. -30 hPa	(2) 28.08.1996	
	3. -50 hPa	(3) 29.08.1996	
	4. -70 hPa	(4) 25.09.1996	
5. -110 hPa			
Versuch 3	Bewässerungsschaltpunkt:		
	1. Zeitabhängig (Manuelle Bewässerung: erste Woche 1x pro Tag, zweite Woche 2x pro Tag, dritte Woche 3x pro Tag)	(1) 20.03.1997	30
	2. -30 hPa	(2+3) 09.04.1997	
	3. -150/-100 hPa	(4) 30.04.1997	
4. -300/-200 hPa			

(1) Aussaat, (2) Umtopfen, (3) Versuchsbeginn, (4) Versuchsende. Jeder Versuch fand in drei Wiederholungen statt.

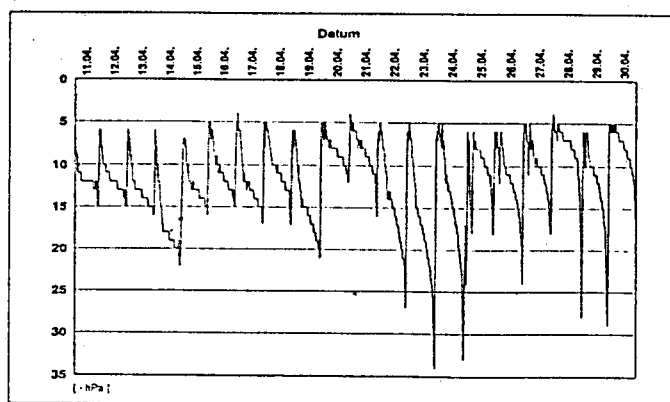


Abb. 1: Matrixpotential [-hPa] der zeitabhängigen Bewässerung vom 11.-30.04.1997 (Versuch 3). Mittelwerte von drei Wiederholungen.

einen PC übertragen. Der Datalogger war so konfiguriert, dass alle 5 min abgelesen wurde. Halbstündig wurde ein Mittelwert dieser Messungen gebildet und gespeichert.

#### Versuchsstandorte

Die Pflanzenversuche fanden in einer Gewächshausabteilung der Versuchsanlage Dümast, Lehrstuhl für Gemüsebau der Technischen Universität München, statt. Die Gewächshäuser (Normgewächshaus Fa. Fried) sind Nord-Süd ausgerichtet, die Tische in den Häusern in Ost-West-Richtung. Das Gewächshaus ist mit Seiten- und Dachlüftung sowie mit einer vollautomatischen Steuerung für die Heizung, Lüftung und Bewässerung ausgerüstet. Zur Klimatisierung der Gewäch-

hauskammer stand ein Steuerprogramm mit Datenerfassung der Fa. Kriwan zur Verfügung. Die Dachlüftung wurde 4 °C und die Seitenlüftung 2 °C über Raumtemperatur eingestellt.

#### Pflanzenmaterial und Kulturführung

Die Versuche wurden mit Tomaten (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. ex Farw.) der Sorte 'Creon' F<sub>1</sub> von Fa. Enza durchgeführt. Die Aussaat erfolgte in Vefi-Zapfencontainern (160er Platte); es wurde nur jeder zweite Topf belegt. Eine Düngung fand gleich nach der Keimung statt, unter Berücksichtigung der Empfehlungen von BASOCU und NICOLA (1993). Die Keimlinge wurden dann in 9x9x9 cm Kunststofftöpfe (Fa. Pöppelmann) umgetopft und auf den Tischen in randomisierten Blöcken in 3-facher Wiederholung nach Varianten verteilt.

In der Keimphase wurde eine Temperatur von 24 °C konstant gehalten. Nach dem Keimen wurde die Temperatur schrittweise auf 22 °C gesenkt und bis zum Umtopfen beibehalten. Danach wurde eine Lufttemperatur von 20/18 °C (Tag/Nacht) und eine relative Luftfeuchte von 80% eingestellt.

Zur Versorgung der Pflanzen wurde Freisinger Leitungswasser (18,2 °gGH, 16,4 °dKH, pH 7,1) verwendet. Die Einstellung der gewünschten EC-Werte in den Sammelbehältern erfolgte durch eine Dosatron-Dosierpumpe für alle Ebbe/Flut-Tische, so dass eine Gleichbehandlung gewährleistet war. Als Dünger dienten Flory Basisdünger 1 (0 % N; 14 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 38 % K<sub>2</sub>O; 5 % MgO) und Florymonid (34,8 % N) der Fa. Eufloor. Während des Versuches wurde ein pH-Wert von 5,5-6,5 und ein EC-Wert von 2,5-3,5 mS cm<sup>-1</sup> eingestellt. EC- und pH-Werte wurden zweimal pro Woche überprüft und bei Bedarf korrigiert.

#### Erfassung der biomorphologischen Pflanzenmerkmale

Die biomorphologischen Merkmale der Tomatenjungpflanzen wurden zur Zeit der Öffnung des ersten Blütenstandes erfasst (KRUG, 1991): *Blattzahl* (BZ), es wurden nur die Blätter mit einer Mindestgröße von 2 cm Länge gezählt. Die Keimblätter sowie die eventuell vorhandenen Blüten wurden vor der Bonitur entfernt und bei allen gemessenen Parametern nicht berücksichtigt. *Blattfläche* (BF) in cm<sup>2</sup> Pflanze<sup>-1</sup> wurde mittels eines elektronischen Blattflächen-Messgerätes Li-3100 von Fa. Licor, Lincoln, NE-USA ermittelt (Reproduzierbarkeit: ±0,1 mm<sup>2</sup>). Die Blätter wurden mit Blattstiel aber ohne Stengel in das Gerät eingeführt. Die *Frischmasse* (FM) wurde gravimetrisch mittels Präzisionswaage Fa. Sartorius (Wägebereich bis 2200 g, Reproduzierbarkeit ±0,01 g) ermittelt. Es fand eine getrennte Bestimmung der FM-Blatt und FM-Stengel statt. Für die Bestimmungen der *Trockensubstanz* (TS) und *Trockenmasse* (TM) wurde zuerst das Pflanzenmaterial einer Variante mit einem Messer gut zerkleinert, dann wurde vom gut durchgemischten Material eine Doppelprobe entnommen. Nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz (Trockenschrank TU 60/60, Heraeus) in drei Stufen (60 °C, 80 °C und 105 °C jeweils 24 Stunden) wurde zurückgewogen. Die Trockensubstanz wurde als g/100 mg<sup>-1</sup> FM [% FM] und die TM als g Pflanze<sup>-1</sup> berechnet. In Analogie zur Frischmasse wurde die TM-Blatt und die TM-Stengel bestimmt. Da das *Wurzelwachstum* auch mit der Wasserverteilung zusammenhängt, wurde im Versuch 3 der Abstand vom Topfboden bis zum nicht durchwurzelten Bereich gemessen.

#### Prolinbestimmung

Weil die Vorbereitung der Proben zügig vorangehen sollte, wurde nur ein Teil der Varianten untersucht. Von drei Pflanzen pro Wiederholung

wurden 3 mal je 1,0 g FM des Blattes entnommen, mit einer Rasierklinge auf 7x7 mm Stücke zerkleinert, in Falcon-Röhren mit 4 ml 3%iger, wässriger 5-Sulfosalicylsäure übergossen, in flüssigem Stickstoff schockgefroren und in der Gefriertruhe aufbewahrt.

Danach folgte die weitere Aufbereitung nach BATES et al. (1973), LEVY (1980) und AMBERGER-OCHSENBAUER (1986). Nach AMBERGER-OCHSENBAUER (1986) hat auch die Tageszeit einen Einfluss auf den Gehalt an freiem Prolin. Deswegen wurden in den vorliegenden Versuchen alle Proben in der Zeit von 7.00 bis 9.00 Uhr genommen. Die photometrische Bestimmung fand bei einer Wellenlänge von 520 nm statt. Die gemessenen Absorptionswerte wurden mit Hilfe einer Eichkurve ausgewertet.

### Vorversuche zur Probenahme bei der Prolinbestimmung

Vorversuche zeigten gravierende Unterschiede im Gehalt an freiem Prolin zwischen den verschiedenen Blättern einer Pflanze (Abb. 2). In den jüngeren Blättern wurden höhere Werte ermittelt. Das Verhältnis des Gehaltes an freiem Prolin zwischen dem jüngsten und dem ältesten Blatt betrug 7,6. Als Pflanzenmaterial für die Untersuchungen in den vorliegenden Versuchen wurde das fünfjtüngste Blatt verwendet.

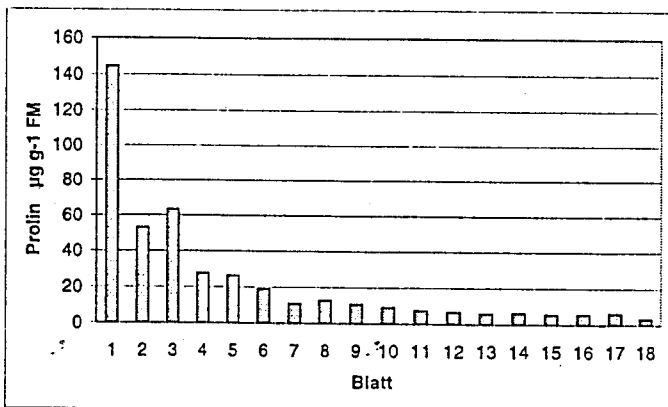


Abb. 2: Gehalt an freiem Prolin [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ] der Blätter einer Tomatenjungpflanze (1 = jüngstes Blatt).

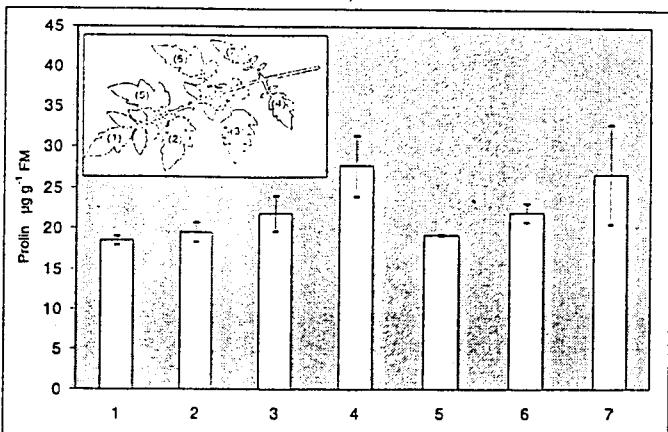


Abb. 3: Gehalt an freiem Prolin [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ] in Fiederblättchen des fünfjtüngsten Blattes einer Tomatenjungpflanze. Die senkrechten Linien geben die Standardabweichung wieder.

Die Blätter der Tomaten sind unpaarig gefiedert. Abb. 3 vermittelt den Gehalt an freiem Prolin in den Fiederblättchen. Mit  $18,5 \mu\text{g g}^{-1}$  FM war der Gehalt an freiem Prolin bei Endfiedern geringer als bei Seitenfiedern. Der höchste Gehalt wurde an den beiden letzten Seitenfiedern gemessen. Fiederblättchen vier enthielt  $27,7 \mu\text{g g}^{-1}$  und Fiederblättchen sieben  $26,8 \mu\text{g g}^{-1}$  FM. Es wurde eine sehr große Streuung der Gehalte dieser Blättchen beobachtet, was vermutlich auf die relativ kleine Blattmässe dieser Fiederblättchen zurückzuführen ist. Deswegen wurden diese Blättchen von den Stichproben vollkommen ausgeschlossen. Auch von Endfiedern wurde kein Material genommen. Es wurde ausschließlich nur mit Blattmaterial der Fiederblättchen zwei und fünf gearbeitet.

Die Ergebnisse sind abhängig von den unterliegenden Untersuchungszeitpunkten und Klima- und Wasserversorgungsbedingungen; daher sind die dargestellten Werte nicht mit denen anderer Versuche zu vergleichen.

### Statistische Auswertung

Die Daten wurden varianzanalytisch verrechnet und mit dem Tukey-Test nach KOHLER et al. (1996) auf Unterschiede geprüft. Die zugrundegelegte Irrtumswahrscheinlichkeit bei den Verrechnungen betrug 5 % ( $\alpha=0,05$ ). Entsprechend sind in den Tabellen und Grafiken die Signifikanzen mit Buchstaben dargestellt. Bei gleichen Buchstaben besteht keine signifikante Differenz zwischen den Varianten. Alle Auswertungen erfolgten durch eine vorherige Bearbeitung der Daten in Excel (Microsoft Excel, Version 7.0) und Weiterverrechnung mit dem Statistikprogramm SAS (Statistical, USA, Version 6.12). Die Zusammenhänge weiterer Einflussgrößen wurden mit Regressions- bzw. Korrelationsanalysen (nach Pearson) für die verschiedenen Varianten ermittelt (PRECHT, 1987).

### Ergebnisse

#### Biomorphologische Pflanzenmerkmale

Tab. 2 zeigt die Anzahl der Bewässerungen (Bewässerungshäufigkeiten) pro Behandlung sowie den Einfluss der Wasserversorgung auf einige Sprossmerkmale bei Tomatenjungpflanzen im HFS Toresa spezial am Versuchsende in den einzelnen Versuchsjahren.

Für die meisten Merkmale wurden Unterschiede in allen drei Versuchsjahren 1995, 1996 und 1997 zwischen den verschiedenen Wasserversorgungen festgestellt. Mit zunehmender Trockenheit nahm erwartungsgemäß die Anzahl der Bewässerungen ab. Im Jahr 1995 zeigten die Pflanzen der Feuchtevariante ( $\varphi = -30$  hPa) eine signifikant höhere Blättzahl, Blattfläche sowie Frischmasse-Blatt und -Stengel als bei einer Wasserspannung von  $\varphi = -110$  hPa. Auch bei  $\varphi = -50$  hPa wiesen die Tomatenjungpflanzen eine größere Blattfläche im Vergleich zur Wasserversorgung bei  $\varphi = -110$  hPa auf. Für das Jahr 1996 hatten die Tomaten der Variante  $\varphi = -30$  hPa mit  $185,1 \text{ cm}^2$  eine größere Blattfläche als bei  $\varphi = -110$  hPa und mit  $79,85 \text{ g}$  eine höhere FM-Blatt als die Varianten mit  $\varphi = -70$  und  $-110$  hPa. Für das Merkmal Blattzahl wurde ein Unterschied nur zwischen der ständig bewässerten Variante ( $\varphi = 0$  hPa) und einer Wasserversorgung bei  $-70$  und  $-110$  hPa festgestellt. Auf alle anderen gemessenen Merkmale hatte der BSP keinen Einfluss.

Durch eine stärkere Differenzierung der Behandlungen wurden 1997 deutlichere Unterschiede ermittelt. Kein Unterschied wurde jedoch zwischen einer zeitabhängigen Bewässerung, mit dem Ziel einer optimalen Wasserversorgung, und der Bewässerung bei  $\varphi = -30$  hPa für alle gemessenen Merkmale bei Tomatenjungpflanzen am Versuchsende festgestellt. Beide Varianten hatten eine signifikant höhere Blattzahl und FM-Blatt als die trockenen Varianten ( $\varphi = -150/-100$  hPa).

Tab. 2: Einfluss der Wasserversorgung bei Holzfasersubstrat Toresa spezial auf die Anzahl der Bewässerungen und einige Sprossmerkmale bei Tomatenjungpflanzen am Versuchsende.

Variante	Anzahl der Bewässerungen	BZ	BF [cm <sup>2</sup> Pflanze <sup>-1</sup> ]	FM-Blatt [g Pflanze <sup>-1</sup> ]	FM-Stengel [g Pflanze <sup>-1</sup> ]	TM-Spross [g Pflanze <sup>-1</sup> ]
<b>1995</b>						
- 30 hPa	85	13,5 a	1679,9 a	66,96 a	40,00 a	9,77 a
- 50 hPa	59	13,1 ab	1674,4 a	64,70 ab	36,11 ab	9,30 a
- 70 hPa	48	12,8 ab	1521,6 ab	57,25 ab	33,49 ab	8,17 a
-110 hPa	37	12,1 b	1298,0 b	48,89 b	27,84 b	6,90 a
<b>1996</b>						
0 hPa	kontinuierlich	13,5 a	1922,3 ab	76,12 ab	54,53 a	8,18 a
- 30 hPa	62	13,0 ab	1985,1 a	79,85 a	55,38 a	8,90 a
- 50 hPa	34	12,9 ab	1866,9 ab	72,37 ab	53,53 a	8,06 a
- 70 hPa	32	12,6 b	1698,2 ab	63,83 b	43,91 a	7,53 a
-110 hPa	25	12,5 b	1594,4 b	62,89 b	42,73 a	7,34 a
<b>1997</b>						
Zeitabhängig	42	9,7 a	692,1 a	20,69 a	9,74 a	2,41 a
- 30 hPa	27	9,4 a	605,6 ab	18,25 a	7,88 ab	2,09 ab
-150/-100 hPa	10	9,0 b	507,2 b	13,43 b	5,62 b	1,54 b
-300/-200 hPa	5	7,2 c	204,0 c	5,16 c	1,73 c	0,59 c

BZ = Blattzahl, BF = Blattfläche, FM = Frischmasse, TM = Trockenmasse, Zeitabhängig = siehe Abb. 1. Innerhalb eines Anbauortes unterscheiden sich die Mittelwerte mit denselben Buchstaben in einer Spalte nicht signifikant. Der Tukey-Test ( $\alpha=0,05$ ) bezieht sich jeweils auf die Versuchsjahre.

und  $\varphi = -300/-200$  hPa) und eine größere Blattfläche, FM-Stengel und TM-Spross als die Pflanzen der Variante  $\varphi = -300/-200$  hPa. Alle Behandlungen zeigten im Jahr 1997 im Vergleich mit den Jahren 1995 und 1996 geringere Wachstumsmerkmale. Trotz einer Veränderung des BSP in der letzten Woche von -300 zu -200 hPa wurden bei dieser Variante Schadenssymptome beobachtet, auf Grund derer dieser Versuch früher ausgewertet wurde.

In Abb. 4 ist der Einfluss der Wasserversorgung auf die Wurzelbildung am Versuchsende für das Jahr 1997 dargestellt. Das größte Wurzelsystem wurde bei zeitabhängiger Bewässerung und einem BSP von  $\varphi = -30$  hPa ermittelt (Abstand vom Topfboden bis zur nicht durchwurzelten Substratschicht von über 7 cm), das kleinste bei einer Wasserversorgung von  $\varphi = -300/-200$  hPa (Abstand = 4,3 cm). In der trockensten Zone wurde eine Hemmung des Wurzelwachstums beobachtet.

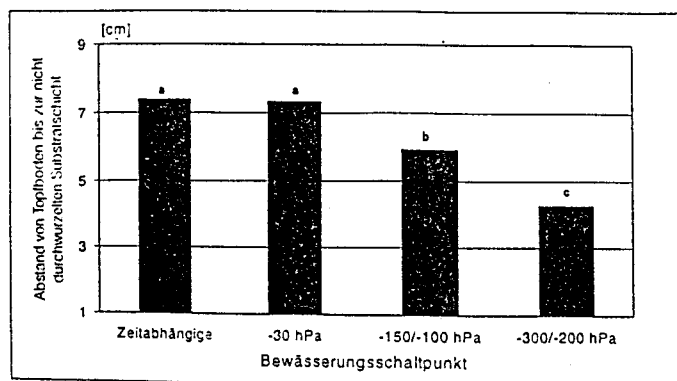


Abb. 4: Abhängigkeit der Wurzelbildung vom Bewässerungsschaltpunkt bei Tomatenjungpflanzen (Versuch 3). Zeitabhängig = siehe Abb. 1. Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. Tukey-Test ( $\alpha=0,05$ ).

#### Gehalt an freiem Prolin

Abb. 5 zeigt den Gehalt an freiem Prolin im fünftjüngsten Blatt der Tomatenjungpflanzen in Abhängigkeit von der eingestellten Wasserversorgung am 24.09.1996. Es wurden zwei Gruppen festgestellt. Zur ersten gehören die Varianten mit Prolingehalten von über 20 bis 43  $\mu\text{g g}^{-1}$ , bei denen ein Bewässerungsgang bei einer Wasserspannung von  $\varphi = 0$  bis -30 hPa gestartet wurde. In der zweiten Stufe sind die Varianten mit einer eingestellten Bewässerung von  $\varphi = -50$  bis -110 hPa, die Gehalte an freiem Prolin von 100-120  $\mu\text{g g}^{-1}$  Frischmasse Blatt aufwiesen.

Eine weitere Absenkung des Matrixpotentials im Substrat führte zu höherer Prolinanreicherung (Abb. 6). Der Gehalt an freiem Prolin im fünften Blatt der Tomatenjungpflanzen am 29.04.1997 hatte sich bei einem BSP von  $\varphi = -300/-200$  hPa im Vergleich zu den Prolinwerten der Variante  $\varphi = -30$  hPa verzehnfacht.

Eine Regressionsanalyse der beiden Versuche ergab einen engen Zu-

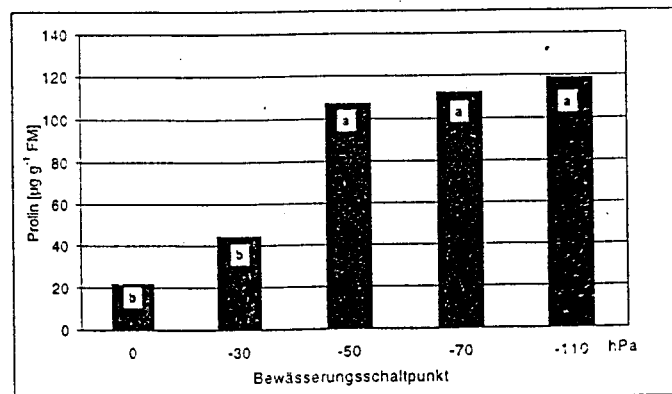


Abb. 5: Gehalt an freiem Prolin [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ] im fünftjüngsten Blatt von Tomatenjungpflanzen am 24.09.1996. Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. Tukey-Test ( $\alpha=0,05$ ).

sammenhang zwischen dem BSP und den Gehalten an freiem Prolin von Tomatenjungpflanzen ( $r^2 = 0,95$ , Abb. 7). Mit Zunahme der Trockenheit wurden höhere Gehalte an freiem Prolin im fünften Blatt von Tomatenjungpflanzen festgestellt.

Tab. 3 zeigt Korrelationen zwischen einigen biomorphologischen Merkmalen von Tomatenjungpflanzen und dem Gehalt an freiem Prolin. Der Gehalt an freiem Prolin korreliert sehr eng mit am Versuchsende gemessenen pflanzenbaulichen Merkmalen.

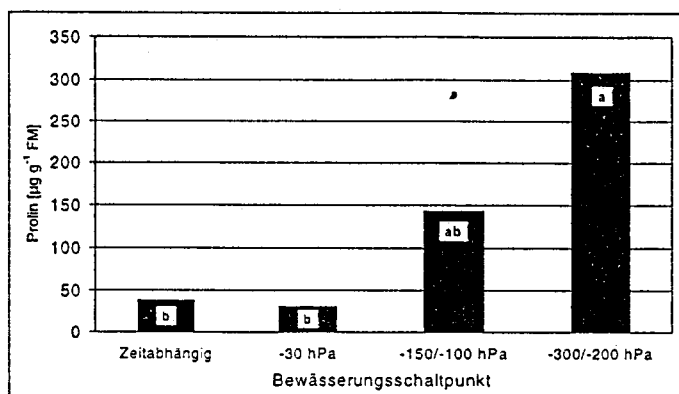


Abb. 6: Gehalt an freiem Prolin [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ] im fünftjüngsten Blatt von Tomatenjungpflanzen am 29.04.1997.

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. Tukey-Test ( $\alpha=0,05$ ).

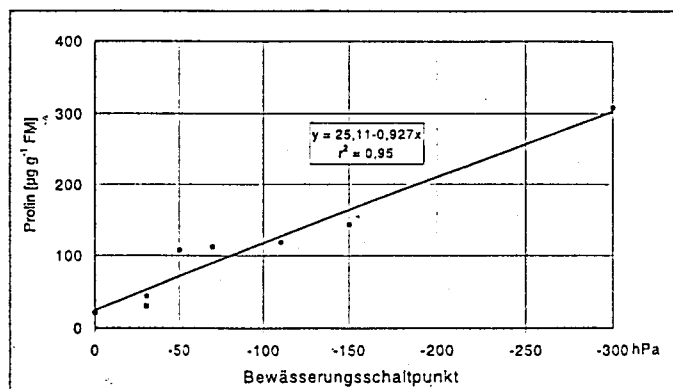


Abb. 7: Regressionsanalyse zwischen Bewässerungsschaltpunkt und Gehalt an freiem Prolin im fünftjüngsten Blatt der Tomatenjungpflanzen.

Die Datenpunkte entsprechen den Mittelwerten der jeweiligen Messungen am 24.09.1996 und am 29.04.1997.

Tab. 3: Korrelationsanalyse der biomorphologischen Merkmale und dem Gehalt an freiem Prolin. Messungen bei Tomatenjungpflanzen am 29.04.1997.

	Blattfläche	FM-Blatt	FM-Stengel	TM-Spross
Prolingehalt	-0,85 ***	-0,84 ***	-0,82 ***	-0,82 ***

FM = Frischmasse, TM = Trockenmasse. \*\*\*  $a \leq 0,001$ .

## Diskussion

### Einfluss der Wasserversorgung auf die biomorphologischen Pflanzenmerkmale

Die Bewässerungshäufigkeit in den vorliegenden Versuchen nahm mit steigender Substrattrockenheit der Varianten erwartungsgemäß stark ab (Tab. 2). Darüber hinaus stieg durch größere Pflanzen der Wasserverbrauch und somit die Anzahl der Bewässerungen in der letzten Kulturwoche besonderes stark an (Werte nicht dargestellt).

Der Wasserverbrauch der Jungpflanzen wurde nicht gemessen, da dies bei Ebbe/Flut-Systemen schwer möglich ist. Außerdem wurden die hier dargestellten Untersuchungen mit Tomaten nur in HFS durchgeführt, so dass ein Vergleich zwischen verschiedenen Substraten nicht möglich ist. Untersuchungen im Zierpflanzenbau (GERBER et al., 1999; STEINBACHER und AMBERGER-OCHSENBAUER, 1997) und in der Baumschule (BOHNE et al., 1998) zeigten, dass die Bewässerungshäufigkeit mit zunehmendem Holzanteil eines Substrates entsprechend der geringeren Wasserspeicherfähigkeit zunimmt. Die insgesamt ausgebrachte Menge der Zusatzbewässerung war aber nicht größer und zum Teil sogar kleiner als bei 100 % Torf. GERBER et al. (1999) konnten anhand von Gaswechsellmessungen nachweisen, dass die HFS durch eine Sperrschicht im oberen Bereich des Topfes und dadurch unterbrochener Kapillarität wesentlich weniger Wasser an die Umgebungsluft als die Torfsubstrate abgeben.

Die höchste FM-Blatt der Tomatenjungpflanzen wurde für alle Versuchsjahre bei einem BSP von  $\phi = -30$  hPa ermittelt. Mit steigender Trockenheit neigten die Tomatenjungpflanzen zu geringerer Frischmasse der Blätter. Interessant war, dass in den Jahren 1995 und 1996 kein Einfluss der Substratfeuchte auf die Sprosstrockenmasse bei Tomaten festgestellt wurde. Zu diesem Ergebnis kamen auch TORRECILLAS et al. (1995), sowohl für gezüchtete Tomatensorten als auch für wilde Tomaten, obwohl bei stressbehandelten Tomatensorten eine signifikante Absenkung der Blattfläche zu notieren war. Diese Reduktion der Blattfläche wurde auch in den vorliegenden Versuchen festgestellt. So wurden z.B. bei einer Wasserversorgung bis auf  $\phi = -300/-200$  hPa (Versuch 3) geringere TM-Spross als in der Kontrolle ( $-30$  hPa) ermittelt. Auch für andere pflanzenbauliche Merkmale zeigte sich verminderte Wachstumsleistung dieser Variante. Diese Unterschiede sind mit der Substratfeuchte erklärbar. Darüber hinaus lässt sich in Versuch 3 eine osmotische Wirkung nicht ausschließen, da die Nährstoffversorgung bei diesem Versuch getrennt von der Bewässerung und gleich für alle Behandlungen war. Ein Vergleich der zeitabhängigen mit der wasserspannungsabhängigen Bewässerung ( $\phi = -30$  hPa) zeigte, dass annähernd die gleichen pflanzenbaulichen Leistungen mit 42 bzw. 27 Bewässerungsgängen erzielt worden sind (Tab. 2). Der Unterschied von 15 Bewässerungen beruht auf den höheren Matrixpotentialen in der zeitabhängigen Variante (Abb. 1).

Typisch für beide Jahre blieb das gut entwickelte Wurzelsystem der Pflanzen im HFS. Beim Ebbe/Flut-System füllen sich nur in der Anstauzone die Poren eines Substrates mit Wasser. Das restliche Substrat wird über den kapillären Aufstieg des Wassers befeuchtet (LESKOVAR, 1997). Das Variieren des BSP in den Tomatenversuchen führte zu unterschiedlichen Höhen der Feuchtigkeit im Topf. Auf Grund der Anstaubewässerung konnte nur in Varianten mit höherem Matrixpotential (zeitabhängige Bewässerung oder Wasserversorgung bei einem Schaltpunkt von  $\phi = -30$  hPa) eine Durchfeuchtung des Substrates im ganzen Topf erreicht werden. Bei den anderen Varianten dagegen erreichte der Anstieg des Wassers nach oben nicht die oberen Schichten des Topfes. Deswegen war der Abstand zwischen dem Topfboden und der nicht durchwurzelten Zone bei diesen Varianten kleiner (Abb. 4) und damit das Wurzelvolumen geringer.

Eine gleichmäßigere Wurzelverteilung (bis hin zur Topfoberfläche) eines Torfballes im Vergleich zu einem HFS sehen GERBER et al. (1999) auch in Zusammenhang mit kapillaren Eigenschaften der Substrate. Die mehrfach beobachtete vermehrte Wurzelbildung im Anstaubereich

des Topfballens bei HFS ist auf das hohe Luftvolumen dieser Substrate im unteren Ballenbereich zurückzuführen (GERBER et al., 1999; GRUDA und SCHNITZLER, 1997).

Im Zierpflanzenbau wird durch geschickte Steuerung der Substratfeuchte das Längenwachstum der Pflanzen beeinflusst, um kompaktere Pflanzen zu erzielen. Diese Methode wird benutzt, um den Hemmstoffeinsatz zu vermindern oder zu ersetzen. Auf diese Weise könnte man unter Umständen durch gezielten, moderaten Trockenstress auch die Entwicklung von Gemüsejungpflanzen bremsen (LIPTAY et al., 1997). Hier hat auch eine Erhöhung der EC-Werte, um die generative Entwicklung zu fördern, eine Bedeutung.

#### Einfluss der Wasserversorgung auf Prolingehalt der Tomatenjungpflanzen angezogen in Holzfasersubstrat

Prolin ist eine  $\alpha$ -Amino-Carbonsäure. Es gibt etwa 130 verschiedene Aminosäuren, die in freier nicht proteinogener Form vorkommen. Wie jede Aminosäure ist Prolin durch eine Carboxylgruppe und durch eine Aminogruppe charakterisiert (MENGEL, 1988). Das besondere an dieser Aminosäure ist, dass sie keine freie  $\text{NH}_2$ -Gruppe besitzt, sondern die Aminogruppe als sekundärer Ring vorliegt.

In den vorliegenden Versuchen mit Tomatenjungpflanzen konnte eine Prolinanreicherung mit sinkendem Matrixpotential im Substrat nachgewiesen werden (Abb. 5 und Abb. 6). Die Unterschiede zwischen den Varianten waren jedoch nicht bei jeder Stufe des BSP vorhanden. Für das Jahr 1996 zeichnete sich eine Gruppierung der gemessenen Werte an freiem Prolin ab. Es wurden nur signifikante Unterschiede zwischen den Schaltpunkten von  $\phi = 0$  bis  $-30$  hPa und denen von  $\phi = -50$  bis  $-110$  hPa beobachtet. Innerhalb dieser Gruppierungen traten keine Unterschiede auf. Des Weiteren konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen einem Schaltpunkt von  $\phi = -30$  hPa und einer zeitabhängigen Bewässerung für das Jahr 1997 sowohl für pflanzenbauliche Merkmale als auch für den Prolingehalt festgestellt werden. Nur bei einem Schaltpunkt von  $\phi = -300/-200$  hPa wurden Differenzen zu den feuchteren Stufen im Gehalt an freiem Prolin ermittelt. Dabei zeigt sich, dass nicht jede Umstellung der Substratfeuchte Trockenstress für die Tomatenjungpflanzen bedeutet. Mittels einer Regressionsanalyse konnte jedoch ein sehr enger linearer Zusammenhang ( $r^2=0,95$ ) zwischen den Wasserversorgung und dem Gehalt an freiem Prolin aufgezeigt werden (Abb. 7).

Allgemein lagen die in gestressten Tomatenjungpflanzen gemessenen Prolinwerte 6-10 Mal höher als in den Kontrollvarianten. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei Untersuchungen von TORRECILLAS et al. (1995) ermittelt, wo sich die Prolinkonzentration im Vergleich zur Kontrolle 7-fach erhöht hat. In Zellkulturen wurden durch Zugabe von Osmotikum (25 % Polyäthylenglykol) über 300-fach höhere Werte erreicht (VERMA et al., 1993).

Bei Pointsettien (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) konnten RÖBER und HORN (1993) Unterschiede auch in einem Wasserspannungsbereich zwischen  $\phi = 0$  und  $-60$  hPa finden. Diese waren jedoch durch die angewandte Bewässerungssteuerung bedingt. Eine in diesen Untersuchungen verwendete Methode gewährleistete eine bessere Trennung der Varianten (kontinuierliche Substratfeuchte). Auch GERBER et al. (1999) weisen darauf hin, dass die Saugspannung den größten Variationskoeffizientfehler von allen untersuchten Parametern zeigt. Bei Bewässerungssteuerung durch Tensiometer ist weiterhin die Probenahmezeit problematisch, weil das momentane Matrixpotential nicht unbedingt dem BSP-Wert entspricht.

In Übereinstimmung mit Untersuchungen von RÖBER und HORN (1993) wurden bei Tomatenjungpflanzen sehr enge negative Zusammenhänge zwischen allen dargestellten pflanzenbaulichen Merkmalen und dem Gehalt an freiem Prolin festgestellt (Tab. 3).

Verschiedene Wirkungsmechanismen, die den mehrfach beobachteten positiven Einfluss der Prolinanreicherung bei Stress erklären, sind

bisher bekannt:

RÖBER und HORN (1993) vermuten eine Auswirkung auf die osmotische Einstellung der Pflanze. Bei Trockenstress oder Salzstress können manche Arten vermehrt Salze aufnehmen und in der Vakuole einlagern. Die Folge davon ist eine Wasserpotentialverminderung in der Vakuole. Dem Zytoplasma kann somit Wasser entzogen werden. Als Ausgleich werden nun im Zytoplasma vermehrt organische Osmotika zur Wiederherstellung des osmotischen Gleichgewichts gebildet. Zu diesen zählen u.a. auch freie Aminosäuren.

Als zweiter Mechanismus wird in der Literatur eine Erhöhung der Aktivität bestimmter Enzyme diskutiert. In Versuchen mit Gerstensen fanden ARAGONDA und PAHLICH (1991) eine 4mal höhere Aktivität der Enzyme Glukose-6-phosphatdehydrogenase und Pyrrolin-5-carboxylat-reductase.

ASPINALL und PALEG (1981) betrachten die Prolinanreicherung als eine Stickstoffreserve für die Pflanze und darüber hinaus auch als eine Speicherform für Energie und Aminogruppen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die günstige Wirkung von Prolin auf die Funktion von Proteinen und Membranen. Prolin erhöht durch seine Carboxyl- und Iminogruppe die Anzahl der hydrophilen Gruppen von Biopolymeren. Dadurch wird die Hydrathülle und Struktur von Proteinen stabilisiert und ihre Löslichkeit erhöht (AMBERGER-OCHSENBAUER, 1986). AMBERGER-OCHSENBAUER (1986) kam jedoch zu dem Ergebnis, dass Prolin weniger eine Schutzfunktion ausübt, sondern eher einen allgemeinen Stressindikator darstellt.

Als Schlussfolgerung ist zu ziehen, dass bei der Verwendung von HFS für die Jungpflanzenanzucht das relativ niedrigere Wasserspeichervermögen solcher Substrate berücksichtigt werden muss. Anhand der erzielten Ergebnisse ist bei der Anzucht von Tomatenjungpflanzen in einem größeren HFS wie Toresa speziell ein BSP von  $\phi = -30$  hPa zu empfehlen. Dadurch kann ein besseres ober- und unterirdisches Pflanzenwachstum mit einem geringeren Prolingehalt erzielt werden.

#### Danksagung

Dem Bayerischen Landwirtschaftsministerium (Förderprogramm C.A.R.M.E.N.) wird für die gewährte Finanzierung und Fa. Intertoresa, Schweiz, für die kostenlos zur Verfügung gestellten Substrate gedankt.

#### Zusammenfassung

In letzter Zeit hat die Verwendung von Holzgemischsubstraten für die Anzucht von Gemüsejungpflanzen Beachtung gefunden. Vorgestellt werden hier die Untersuchungen zum Einfluss der Wasserversorgung auf Wachstum und physiologische Parameter von Tomatenjungpflanzen mit dem Ziel die Kulturführung in reinen Holzfasersubstraten zu optimieren.

Es zeigte sich, dass diese Substrate gute physikalische Eigenschaften aufweisen. Bei der Anzucht von Jungpflanzen in reinem Holzfasersubstrat ist ein „hohes“ Matrixpotential anzustreben, da eine höhere Trockenmasse, bessere Durchwurzelung und ein geringerer Prolingehalt erzielt wurden.

Ein Vergleich der zeitabhängigen mit dem wasserspannungsabhängigen Bewässerung ( $\phi = -30$  hPa) zeigte, dass die biomorphologischen Pflanzenmerkmale annähernd gleich ausgebildet worden sind. Bei Tomatenjungpflanzen in einem groben Holzfasersubstrat ist ein Bewässerungsschaltpunkt von  $\phi = -30$  hPa zu empfehlen. Dieser Richtwert wurde auch durch die niedrigen Gehalte an freiem Prolin bestätigt.

Zwischen Bewässerungsschaltpunkt und dem Gehalt an freiem Prolin in den Tomatenjungpflanzen konnte ein sehr enger Zusammenhang aufgezeigt werden ( $r^2=0,95$ ).

## Literatur

- AMBERGER-OCHSENBAUER, S., 1986: Untersuchungen zu Vorkommen und Früherkennung von kühltoleranten Genotypen bei *Saintpaulia-Ionatha*-Hybriden. Dissertation, Fak. Landw. und Gartenbau, TU-München-Weihenstephan.
- ARGANDONA, V. and PAHLICH, E., 1991: Water stress on proline content and enzyme activities in barley seedlings. *Phytochemistry* 30, 1093-1094.
- ASPINALL, D., and PALEG, L.G., 1981: Proline accumulation: Physiological aspects. In: Paleg, L.G. and Aspinall, D. (eds.). *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*, 205-241. Academic Press, London.
- BASOCCU, L. and NICOLA, S., 1993: Influence of nitrogen on tomato seedlings. ISOSC Proceedings, 8th Intern. Cong. on Soilless Culture. Hunter's Rest South Africa 1992, 361-373.
- BATES, L.S., WALDREN, R.P., and TEARE, I.D., 1973: Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39, 205-207.
- BOHNE, H., KREMER, P., and WREDE, A., 1998: Physikalische Substrateigenschaften messen, interpretieren, umsetzen. *Taspo-Gartenbaumagazin* 2, 33-35.
- BRUNOLD, CH., RÜEGSEGG, A., and BRÄNDLE, R., 1996: Stress bei Pflanzen. Ökologie, Physiologie, Biochemie, Molekularbiologie. Paul Haupt-Verlag, Bern-Stuttgart-Wien.
- DRÜGE, U., 1997: Proline level in leaves and yield of cutting and flowers of chrysanthemum as influenced by different root zone conditions. *Scientia Hort.* 86, 171-180.
- GERBER, T., STEINBACHER, F. und HAUSER, B., 1999: Holzfasersubstrat zur Kultur von Pelargonium-Zonale-Hybriden – biophysikalische und pflanzenbauliche Untersuchung. *J. Appl. Bot.* 73, 217-221.
- GRUDA, N., 1999: Einfluss der Eigenschaften von Holzfasersubstrat auf das Wachstum und physiologische Parameter von Gemüsejungpflanzen am Beispiel von Tomaten (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. ex Farw.) und Kopfsalat (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.). UTZ Verlag GmbH, München.
- GRUDA, N. und SCHNITZLER, W.H., 1997: Holzfasersubstrate gut geeignet. *DeGa* 51, 2150-2154.
- HARTUNG, W., 1996: Trockenheit. In: Brunold, Ch., Rügsegger, A., and Brändle, R. (eds.). *Stress bei Pflanzen: Ökologie, Physiologie, Biochemie, Molekularbiologie*, 119-131. Paul Haupt-Verlag, Bern-Stuttgart-Wien.
- HEUER, B., 1994: Osmoregulatory role of proline in water- and salt-stressed plants. In: Pessaraskli, M. (ed.). *Handbook of plant and crop stress*. II. Series, 363-381. Marcel Dekker, New York-Basel-Hong Kong.
- HSIAO, T.C., 1973: Plant responses to water stress. In: Briggs, W.R., Green, P.B., and Jones, R.L. (eds.), *Annual review of plant physiology*, Volume 24, 519-570.
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G., and VOLESKE, P., 1996: Biostatistik. Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- KRUG, H., 1991: Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. Parey-Verlag, Berlin-Hamburg.
- LEMAIRE, F., DARTIGUES, A., and RIVIERE, L.M., 1989: Physical and chemical characteristics of a ligno-cellulosic material. *Acta Hort.* 238, 9-22.
- LESKOVAR, D.I., 1997: Root and shoot growth of vegetable crop transplants: Modification by irrigation. Fifth National Symposium on Stand Establishment - Transplant Workshop, May 31, 1997. Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, 36-38.
- LEVY, Y., 1980: Field determination of free proline accumulation and water-stress in lemon trees. *HortScience* 15, 302-303.
- LIPTAY, A., SIKKEMA, P., and FONTENO, W., 1997: Transplant production and performance: Transplant growth control through water stress. Fifth National Symposium on Stand Establishment - Transplant Workshop, May 31, 1997. Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, 51-53.
- MENDEL, K., 1988: Einführung in die Biochemie. Ferber, Gießen.
- PAHLICH, E., JÄGER, H.J. und HORZ, M., 1982: Weitere Untersuchungen zur thermodynamischen Struktur der Biosynthesesequenz Glutaminsäure Prolin in wassergestressten Buschbohnen. *Z. Pflanzenphysiologie* 105, 475-478.
- PENNINGSFELD, F., 1992: Toresa, a new substrate for soilless culture. ISOSC Proceedings, 8th Intern. Cong. on Soilless Culture. Hunter's Rest South Africa 1992, 335-345.
- PRECHT, M., 1987: Bio-Statistik. Eine Einführung für Studierende der biologischen Wissenschaften. Oldenbourg-Verlag, München-Wien.
- PUGNAIRE, F.I., ENDOLZ, L.S., and PADROS, J., 1994: Contrasts by water stress on plant growth. In: Pessaraskli, M. (ed.). *Handbook of plant and crop stress*. II. Series, 247-259. Marcel Dekker, New York-Basel-Hong Kong.
- RABE, E., 1990: Stress physiology: The functional significance of the accumulation of nitrogen-containing compounds. *J. Hort. Sci.* 65, 231-243.
- REID, D.M., BEALL, F.D., and PHARIS, R.P., 1991: Environmental cues in plant growth and development. In: Bidwell, R.G.S. (ed.), *Plant Physiology: A treatise*. Vol. X: Growth and Development, 65-181. Academic Press, Inc., San Diego-California-London.
- RÖBER, R. und HORN, W., 1993: Wirkung unterschiedlicher Wassergaben auf Wachstum, Qualität und Prolingehalt von *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klötzsch. *Gartenbauwissenschaft* 58, 15-20.
- SCHNITZLER, W.H., MICHALSKY, F., GRUDA, N., 1997: Wood fibre substrate for cucumber in greenhouse cultivation. ISOSC Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture. St. Helier, Jersey, 12-19 April 1996, 453-457.
- STEINBACHER, F. und AMBERGER-OCHSENBAUER, S., 1997: Mehr Blüten bei Holz-faser-Torf-Substrat. *DeGa* 51, 1138-1141.
- STEWART, C.R., 1981: Proline accumulation: Biochemical aspects. In: Paleg, L.G. and Aspinall, D. (eds.), *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*, 243-259. Academic Press, London.
- STEWART, C.R. and HANSON, A.D., 1980: Proline accumulation as metabolic response to water stress. In: Turner, N.C. and Kramer, P.J. (eds.), *Adaptation of plants to water and high temperature stress*, 173-189. Jon Wiley & Sons, Inc., New York-Chichester-Brisbane-Toronto.
- TORRECILLAS, A., ALARCÓN, J.J., and RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., 1995: Water relations of two tomato species under water stress and recovery. *Plant Sci.* 105, 169-176.
- VERMA, D.P.S., HU, C.H.A.A., and DELAUNEY, A.J., 1993: Genetic manipulation for proline overproduction and the control of osmoregulation in plants. In: Kuo, C.G. (ed.), *Adaptation of food crops to temperature and water stress*. Proceedings of an international symposium Taiwan, 13-18 August 1992. Asian Vegetable Research and Development Center, Publication 93-413, 47-58.

Anschrift der Autoren:

Dr. N.S. Gruda und Prof. Dr. W.H. Schnitzler, Lehrstuhl für Gemüsebau der Technischen Universität München-Weihenstephan, D-85350 Freising.