

Wasser- und Nährstoffbilanzen von Hors-sol Tomaten

Christian GYSI und Fritz von ALLMEN, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau (FAW), CH 8820-Wädenswil

In Europa wird auf unterschiedlichen Hors-sol Kultursystemen Gemüse produziert. Über die in verschiedenen Systemen benötigten Wasser- und Nährstoffmengen ist bisher wenig bekannt, obwohl der Verbrauch an Nährlösungen ein wichtiger Produktionsfaktor ist. Wasser- und Nährstoffbilanzen von Gewächshaustomaten in vier völlig geschlossenen, bodenunabhängigen Kultursystemen werden mit denjenigen aus traditioneller Bodenkultur verglichen. Dabei zeigte sich, dass geschlossene, bodenunabhängige Kulturen höhere und frühere Erträge erbringen.

Bodenunabhängige Hors-sol-Kultursysteme sind umweltfreundlich, sofern die Systeme völlig geschlossen sind und damit Auswaschungsverluste gänzlich vermieden werden können (Gysi und Reist 1990). Eine grössere Zahl verschiedener Systeme wird heute auf dem Markt angeboten (Herbold 1995) und weitere, neue Systeme sind in Entwicklung. In Europa werden verschiedene Systeme für die gleiche Pflanzenart eingesetzt. Die Wahl eines bestimmten Systemes durch die Produzenten wird wesentlich mitbestimmt durch die lokale Beratung und die Serviceleistungen der Zulieferfirmen. Über die in unterschiedlichen Systemen benötigten Wasser- und Nährstoffmengen ist bisher wenig bekannt, obwohl der Verbrauch an Nährlösungen ein wichtiger Produktionsfaktor ist (Kommission für Produktionskostenberechnung VSGP 1993; Nienhuis and de Vreede 1994).

Vier Hors-sol Systeme und Boden

Tomaten der Sorte «Laurelia» (*Lycopersicon esculentum* Mill.), auf Steinwollewürfel vorkultiviert, wurden vom 28. Februar bis 6. Oktober 1994 während insgesamt 196 Tage angebaut. Auf einem Versuchsbeet von 5 m² standen zwölf Pflanzen (2,4 Pflanzen/m² Nettoproduktionsfläche). Die Anzahl der Tomaten pro Fruchtstand wurde frühzeitig von Hand auf fünf Früchte beschränkt. Die Tag- und Nachttemperatur betrug im Gewächshaus mindestens 18°C (Zwangsbeltüftung im Sommer).

Die Versuchsanlage im Gewächshaus bestand aus den völlig geschlossenen boden-

unabhängigen Systemen Aeroponic, NFT (Nutrient Film Technique), Steinwolle, Dünnenschicht und Boden (Tab. 1 und Abb. 2). Das System Boden war im Gewächshaus als Lysimeter mit einem Meter Bodentiefe ausgerüstet und erlaubte die Messung der ausgewaschenen Nährlösung. Pro 5 m² Versuchsfläche stand ein Nährlösungsreservoir von 200 Litern zur Verfügung, das nach einem Verbrauch von 100 Litern jeweils wieder aufgefüllt wurde. Der Nährlösungsverbrauch wurde täglich registriert; eine chemische Analy-

se der Nährlösung in den Reservetanks erfolgte alle zwei Wochen. Die Nährlösungen der einzelnen Beete wurden mittels eines Sandfilters vor dem Rückfluss in den Reservetank entkeimt (Wohanka 1991). Alle Versuchsverfahren inklusive der Kulturen im Boden wurden mit der gleichen Nährlösung versorgt.

Die Zusammensetzung der Nährlösung erfolgte aus Einzelsalzen (Tab. 2) und Regenwasser. Der pH-Wert wurde wöchentlich mit Phosphorsäure im Bereich zwischen pH 5,5 und 6,5 eingestellt. Der EC-Wert der neu zubereiteten Nährlösung betrug 1,5 mS/cm. Überstieg der EC-Wert im Verlaufe des Versuches 3,0 mS/cm, wurde die Nährstoffkonzentration der nachgefüllten Nährlösung halbiert.

Für die Nährstoffbilanzen wurde der **Nährstoffimport** aus der Menge und Konzentration der zugeführten Nährlösung berechnet. Die **Nährstoffexporte**

Tab. 1. Charakterisierung der Systeme Boden und Hors-sol (angenäherte Werte pro m² Produktionsfläche mit 2,4 Pflanzen)

Parameter	Systeme				
	Boden	Dünn-schicht	Stein-wolle	NFT ²⁾	Aero-ponic ²⁾
Substrat	Boden	Torf	Grodan	–	–
Substratvolumen in Liter	600	50	12	0	0
Wasserrückhaltevermögen bei Feldkapazität in Liter	200	40	10	0	0
Nährlösungsgabe pro Tag in Liter	7	8	11	250 ³⁾	150 ³⁾
Drainage pro Tag in Liter	0 - 3	2	5	244 ³⁾	144 ³⁾
Drainagerate im Vergleich zu einer Evapotranspiration von 6 Liter pro Tag	0 - 0,5 ¹⁾	0,3	0,8	40 ³⁾	25 ³⁾
Kontrolle der Nährlösungsgabe. (Die Nährlösungsmenge pro Gabe wurde dem Wasserrückhaltevermögen der verschiedenen Systeme angepasst)	Eine Gabe wenn Tensiometer über 0,1 bar in 25 cm Tiefe	Globalstrahlung; eine Gabe pro 1000 Wh.m ²	Globalstrahlung; eine Gabe pro 250 Wh.m ²	Kontinuierliche Zirkulation	1 Min. Sprühzeit alle 10Min.
Wasserverteilung	Tropfschlauch	Tropfschlauch	Tröpfchen-Bewässerung	Fliesskännel	Düsen

¹⁾ Die Auswaschung wurde in den Lysimetern gemessen. Die Einstellung der Tensiometer hätte eine Auswaschung völlig vermeiden sollen, was sich aber als nicht praktikabel erwiesen hat.

²⁾ zusätzlich ausgerüstet mit einem Notbewässerungssystem für Stromausfall.

³⁾ Die Zirkulation der Nährlösung in den Systemen NFT und Aeroponic beträgt ein Vielfaches des Bedarfes der Pflanzen.

Tab. 2. Zusammensetzung der Nährlösung aus Anionen und Kationen (Hauptnährstoffe in mmol; Summenwerte auch in {mg/l}; Spurenelemente in Micromol)

Anion/ Kation	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Summe
K ⁺	4	1,2		5,2 (204)
Ca ⁺²	3 NO ₃ ⁻ / 1,5 Ca ⁺²		1,5 (60)	
Mg ⁺²			0,5	0,5 (12)
H ⁺	1			1 (1)
Summe	8 (112)	1,2 (37)	0,5 (32)	

Spurenelemente in Micromol: 18 Fe; 10 Mn; 15 B; 0,75 Cu; 0,5 Mo; 0,1 Co; 0 Zn

setzen sich zusammen aus den Nährstoffgehalten der einzelnen Pflanzenteile, den Nährstoffveränderungen in den Substraten und der Auswaschung im System Boden. Bei ausgeglichener Nährstoffbilanz entsprechen die Exporte den Importen. Aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Probenahme und Analyse können Fehlbeurteilungen resultieren, die als «nicht wiedergefundene» Nährstoffe oder – wenn die Exporte höher waren als die Importe – als Negativbilanzen ausgewiesen wurden. Marktfähige Früchte wurden periodisch geerntet und als Sammelprobe pro Verfahren auf Anteil erster Qualität, Frisch- und Trockensubstanz sowie auf Nährstoff untersucht. Die bis Mitte Juli geernteten Früchte wurden als Frühertrag, später geerntete Früchte als Spätertrag bezeichnet; bei Versuchsende nicht verkaufsfähige Früchte wurden als «Früchte grün» erfasst. Am Ende der Vegetationsperiode wurden die zwölf Tomatenpflanzen zur Untersuchung von Frisch- und Trocken-

substanz, Blattfläche sowie der Nährstoffgehalte der einzelnen Pflanzenteile entnommen. Die Wurzelmasse konnte nur bei den substratfreien Systemen Aeroponic und NFT gemessen werden. Nicht mehr assimilierende Blätter wurden während des Versuches vom Haupttrieb getrennt und deren Nährstoffgehalte gemessen. Die in den Substraten gebundenen Nährstoffe wurden am Anfang und am Ende des Versuches gemessen (Gysi *et al.* 1995). Die Menge und Nährstoffkonzentration des Drainagewassers in den Lysimetern wurde periodisch gemessen und aufsummiert. Allfällige Ausfällungen von Nährstoffen in den Sandfiltern konnten nicht erfasst werden.

Aus der insgesamt aufgenommenen Nährstoffmenge der Pflanzen am Ende der Vegetationsperiode und dem gesamten Nährlösungsverbrauch wurde die durchschnittliche Aufnahmekonzentration für die verschiedenen Nährstoffe berechnet. 1993 wurde ein Versuch mit gleicher Ver-







suchsanordnung durchgeführt. Wegen eines zeitlich begrenzten Ausfalles in einem Verfahren waren die Ergebnisse der Erträge 1993 nicht repräsentativ; es werden aus dem Versuch 1993 daher nur die Ergebnisse der Aufnahmekonzentration von Spurennährstoffen dargestellt. Aus Voruntersuchungen kann der Variationskoeffizient bei den Erträgen und Nährstoffbilanzen in geschlossenen Kultursystemen auf etwa 10 % abgeschätzt werden (Gysi und v. Allmen 1993). In den folgenden Ergebnissen über Erträge und Bilanzen werden Summenwerte über die gesamte Vegetationsperiode 1994 gezeigt. Aspekte der Tomatenqualität werden in einem weiteren Beitrag dargestellt (Gysi *et al.* 1997).

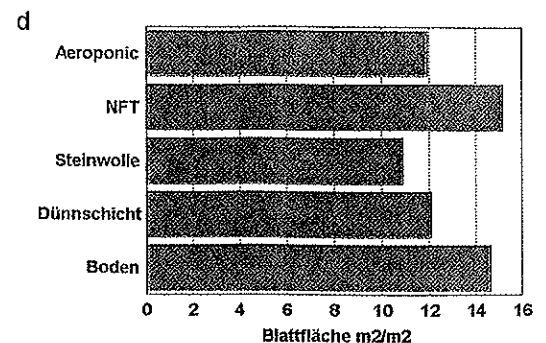
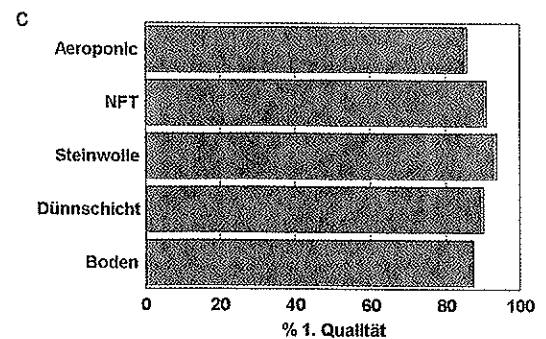
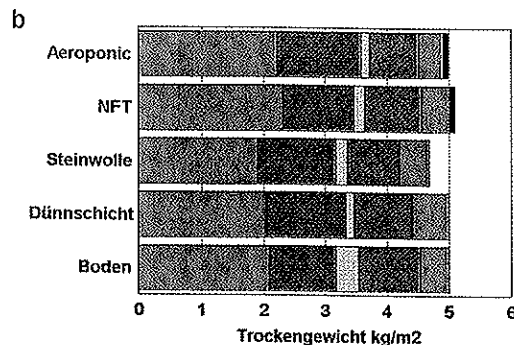
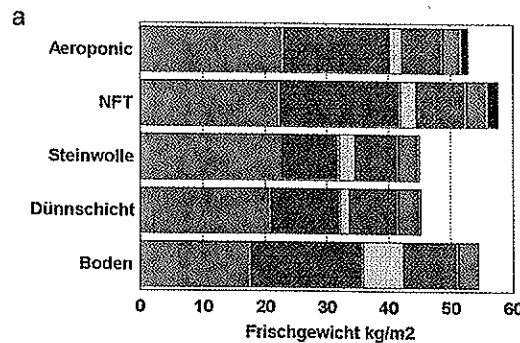
Höchsterträge auf Hors-sol Systemen ohne Substrat

Der Frühertrag war im Gewächshaus bei allen bodenunabhängigen Systemen annähernd gleich hoch; im Boden begann die Ernte etwa eine Woche später und blieb um 20 % unter dem Frühertrag der bodenunabhängigen Kulturen (Abb. 1a). Im Gesamtertrag ergaben die beiden Systeme ohne Substrat (Aeroponic und NFT) Erträge zwischen 40 und 42 kg marktfähige Tomaten pro m² während die Erträge bei Steinwolle, Dünnsschicht und Boden mit 32 bis 36 kg pro m² deutlich abfielen. Der Ertrag auf Boden wäre mit Aeroponic und NFT vergleichbar, wenn die grünen, nicht

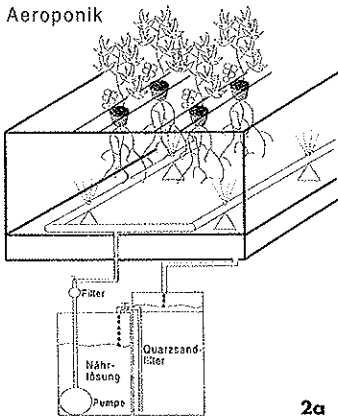
Abb. 1. Tomaten Frischgewicht (1a), Trockengewicht (1b) in kg/m² für verschiedene Pflanzenteile, Anteil Früchte erster Qualität (1c) und Blattflächenindex (1d); Summenwerte der Vegetationsperiode vom 28. Februar bis 6. Oktober 1994.

Legende zu a und b

-  Frucht Frühertrag
-  Frucht Spätertrag
-  Frucht grün
-  Blatt
-  Trieb
-  Wurzel

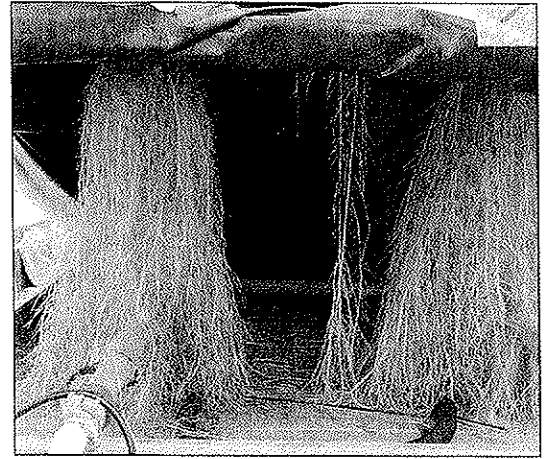


Aeroponik

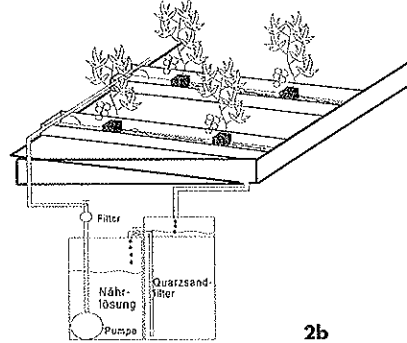


2a

2a ▶ **Aeroponik:** Die Wurzeln entwickeln sich in einem geschlossenen Raum, in dem die Nährlösung mit feinen Düsen versprüht wird. Die Sauerstoffversorgung der Wurzeln ist optimal; die Wurzelentwicklung wird in diesem System stark gefördert.

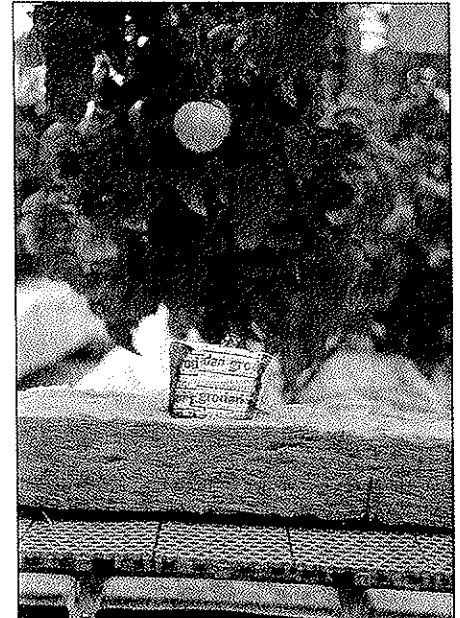


Nutrient-Film-Technique

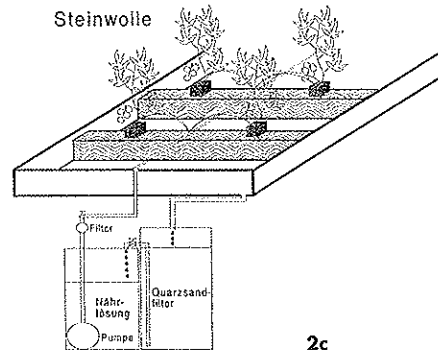


2b

2b ▼ **Nutrient-Film-Technik (NFT):** Die Nährlösung fließt in einer Rinne, in der sich die Wurzeln entwickeln. Die Jungpflanzen, in Steinwolleblöcken vorkultiviert, werden direkt in der Rinne aufgestellt. Bei langen Rinnen und empfindlichen Kulturen, wie zum Beispiel Gurken, kann die Sauerstoffversorgung der Wurzeln kritisch werden.



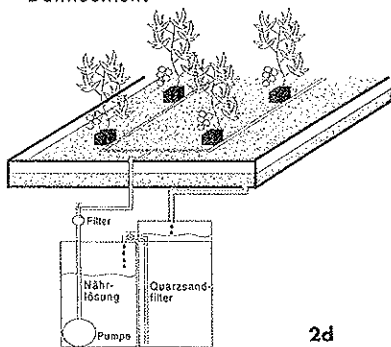
Steinwolle



2c

2c ▶ **Steinwolle:** Die Steinwolle dient als Nährlösungs- und Wasserspeicher. Die Jungpflanzen werden auf die mit Kunststoff überzogenen Matten aufgesetzt und mittels Tröpfchenbewässerung ernährt. Eine gute Drainage der überschüssigen Nährlösung muss gewährleistet sein.

Dünnschicht

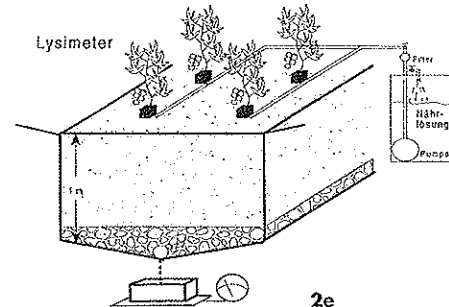


2d

2d ▶ **Dünnschicht:** Anstelle der Steinwolle können andere Substrate wie Torf, Toresa, mineralische Blähton etc. zur Speicherung der Nährlösung verwendet werden. Die Verteilung der Nährlösung erfolgt über Tröpfchenbewässerung oder poröse Schläuche. Zur Verminderung der Verdunstung wird die Substratoberfläche abgedeckt.



Lysimeter



2e

2e ▶ **Lysimeter:** Die Nährstoffversorgung im Lysimeter entspricht einer Kultur auf dem anstehenden Gewächshausboden. Die im Gewächshaus versickernden Wasser- und Nährstoffmengen können in diesem drainierten, geschlossenen System gemessen werden.

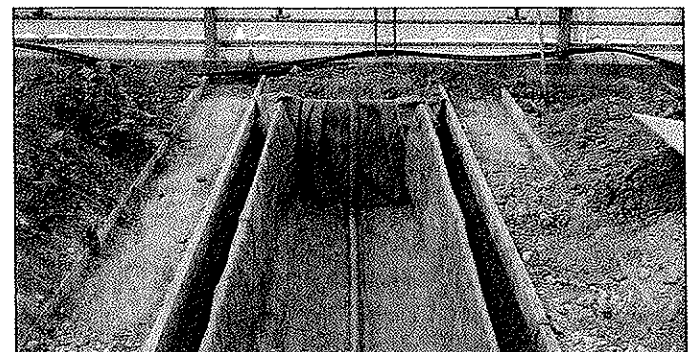


Abb. 2. Schemata und Fotos der verschiedenen, geschlossenen Anbausysteme.

erntefähigen Tomaten der Bodenkultur hätten ausreifen können. Blätter und Triebe machen in allen Verfahren etwa 25 % der Frischsubstanz der Früchte aus; der Anteil an Wurzeln beträgt in Aeroponic und NFT weniger als 5 %.

Die Trockengewichte waren in den verschiedenen Verfahren ausgeglichener als die Frischgewichte (Abb. 1b). Die Ernährung der Tomaten bei den völlig substratfreien Verfahren Aeroponic und NFT führte zu einem erhöhten Wassergehalt und damit zu einem erhöhten Frischgewicht der vegetativen Pflanzenteile. Ein hoher Anteil von etwa 90 % der marktfähigen Früchte konnte bei allen Systemen der ersten Qualität zugordnet werden (Abb. 1c). Die Summe des Frischgewichtes aller Pflanzenteile wurde wesentlich durch die gesamthaft entwickelte Blattfläche bestimmt (Abb. 1d). Die absolute Grösse der im Verlaufe der Wachstumsperiode entwickelten Blattfläche betrug für die Sorte «Laurelia» zwischen 11 bis 15 m² Blattfläche pro m² Standfläche. Koning (1993) fand für andere Sorten bei einer längeren Kulturdauer von 270 Tagen eine Blattflächensumme von 20 m² pro m² Standfläche.

Bodenkultur verbraucht mehr Nährlösung

Pro m² Produktionsfläche wurden in den bodenunabhängigen Systemen während der Vegetationszeit von 196 Tagen zwischen 900 und 1100 Liter Nährlösung verbraucht, im täglichen Durchschnitt also etwa 5 Liter pro m². Der leicht höhere Nährlösungsverbrauch bei den Verfahren ohne Substrate (Aeroponic und NFT) dürfte auf höhere Evaporationsverluste (Verdunstung aus dem System ohne Transpiration der Pflanzen) zurückzuführen sein. In einem Vorversuch betrug der Evaporationsverlust bei den substratfreien Systemen etwa 20 %, bei den Systemen mit Substraten und Boden aber nur etwa 10 % der Evapotranspiration (Gysi und v. Allmen 1993). Auf Boden betrug der Verbrauch mehr als 1300 Liter pro m² (7 Liter pro m² und Tag), was zu einer Auswaschung von über 400 Liter pro m² führte und etwa 30 % des Gesamtverbrauches entspricht (Abb. 3a). Der höhere Nährlösungsverbrauch auf Boden ist darauf zurückzuführen, dass im offenen System Boden die ausgewaschene Nährlösung nicht rezykliert wurde.

Pro kg Trockensubstanz erntefähiger Tomaten betrug der Nährlösungsverbrauch zwischen 260 Liter auf Dünnschicht und

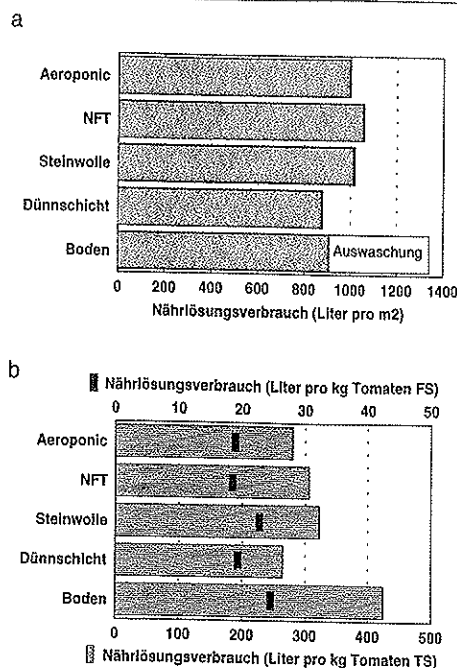


Abb. 3. Nährlösungsverbrauch der Tomaten pro Fläche (3a), pro kg verkaufsfähige Tomaten, Frischsubstanz respektive Trockensubstanz (3b). Kultur vom 28. Februar bis zum 6. Oktober 1994.

420 Liter bei der Kultur auf Boden. In bezug auf das Frischgewicht erntefähiger Tomaten beträgt der Nährlösungsverbrauch zwischen 18 und 24 Liter pro kg Frischgewicht (Abb. 3b). Herbold (1995) erwähnt einen Nährlösungsverbrauch in der gleichen Grössenordnung von 19 bis 22 Liter pro kg Tomaten für Steinwolle und von 23 bis 28 Liter pro kg auf gewachsenem Boden.

Hohe Auswaschungsverluste aus dem Boden

Der gesamte Stickstoffimport mit der Nährlösung betrug zwischen 100 und 190 Gramm Stickstoff pro m² Produktionsfläche (Abb. 4a). Etwa die Hälfte dieser Nährstoffmenge wurde in den reifen und grünen Früchten wieder gefunden und ein Drittel fand sich in den Blättern. Der Anteil in den Trieben und vor allem in den Wurzeln war dagegen unbedeutend. In den Substraten Steinwolle und vor allem Dünnschicht kann sich Stickstoff anreichern. 20 % des zugeführten Stickstoffes wurde beim System Steinwolle in den verschiedenen Pflanzenteilen nicht wiedergefunden. Gasförmige Stickstoffverluste können weitgehend ausgeschlossen werden, weil Stickstoff ausschliesslich in Nitratform in der Nährlösung vorhanden war. Nicht quantifizierte Nährstoffverluste im Sandfilter könnten den Fehlbetrag

in der Gesamtbilanz zumindest teilweise erklären. Schröder *et al.* (1995a,b) fanden bei Tomatenkulturen in NFT eine ausgeglichene Nährstoffbilanz für Stickstoff und Kalium, allerdings bei einer Kultur mit einer bedeutend geringeren Produktionsintensität. In der Bodenkultur ist die Stickstoffbilanz negativ, weil der hohe Verbrauch an Nährlösung zur Auswaschung von über 100 g Stickstoff pro m² geführt hat. Über Auswaschungsverluste in dieser Grössenordnung, die auch bei kleinen Gewächshausflächen eine bedeutende Umweltbelastung darstellen, wurde auch in Untersuchungen aus Holland und Deutschland berichtet (Voogt 1990 Schwemmer und Schrage 1989). Demgegenüber sind die von Ryser (1996) in einem Gewächshausabteil gemessenen Stickstoffverluste von 10 bis 20 g N/m² geringer, aber immer noch bedeutend.

Zwischen 50 und 75 g Phosphor betrug der gesamte Phosphorimport (Abb. 4b). Je etwa ein Drittel davon war in den Früchten und in den übrigen Pflanzenteilen wieder zu finden. Der Anteil an Phosphor, der nicht wieder gefunden wurde, war wegen der Adsorption von Phosphor an die Wurzeln (etwa ein Fünftel des Importes gemessen bei den Verfahren Aeroponic und NFT) und einer vermuteten Ablagerung im Sandfilter weit höher als beim Stickstoff. Er betrug etwa einen Drittel des gesamten Importes, wobei dieser Anteil bei den Verfahren mit Substrat oder Boden besonders hoch lag. Phosphor wurde praktisch nicht ausgewaschen.

In bezug auf die Wiederfindungsrate nahm Kalium eine Zwischenstellung ein zwischen Stickstoff und Phosphor (Abb. 4c). Der Kaliumexport durch die Früchte lag bei allen Systemen in der gleichen Grössenordnung zwischen 100 bis 120 g K pro m². Der Kalziumgehalt in den Früchten ist im Vergleich zum Anteil in den anderen Pflanzenteilen verhältnismässig klein (Abb. 4d); dies trifft ebenfalls für Magnesium zu (Abb. 4e). Die Auswaschung von Kalzium und Magnesium unter Boden war mit 145 g Ca respektive 35 g Mg pro m² ausserordentlich hoch. Die von Ryser (1996) gemessenen Kalzium- und Magnesium-Verluste durch Auswaschung sind mit 50 g Ca pro m² respektive 2 mg Mg pro m² wesentlich geringer.

Die Nährlösung muss der Kultur genau entsprechen

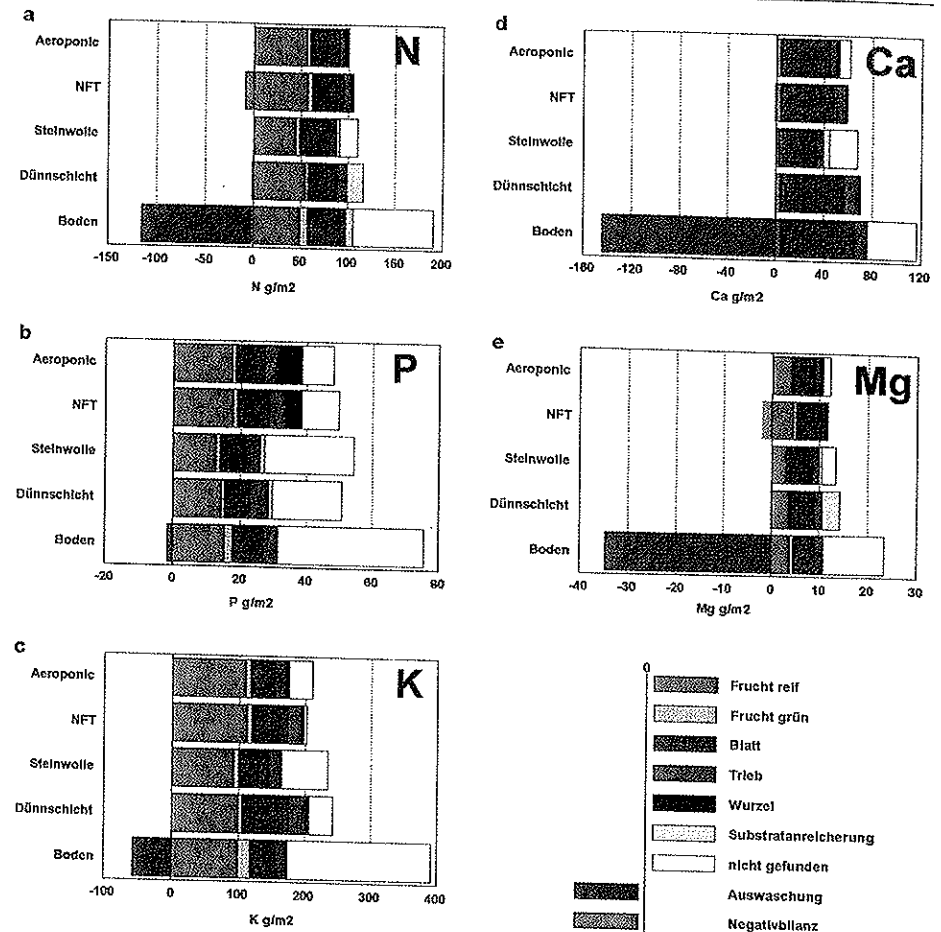
Idealerweise sollte die Nährstoffmenge und das Verhältnis der Nährstoffe in der

Nährlösung im Verlaufe der ganzen Vegetationsperiode dem veränderlichen Nährstoffbedarf durch die Kulturpflanze entsprechen (Sawas und Lenz 1995). Voogt (1993) untersuchte für Tomaten die Nährstoffbedürfnisse in Abhängigkeit der Pflanzenentwicklung und leitete daraus differenzierte Empfehlungen für die Nährstoffkonzentration und das Nährstoffverhältnis ab (Tab. 3). Die dazu notwendige Kontrolle und Steuerung einzelner Nährstoffe mit ionensensitiven Elektroden ist für die gartenbauliche Praxis allerdings noch nicht einsatzbereit (Reist *et al.* 1995).

Im vorliegenden Versuch konnten wir aus dem Nährlösungsverbrauch und der insgesamt aufgenommenen Nährstoffmenge der Pflanzen am Ende der Vegetationsperiode die durchschnittliche Aufnahmekonzentration für die verschiedenen Nährstoffe berechnen (Tab. 3). Die mittleren Aufnahmekonzentrationen für Stickstoff, Phosphor und Kalium lagen gesamthaft betrachtet tiefer als die Ausgangskonzentration der Nährlösung; dementsprechend muss bei diesen Nährstoffen in einem geschlossenen System mit einem Anstieg der Nährstoffkonzentration gerechnet werden, was durch die höheren Endkonzentrationen der Nährlösung deutlich bestätigt wurde. Kalzium und Magnesium wurde von den Pflanzen etwa in der angebotenen Konzentration aufgenommen. Auch bei diesen Elementen wurde dennoch im Verlaufe der Vegetationsperiode eine Zunahme der Konzentration in der Nährlösung gemessen. Die Gründe für diese Anreicherung sind nicht klar, dürften aber mit der Nährstofffreisetzung aus dem Filtermaterial in Zusammenhang stehen. Eine gute Übereinstimmung der Angebots- und Aufnahmekonzentration ergab sich nicht nur bei den Hauptnährstoffen sondern ebenso bei den Spurenelementen. Die Spurenelemente reicherten sich denn auch kaum in der Nährlösung an. Daraus kann geschlossen werden, dass die Zusammensetzung der Ausgangskonzentration der Nährlösung richtig gewählt war, unter Berücksichtigung des zeitweise höheren Nährstoffbedarfes und der für Tomaten durchaus noch verträglichen Endkonzentrationen.

Folgerungen für die Praxis

Geschlossene, bodenunabhängige Kulturen erbringen höhere und besonders auch frühere Erträge. Bedeutende Nährstoffauswaschungsverluste, wie sie bei Boden-



kulturen auftreten können, werden vermieden. Die Kultursysteme ohne Substrate brachten höhere Erträge. Als Nachteil dieser Systeme ist die geringere Betriebssicherheit bei Störungen im Bewässerungssystem oder bei Stromausfall zu erwähnen. Ein automatisches Notbewässerungssystem wird für diese Systeme benötigt.

LITERATUR

Gysi Ch. and von Allmen F., 1993. Environmental aspects of soilless culture in Switzerland - comparison of different systems. Proc. 8th. International ISOSC Congress, Hunters Rest South Africa, 2.-9. Oct. 1992, 173-184.

Gysi Ch., von Allmen F. und Duerr P., 1997. Gewächshaus- und Freilandtomaten: sensorische Unterschiede. *Agrarforschung* 4 (1).

Gysi Ch., von Allmen F., Heller W., Poffet J. und Wegmüller H. 1995. Substratuntersuchung für den

Zierpflanzenbau. Flugschrift Nr. 113, Eidg. Forschungsanstalt, CH 8820 Wädenswil.

Gysi Ch. und Reist A., 1990. Hors-sol Kulturen - eine ökologische Bilanz. *Landwirtschaft Schweiz* 3 (8), 447-459.

Herbold J., 1995. Bodennunabhängige Kulturverfahren im Gemüsebau. Ulmer Stuttgart ISBN 3-8001-8238-6, 277 pp.

Kommission für Produktionskostenberechnung VSGP, 1993. Berechnung der Produktionskosten von Gemüsearten. SZG, Oeschberg, 3425 Koppigen.

Koning de A.N.M., 1993. Growth of a tomato crop - measurements for model validation. *Acta Horticulturae* 328, 141-146.

Nienhuis J. and de Vreede P., 1994. Milieugerichte levenscyclusanalyse in de glastuinbouw: Bruikbaarheid, Ronde tomaten, Kleinbloemige rozen. Proefstation voor tuinbouw onder Glas PTG, Interne Rapporten.

Reist A., Pivrot D. et Greutert F., 1995. Ajustement automatique des nitrates dans les solutions nutritives pour cultures hors sol. *Revue Suisse Vitic., Arboric., Horticulture* 27 (3), 185-189.

Ryser J.P., 1996. Rives de Prangins, pertes d'éléments nutritifs par drainage 1983 à 1990. Personnelle Mitteilung.

Sawas D. und Lenz F., 1995. Nährstoffaufnahme von Aubergine (*Solanum melongena* L.) in Hydrokultur. *Gartenbauwissenschaft* 60 (1), 29-33.

Schröder F.G., Schwarz D. und Kuchenbuch R., 1995a. Comparison of Biomass Production of Tomatoes Grown in Two Closed Circulating Systems. *Gartenbauwissenschaft* 60 (6), 294-297.

Schröder F.G., Schwarz D. und Kuchenbuch R., 1995b. Wasser-, Kalium- und Stickstoffbilanz in Nutrient Film Technik und Plant Plane Hydroponic mit geschlossenem Nährstoffkreislauf beim Langzeitanbau von Tomate. Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft-Tagung Freising-Weißenstephan; Posterpräsentation; 111.

Schwemmer E. und Schrage C., 1989. Untersuchung der potentiellen Nitratauswaschung aus Gewächshausböden. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Heidelberg Abschlussbericht, 25 pp.

Voogt W., 1990. Umwelt Ent- oder Belastung durch das erdelose Kulturverfahren. in: Erdelose Kultur im Spannungsfeld von Ökonomie und Ökologie. 3. Reichenau Tagung 1990. 94 - 102.

Voogt W., 1993. Nutrient uptake of year round tomato crops. *Acta Horticulturae* 339, 99-112.

Wohanka W., 1991. Wassrentkeimung bei der Hydrokultur von Zierpflanzen. *Gartenbau* 38 (1), 43-46.

RÉSUMÉ

Bilan hydrique et des éléments nutritifs des tomates en culture hors-sol

La consommation d'eau et le bilan des éléments nutritifs des tomates en culture hors-sol aéroponique, NFT (Nutrient Film Technique), laine de roche, couche mince, ont été comparés à la culture sur sol en serre. Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les systèmes sans substrats, aéroponique et NFT; le rendement de la culture sur sol était comparable mais plus tardif. Le bilan des éléments nutritifs révèle des différences semblables à celles des rendements. Par rapport au système hors-sol recyclé, les tomates sur sol ont consommé 30 % de solution nutritive en plus. Les pertes par lessivage pour le système «sol» étaient par conséquent très élevées pour le calcium et le magnésium et correspondent à plus de 100 g d'azote par m².

La quantité d'éléments nutritifs absorbés par la plante et de solution nutritive consommée permettent de calculer une concentration moyenne des éléments nutritifs absorbés. La comparaison avec la concentration initiale de la solution nutritive explique, au moins pour différents éléments, l'augmentation de la concentration au cours de la croissance.

Tab. 3. Durchschnittliche Aufnahmekonzentration durch Tomaten in verschiedenen Kultursystemen (gesamte Nährstoffaufnahme in Millimol pro m² dividiert durch gesamten Nährstoffverbrauch in Liter pro m²); **Ausgangs- und Endkonzentration der Nährlösungen sowie Literaturvergleich**

System / Nährlösung	Hauptnährstoffe in Millimol/Liter					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Aufnahmekonzentrationen Versuch 1994						
Aeroponic	7,0	1,2	4,4	1,2	0,45	0,8
NFT	7,1	1,2	4,7	1,4	0,55	0,8
Steinwolle	6,3	0,8	4,2	1,0	0,4	0,9
Dünnschicht	7,9	0,9	5,9	1,9	0,5	0,9
Boden	5,5	0,8	3,4	1,5	0,35	1,1
Nährlösungskonzentrationen						
Ausgangskonzentration	8	1,2	5,2	1,5	0,5	1,0
Endkonzentration ²⁾	20-30	2-3	15-20	7-10	2-3	²⁾
Vergleich mit Literaturwerten; Mittelwert und (Schwankungsbreite)						
Voogt (1993)	12	1,25	6,5 (+3,5 -2,5)	2,75 (+1 -1,25)	1 (+0,5 -0,5)	1,5
System / Nährlösung	Spurennährstoffe in Micromol/Liter ¹⁾					
	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn
Aufnahmekonzentrationen Versuch 1993						
Aeroponic	14	8	12	0,6	0,4	190
NFT	13	7	11	0,6	0,4	180
Steinwolle	15	9	13	0,7	0,4	190
Dünnschicht	17	10	14	0,8	0,5	190
Boden	20	11	17	0,9	0,6	210
Nährlösungskonzentrationen						
Ausgangskonzentration	18	10	15	0,75	0,5	0
Endkonzentration ³⁾	9-22	7-10	11-14	0,6-0,8	0,4-0,5	3-6

¹⁾ Ergebnisse der Versuche 1993; Spurenelemente wurden im Versuch 1994 nicht untersucht

²⁾ nicht gemessen

³⁾ Bereich der Endkonzentrationen für alle Kultursysteme ausser Boden

SUMMARY

Balance of water and nutrients in tomatoes grown on soilless systems

Water-requirement and nutrient balance of tomatoes grown in completely closed soilless systems aeroponic, NFT (Nutrient Film Technique), rockwool, thin layer were compared to tomato on soil in the greenhouse. Cropping systems without substrate, aeroponic and NFT, showed the highest yield followed by tomato on soil, though yield on soil was delayed. Differences in the nutrient balance for the major nutrients was proportional to differences in yield. The water consumption on soil was 30 % higher compared to soilless, recirculating systems. Therefore leaching losses from the soil amounted to more than 100 g nitrogen per m²; leaching losses for calcium and magnesium were also high. When total nutrient uptake and total water consumption is taken into account, an uptake concentration of the nutrient solution can be

calculated and compared to the initial nutrient solution concentration. The increase in the concentration of major nutrients in completely closed systems during the vegetation period may thus be partly explained.

KEY WORDS: tomato, nutrient-balance, water-requirement, soilless system, aeroponic, NFT, rockwool, thin layer, leaching losses, nutrient solution