



11/ Düngung von Gemüsekulturen auf Substrat

Céline Gilli und Christoph Carlen
Agroscope, 1964 Conthey, Schweiz

Auskünfte: celine.gilli@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	11/3
2. Düngungsempfehlungen	11/4
2.1 Offene und geschlossene Systeme.....	11/4
2.2 Zusammensetzung der Nährlösung	11/5
2.3 Anpassung der Nährlösung	11/6
2.4 Zufuhr der Nährlösung	11/7
3. Literatur	11/7
4. Tabellenverzeichnis.....	11/8
5. Abbildungsverzeichnis.....	11/8

Vorderseite: Tomatenkultur auf Substrat (Foto: Agroscope).

1. Einleitung

Im bodenunabhängigen Anbau von Gemüsekulturen kann mittels Fertigation (Düngung und Bewässerung) und Rezyklierung des rückfliessenden Dränwassers (Restnährlösung) eine optimale Nährstoffzufuhr sowie eine sehr effiziente Nutzung des Wasser und der Nährstoffe erzielt werden. Die Nährlösung muss dabei ausgewogen und den Wachstumsbedürfnissen der auf Substrat angebaute Kulturen angepasst sein. Das Substrat verleiht der Pflanze Halt und dient ihr bis zu einem gewissen Grad als Reservoir, aus dem die Pflanze die für das Wachstum benötigten Nährstoffe bezieht. Das Substrat muss durchlässig, gut durchlüftet und dauerhaft sein (Göhler und Molitor 2002). Die verwendeten Materialien sind heute in der Regel organisch (Rinden, Holz- oder Kokosfasern, Torf etc.), da diese wiederzuverwenden oder zu rezyklieren sind. Es stehen aber auch mineralische Substrate natürlichen Ursprungs (Steinwolle, Perlit, Pouzzolane etc.) zur Verfügung.

Die Zusammensetzung der Elemente in der Nährlösung ist komplex und spielt für den erfolgreichen Anbau von Substratkulturen eine entscheidende Rolle, insbesondere in Systemen, bei denen das Dränwasser rezykliert wird (Pivot et al. 1999; Le Quilic et al. 2002). Der Anbau auf Substrat weist gegenüber der herkömmlichen Erdkultur folgende Vorteile auf:

- Vereinfachung der Kulturarbeiten (Ernte und Unkrautbekämpfung)
- Erhöhung des Ertragspotenzials
- bessere Steuerbarkeit der Fröhreife



Abbildung 1 | Paprika auf Substrat (Foto: Agroscope).



Abbildung 2 | Tomaten sind das wichtigste Gemüse auf Substrat in der Schweiz (Foto: Agroscope).

- Begrenzung von fruchtfolgebedingten Ertragsausfällen im Zusammenhang mit bodenbürtigen Krankheiten, Schädlingen und mangelnder Bodenfruchtbarkeit
- Reduktion der Nährstoffverluste und Wasserverluste mittels Rezyklierung des Dränwassers im geschlossenen System



Abbildung 3 | Gurken auf Substrat (Foto: Agroscope).

Diese Publikation enthält Empfehlungen für die Fertigation von folgenden Gemüsekulturen auf Substrat: Tomaten, Gurken, Auberginen, Peperoni und Salate (Sonneveld 1989; Brajeul *et al.* 2001; Göhler und Molitor 2002; Pivot *et al.* 2005; Urban und Urban 2010; Sonneveld und Voogt, 2009; Abbildungen 1, 2 und 3).

2. Düngungsempfehlungen

2.1 Offene und geschlossene Systeme

Das offene System (oS) ermöglicht die Zufuhr einer frischen Nährlösung bei jeder Bewässerung. Das Dränwasser

wird aufgefangen und in anderen Kulturen zur Düngung eingesetzt. Die Wiederverwertung des Dränwassers bedingt, dass sein Nährstoffgehalt bekannt ist, die Düngungsgrundlagen für die jeweiligen Kulturen berücksichtigt und diese Nährstoffe in die Düngungsbilanz aufgenommen werden.

Das geschlossene System (gS) ermöglicht dagegen ein dynamisches Rezyklieren des Dränwassers auf derselben Kultur. Die Zusammensetzung des Dränwassers variiert je nach Wasser- und Nährelementaufnahme durch die Pflanzen. Dabei kann es zu einer Anreicherung gewisser Elemente und folglich zu einem Nährstoffungleichgewicht kommen (Pivot und Gilloz 2004). Aus diesem Grund sind

Tabelle 1 | Molmasse (MM) der chemischen Elemente, die für die Zusammenstellung der Nährlösungen benötigt werden.

Element	MM g/mol	Element	MM g/mol	Element	MM g/mol
N	14,00	O	16,00	Fe	55,85
P	30,97	H	01,00	Mn	54,90
S	32,06	C	12,01	B	10,81
K	39,10	Na	22,99	Cu	63,55
Ca	40,08	Cl	35,45	Mo	95,90
Mg	24,31			Si	28,09

Tabelle 2 | Zusammenstellung der Nährlösungen für verschiedene Gemüsearten in offenen (oS) und geschlossenen Systemen (gS) auf organischen Substraten (Sonneveld und Straver 1994; Göhler und Molitor 2002; Pivot *et al.* 2005).

System	Jungpflanzen	Salat	Aubergine		Gurke		Paprika		Tomate	
	gS	gS	gS	oS	gS	oS	gS	oS	gS	oS
EC-Wert (mS/cm)	2,40	2,60	1,70	2,10	1,70	2,20	1,60	2,10	1,60	2,60
pH-Wert	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2
Makroelemente (mmol/l)										
NH ₄ ⁺	1,25	1,25	1,00	1,50	1,00	1,25	0,50	0,50	1,00	1,20
K ⁺	6,75	11,00	6,50	6,75	6,50	8,00	5,75	6,75	6,50	9,50
Ca ²⁺	4,50	4,50	2,25	3,25	2,75	4,00	3,50	5,00	2,75	5,40
Mg ²⁺	3,00	1,00	1,50	2,50	1,00	1,38	1,13	1,50	1,00	2,40
NO ₃ ⁻	16,75	19,00	11,75	15,50	11,75	16,00	12,50	15,50	10,75	16,00
SO ₄ ²⁻	2,50	1,13	1,13	1,50	1,00	1,38	1,00	1,75	1,5	4,40
H ₂ PO ₄ ⁻	1,25	2,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,00	1,25	1,25	1,50
Si ^a	–	0,50	–	–	0,75	0,75	–	–	–	–
Spurenelemente (µmol/l)										
Fe	25	40	15	15	15	15	15	15	15	15
Mn	10	5	10	10	10	10	10	10	10	10
Zn	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5
B	35	30	25	35	25	25	25	30	20	30
Cu	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Mo	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

^a optional.

regelmässig, ca. alle drei bis vier Wochen, vollständige Analysen der Nährlösung durchzuführen. Insgesamt lassen sich mit der Wiederverwertung beachtliche Mengen an Wasser und Düngemitteln einsparen. Die Notwendigkeit einer Desinfektion des zu rezyklierenden Dränwassers hängt vom Risiko der Ausbreitung von Krankheitserregern ab. In grossflächigen Gewächshausbetrieben wird in der Regel das Dränwasser desinfiziert (Langsamfiltration, UV-Bestrahlung, Ozon-, Chlorbehandlung, Ultrafiltration etc.; Göhler und Molitor 2002).

2.2 Zusammensetzung der Nährlösung

Die Nährlösung enthält nicht nur Makroelemente (Stickstoff [N], Phosphor [P], Schwefel [S], Kalium [K], Calcium [Ca] und Magnesium [Mg]), sondern auch Spurenelemente (Eisen [Fe], Mangan [Mn], Zink [Zn], Bor [B], Kupfer [Cu] und Molybdän [Mo]). Bei der Zusammenstellung der Nährlösung müssen die Nährstoffgehalte im Bewässerungswasser berücksichtigt werden. Möglicherweise decken die im eingesetzten Wasser enthaltenen Mengen an Schwefel, Calcium und Magnesium den Bedarf der betreffenden Kultur oder überschreiten ihn sogar. Die mineralische Zusammensetzung des Wassers ist abhängig von dessen Her-

kunft (Quelle, Grundwasser, Seen etc.). Es sind auch erhebliche Schwankungen im Laufe des Jahres möglich. Wasser mit einem Salzgehalt unter 0,5 mS/cm kann problemlos verwendet werden. Beträgt der Salzgehalt hingegen mehr als 1 mS/cm, dann kann das Dränwasser nur schwierig rezykliert werden.

Die Zusammensetzung von Nährlösungen wird in Mol oder mMol ausgedrückt (Tabellen 1 und 2). Das Mol ist die Menge einer Substanz, die ebenso viele Teilchen enthält, wie Atome in 0,012 kg Kohlenstoff vorliegen (^{12}C). Die molekulare Masse einer Substanz, eines Ions oder eines Atoms entspricht der Summe der vorhandenen Atommassen, ausgedrückt in Gramm. Ein Mol irgendeiner Substanz, eines Ions oder eines Atoms, enthält also dieselbe Anzahl elementarer Einheiten.

Die für die Herstellung der Nährlösungen verwendeten Präparate können in gelöster oder fester Form vorliegen, ihre chemische Zusammensetzung kann variieren. Die Dichte und Reinheit von Säuren können, je nach Herkunft, ebenfalls verschieden sein. Es ist daher unerlässlich, bei der Berechnung der Nährlösung die Zusammensetzung ihrer Bestandteile zu überprüfen. Es ist auch wichtig, die

Tabelle 3 | Zubereitung der Nährlösung mit Einzeldüngern für Tomatenkulturen auf Substrat in offenen Systemen unter Berücksichtigung der Gehalte an Nährstoffen.

Für 100 Liter Stammlösung (Konzentration: 100 x) Dünger	Menge an Nährstoffen		
	Behälter A	Behälter B	Behälter C
Kaliumhydrogenphosphat KH_2PO_4	2,04 kg		
Magnesiumnitrat $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	6,14 kg		
Mischung aus Spurenelementen	0,15 kg		
Ammoniumnitrat NH_4NO_3 (Amnitra 18 % N)	0,53 l		
Kaliumsulfat K_2SO_4	6,96 kg		
Calciumnitrat $5(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$		9,3 kg	
Salpetersäure HNO_3 – 60 % (Dichte = 1,37)			4,0 l



Abbildung 4 | Computer für die Mischung und Steuerung der Düngung von Substratkulturen (Foto: Agroscope).

Tabelle 4 | Anpassung der Nährlösung während der ersten vier bis acht Kulturwochen: Die Differenz bezieht sich auf die für die einzelnen Kulturen empfohlenen Konzentrationen in Tabelle 2 (Pivot et al. 2005).

Element (mmol/l)	Kultur			
	Aubergine	Gurke	Paprika	Tomate
NH_4^+	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,10
K^+	- 1,00	- 1,00	- 1,00	- 1,00
Ca^{2+}	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45
Mg^{2+}				+ 0,50
NO_3^-				+ 0,10

Qualität der Präparate zu kontrollieren, damit diese nicht zu viele Verunreinigungen, Ausfällungen, Karbonate und Hydroxide enthalten, die zur Bildung von unlöslichen Verbindungen in den Stammlösungen führen könnten.

Die Konzentration der Stammlösungen ist allgemein hundert- bis zweihundertmal höher als diejenige der Nährlösung (Tabelle 3). Sie ist oft limitiert durch die Löslichkeit der eingesetzten Präparate. Es sollte der Grundsatz eingehalten werden, dass Komponenten, die Sulfate oder Phosphate enthalten, nicht mit calciumhaltigen Düngern im selben Tank gemischt werden, um die Bildung von Aus-

fällungen zu vermeiden. Aus diesem Grund werden mindestens zwei Tanks mit Stammlösungen angelegt, um unverträgliche Nährstoffe getrennt aufzubewahren (Abbildung 4). Die Säuren können in einem separaten Fass verdünnt werden, um die Steuerung des pH-Wertes zu erleichtern. Die Beimischung der Spurenelemente erfolgt, mit Ausnahme von Fe, in demjenigen Tank, der Phosphate und Sulfate enthält.

2.3 Anpassung der Nährlösung

Um das Wachstum und die Entwicklung der Gemüsekulturen auf Substrat zu optimieren, sind die vorgeschlagenen Nährstoffzusammensetzungen für die verschiedenen Gemüsekulturen auf Substrat (Tabelle 2) gemäss den Angaben in Tabelle 4 für die ersten vier bis acht Wochen anzupassen. Dabei wird vor allem der Calciumgehalt erhöht und der Kaliumgehalt reduziert.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass in Perioden mit hohem Fruchtbehang für kurze Zeit (zirka eine Woche) der Gehalt von Kalium von 1 auf 2 mmol/l, in Form von KNO_3 , erhöht werden sollte.

Die Korrekturen und Anpassungen der Nährstoffgaben mittels Fertigation sind anhand von regelmässigen Analysen des Gehaltes der verschiedenen Elemente in der Nährlösung zu kontrollieren. In der Regel sind Analysen bei geschlossenen Systemen alle drei bis vier Wochen erforderlich.

Die Messung der Leitfähigkeit (EC) und des pH-Wertes erlaubt eine einfachere Kontrolle des Dränwassers (Abbildung 5). Die Leitfähigkeit des Dränwasser ist nämlich ein Indikator für die Konzentration der Nährlösung in den Substraten. Werte zwischen 2,5 und 4,0 mS/cm sind als normal zu betrachten. Je nach Kulturzustand und Kulturperiode können sie kurzzeitig auch höher liegen (5 mS/cm).



Abbildung 5 | Messen des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (EC) der Nährlösung (Foto: Agroscope).

Tabelle 5 | Richtwerte (anzustrebender Bereich) für die Blattanalyse bei Gurke, Paprika und Tomate.
(Makroelemente in % der Trockensubstanz, Mikroelemente in mg/kg Trockensubstanz; Göhler und Molitor 2002.)

Richtwerte	Kultur		
	Gurke	Paprika	Tomate
N (%)	3,5–5,5	3,5–4,2	3,2–5,0
P (%)	0,4–0,8	0,4–0,8	0,35–0,7
K (%)	3,0–5,0	5,0–6,0	3,5–5,5
Mg (%)	0,4–0,8	0,4–0,8	0,35–0,7
Ca (%)	2,0–5,5	2,8–3,2	2,0–5,0
Fe (mg/kg)	85–250	110	85–300
Mn (mg/kg)	50–300	55	50–250
B (mg/kg)	45–100	55–100	40–100
Zn (mg/kg)	30–150	–	30–125
Cu (mg/kg)	5–18	–	5–16
Mo (mg/kg)	0,3–2,0	–	0,3–3,0

In Perioden mit hohen Temperaturen verbraucht die Pflanze mehr Wasser, in Perioden mit schwacher Belichtung nimmt sie mehr Nährstoffe auf. Aufgrund der Konzentrationsschwankungen ist der EC-Wert im Dränwasser täglich zu kontrollieren und die Nährlösung entsprechend anzupassen. Der pH-Wert des Dränwassers sollte zwischen 5,5 und 7,0 liegen.

Eine weitere Möglichkeit zur Kontrolle der Düngung ist, den Gehalt an Makro- und Mikroelementen von ausgewachsenen Blättern zu analysieren. Zur Beurteilung der Blattanalysen aus der Trockensubstanz werden in Tabelle 5 Richtwerte für Tomaten, Gurken und Paprika angegeben.

2.4 Zufuhr der Nährlösung

Die Zufuhr der Nährlösung erfolgt vor allem unter Berücksichtigung des Vegetationsstadiums, der Sonneneinstrahlung und der Tageslänge. Die von der Kultur aufgenommene Menge an Wasser und Nährstoffen kann innerhalb der Saison schwanken. Es ist daher notwendig, die Versorgung mit Mineralstoffen regelmässig zu kontrollieren und Schwankungen auszugleichen, um die Düngung zu optimieren. In einem offenen, nicht rezyklierten System sollte sich die Menge des Dränwassers im Bereich von 20 % der zugeführten Wassermenge bewegen, in einem geschlossenen System mit Rezyklierung kann sie höher liegen.

3. Literatur

- Brajeul E., Javoy M., Pelletier B. & Letard M., 2001. Le concombre. Monographie. Ctifl, Paris. 349 S.
- Göhler F. & Molitor H.-D., 2002. Erdelose Kulturverfahren im Gartenbau. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (Hohenheim). 267 S.
- Le Quilicq S., Brajeul E., Sédilot C., Raynal Lacroix C., Letard M. & Grasselly D., 2002. Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat. Ctifl, Paris. 199 S.
- Pivot D., Reist A. & Gillioz J., 1999. Tomates en serre: substrats réutilisés, solutions recyclées. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 31 (5), 265–269.
- Pivot D. & Gillioz J., 2004. Poivron: adaptation de la solution nutritive en système recyclé. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 36 (6), 368–372.
- Pivot D., Gilli C. & Carlen C., 2005. Données de base pour la fumure des cultures de légumes, de fleurs et de fraises sur substrat. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 34 (4), 3–8.
- Sonneveld C., 1989. A method for calculating the composition of nutrient solutions for soilless cultures. Serie: Voedingsoplossingen glastuinbouw n°10, 3rd ed. 13 S.
- Sonneveld C. & Voogt W., 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer Science + Business Media B.V. Springer Netherlands. 431 S.
- Sonneveld C. & Straver N. B., 1994. Nutrient solution for vegetables and flowers grown in water or substrates. *Voedingsoplossingen glastuinbouw* 8, 1–33.
- Urban L. & Urban I., 2010. *La production sous serre. Tome 2: L'irrigation fertilisante en culture hors sol*, 2^e édition. Edition Tec&Doc, Paris. 233 S.

4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Molmasse (MM) der chemischen Elemente, die für die Zusammenstellung der Nährlösungen benötigt werden.	11/4
Tabelle 2 Zusammenstellung der Nährlösungen für verschiedene Gemüsearten in offenen und geschlossenen Systemen auf organischen Substraten.	11/4
Tabelle 3 Zubereitung der Nährlösung mit Einzeldüngern für Tomatenkulturen auf Substrat in offenen Systemen unter Berücksichtigung der Gehalte an Nährstoffen.	11/5
Tabelle 4 Anpassung der Nährlösung während der ersten vier bis acht Kulturwochen: Differenz bezogen auf die für die einzelnen Kulturen empfohlenen Konzentrationen in Tabelle 2.	11/5
Tabelle 5 Richtwerte (anzustrebender Bereich) für die Blattanalyse bei Gurke, Paprika und Tomate.	11/6

5. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Paprika auf Substrat.	11/3
Abbildung 2 Tomaten sind das wichtigste Gemüse auf Substrat in der Schweiz.	11/3
Abbildung 3 Gurken auf Substrat.	11/3
Abbildung 4 Computer für die Mischung und Steuerung der Düngung von Substratkulturen.	11/5
Abbildung 5 Messen des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (EC) der Nährlösung.	11/6