



10/ Düngung im Gemüsebau

Reto Neuweiler und Jürgen Krauss
Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

Auskünfte: reto.neuweiler@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	10/3
2. Nährstoffbedarf der einzelnen Gemüsearten	10/3
3. Gezielte Stickstoffdüngung	10/8
3.1 Bemessung der Stickstoffdüngung nach der N _{min} -Methode	10/8
3.2 Stickstoffdüngung unter Berücksichtigung der Pflanzensaftanalyse	10/13
4. Schwefeldüngung	10/13
4.1 Schwefelmangel	10/13
4.2 Schwefelbedarf von Gemüsekulturen	10/13
4.3 Einsatz von schwefelhaltigen Düngern	10/13
5. Bedeutung der Versorgung mit Spurenelementen	10/13
6. Blattdüngung	10/14
7. Einsatz von Recyclingdüngern	10/15
8. Schlussbetrachtung	10/15
9. Literatur	10/15
10. Tabellenverzeichnis	10/16

Foto auf der Vorderseite: Carole Parodi, Agroscope.

1. Einleitung

Hauptziel der Düngung ist es, die dem Boden entzogenen, mit dem Erntegut abgeführten Nährstoffe sowie Nährstoffverluste anderer Art zu ersetzen. Eine bedarfsgerechte Düngung ist die Grundlage einer nachhaltigen Qualitätsproduktion (Finck 1979). Im Hinblick auf die Qualitätsentwicklung ist entscheidend, dass die einzelnen Nährstoffe während der gesamten Kulturentwicklung in optimaler Menge verfügbar sind.

Gemüse aus Kulturen, die während des Wachstums zeitweilig mit Nährstoffen unterversorgt waren, ist meistens unverkäuflich, da es die Qualitätsansprüche des Handels und der Konsumenten nicht erfüllt (Neuweiler *et al.* 2008). Eine Überversorgung mit einzelnen Nährstoffen kann neben dem vermehrten Auftreten von physiologischen Störungen den Befall durch Pflanzenkrankheiten fördern (Bergmann 1993). Besonders kritisch zu betrachten ist eine übermässige Stickstoff-Düngung, nicht nur aus ökologischer Sicht, sondern auch im Hinblick auf die Entstehung von Qualitätsmängeln des Ernteproduktes. Eine hohe Stickstoff-Verfügbarkeit führt zu einer lockeren Gewebestruktur, so dass am Gemüse – von der Ernte, über die Aufbereitung, bis hin zur Vermarktung – vermehrt Druck- und Schlagschäden entstehen (Krug 1991). Bei Lagergemüse ist ein Stickstoff-Überschuss häufig mit einer verkürzten Haltbarkeit verbunden. Ist beispielweise beim Anbau von Zwiebeln gegen das Kulturrende hin zu viel verfügbarer Stickstoff im Boden vorhanden, so verzögert sich die Ausreifung. Zudem können vermehrt Zwiebeln mit einem verdickten, schlecht eingezogenen Laubansatz, sogenannte Dickhäuse, auftreten (Crüger 1982).

Ein reichliches Stickstoff-Angebot ist bei Blatt- und Stängelgemüse mit einem Anstieg des Nitratgehaltes im Ernteprodukt verbunden (Vogel 1996). Überschreitungen der Toleranzwerte treten vor allem während lichtarmer Perioden im Frühjahr und Herbst auf (Wonneberger und Keller 2004).

Eine Überversorgung mit Stickstoff fördert in der Regel das Pflanzenwachstum übermässig, was zu einem sekundären Mangel an anderen Hauptnährstoffen und Spurenelementen führen kann. Bei sehr wüchsigen Salat- und Kohlbeständen treten in erhöhtem Masse Blattrandnekrosen an jüngeren Blättern (Innenbrand, Kranzfäule) auf (Holtschulze 2005). Bei Fruchtgemüsearten fördert eine hohe Stickstoff-Versorgung, insbesondere bei warmer Witterung, das Auftreten der Blütenendfäule (Bergmann 1993). Diese beiden physiologischen Störungen stehen mit einem sekundären, durch eine hohe Stickstoff-Verfügbarkeit induzierten Calcium-Mangel in Zusammenhang. Auch eine übermässige Kalium-Versorgung kann zu einem vermehrten Auftreten von Blattrandnekrosen und Blütenendfäule führen, da dadurch die Pflanzenverfügbarkeit von Calcium vermindert wird (Antagonismus).

2. Nährstoffbedarf der einzelnen Gemüsearten

Der in Tabelle 1 aufgeführte **Nährstoffbedarf** (brutto) für Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entspricht dem Nährstoffentzug der Kulturen bei optimalen Erträgen von Qualitätsgemüse. Bei der Ernte und Aufbereitung der einzelnen Gemüsearten bis zum marktfähigen Produkt fallen unterschiedliche Mengen an Ernterückständen an. Diese verbleiben bei Freilandkulturen in der Regel auf dem Feld. Die in den **Ernterückständen** enthaltenen Nährstoffe P, K und Mg können für Folgekulturen vollumfänglich angerechnet werden. Der in den Ernterückständen enthaltene N steht je nach Gemüseart den Folgekulturen zu rund 80 % zur Verfügung (= **N_{verfügbar}**). Da insbesondere während der Vegetationsruhe N-Verluste eintreten, können Folgekulturen diesen pflanzenverfügbaren N erwartungsgemäss nur zu rund 20 % ausnutzen (= **N_{verwertbar}**).

Der **Netto-Nährstoffbedarf** entspricht der Nährstoffmenge, die bei der Ernte abgeführt wird und ersetzt werden muss. Er errechnet sich im Falle von P, K und Mg aus dem Nährstoffbedarf (brutto) minus dem Nährstoffgehalt der auf dem Feld verbleibenden Ernterückstände. Bei der Berechnung des Netto-Nährstoffbedarfes an N werden, wie oben dargelegt, nur 20 % des gesamthaft in den Ernterückständen enthaltenen pflanzenverfügbaren N berücksichtigt.

Die Bedarfszahlen für P, K und Mg beziehen sich auf Böden mit einem ausreichenden Nährstoffgehalt (Versorgungsklasse C gemäss Bodenanalyse = genügend).

Düngeberechnung/Nährstoffbilanzierung: Liegen die Bodengehalte der Nährstoffe P, K und Mg auf einem tieferen oder höheren Niveau als Versorgungsklasse C, so wird der Nährstoffbedarf (brutto) aufgrund der Bodenanalyseergebnisse korrigiert (siehe Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Kapitel 4). Davon abgezählt werden die in den Ernterückständen der Vorkultur enthaltenen Nährstoffe. Wer in der Suisse-Bilanz des Bundesamts für Landwirtschaft BLW einen Mehrbedarf für P geltend machen will, muss den Nährstoffbedarf über einen gesamtbetrieblichen Düngungsplan mit Einbezug von Bodenproben vorlegen. Bei der vereinfachten Berechnung der Suisse-Bilanz werden die Nettobedarfswerte ohne vorgängige Korrektur aufgrund von Bodenanalysen als Norm eingesetzt.

Im Gemüsebau werden die pflanzenverfügbaren Nährstoffe mit der Ammoniumacetatmethode (AAE10) und/oder der Wasserextraktionsmethode (H₂O10) bestimmt. Bei der Auswahl der Bodenuntersuchungsmethode sind die Bodeneigenschaften zu berücksichtigen (siehe Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Kapitel 4).

Liegen Untersuchungsergebnisse beider Analysemethoden vor, so werden für die Nährstoffe P, K und Mg Gesamtkorrekturfaktoren berechnet. Dabei werden die von den Analyseresultaten der AAE10-Methode abgeleiteten Fak-

toren einfach, die von den Analyseresultaten der H₂O₁₀-Methode abgeleiteten Faktoren doppelt gewichtet (Gysi *et al.* 2001).

$$\text{Gesamtkorrekturfaktor} = \frac{(1 \times \text{Faktor AAE}_{10} + 2 \times \text{Faktor H}_2\text{O}_{10})}{3}$$

Die N-Düngung kann unter Berücksichtigung des jeweils aktuell pflanzenverfügbaren N optimiert werden. N_{min}-Bodenanalysen liefern wertvolle Hinweise zur momentanen Verfügbarkeit von N im Wurzelraum.



Tabelle 1a | Nährstoffbedarf, Ernterückstände und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüsekulturen im Freiland.

Kultur: Freilandgemüse	Ertrag (kg/a)	Nährstoffbedarf brutto (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Nährstoffgehalt der Ernterückstände (kg/ha)					Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N _{verf.*}	N _{verw.**}	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Kreuzblütler														
Blumenkohl	350	300	43.6 (100)	348.5 (420)	30	200	40	26.2 (60)	249 (300)	20	260	17.5 (40)	99.6 (120)	10
Bodenkohlrabi	400	160	21.8 (50)	182.6 (220)	40	60	10	8.7 (20)	83 (100)	20	150	13.1 (30)	99.6 (120)	20
Broccoli	180	250	21.8 (50)	141.1 (170)	20	150	30	8.7 (20)	66.4 (80)	10	220	13.1 (30)	74.7 (90)	10
Chinakohl	600	180	39.3 (90)	249 (300)	30	80	20	13.1 (30)	83 (100)	20	160	26.2 (60)	166 (200)	10
Kabis Frühanbau	300	160	34.9 (80)	215.8 (260)	20	100	20	17.5 (40)	91.3 (110)	10	140	17.5 (40)	124.5 (150)	10
Kabis Lager-	500	220	43.6 (100)	273.9 (330)	30	150	30	21.8 (50)	107.9 (130)	10	190	21.8 (50)	166 (200)	20
Kabis Einschneide-	800	300	52.4 (120)	332 (400)	40	200	40	26.2 (60)	124.5 (150)	20	260	26.2 (60)	207.5 (250)	20
Kohlrabi	300	140	26.2 (60)	149.4 (180)	30	40	10	8.7 (20)	49.8 (60)	10	130	17.5 (40)	99.6 (120)	20
Kohlrabi Verarbeitung	450	180	34.9 (80)	190.9 (230)	40	50	10	13.1 (30)	66.4 (80)	10	170	21.8 (50)	124.5 (150)	30
Radies 10 Bund/m ²	300	50	8.7 (20)	66.4 (80)	10	0	0	0	0	0	50	8.7 (20)	66.4 (80)	10
Rettich 8–9 Stück/m ²	400	120	21.8 (50)	182.6 (220)	20	40	10	4.4 (10)	58.1 (70)	10	110	17.5 (40)	124.5 (150)	10
Rosenkohl	250	300	48.0 (110)	307.1 (370)	20	200	40	26.2 (60)	166 (200)	15	260	21.8 (50)	141.1 (170)	5
Rüben Herbst-, Mai-	400	150	21.8 (50)	207.50 (250)	30	60	10	8.7 (20)	83 (100)	10	140	13.1 (30)	124.5 (150)	20
Wirz leicht	300	140	17.5 (40)	199.2 (240)	20	100	20	4.4 (10)	83 (100)	10	120	13.1 (30)	116.2 (140)	10
Wirz schwer	400	170	26.2 (60)	232.4 (280)	20	150	30	8.7 (20)	99.6 (120)	10	140	17.5 (40)	132.8 (160)	10
Cima di rapa	400	170	26.2 (60)	232.4 (280)	20	150	30	8.7 (20)	99.6 (120)	10	140	17.5 (40)	132.8 (160)	10
Rucola ein Schnitt	200	150	13.1 (30)	124.5 (150)	10	0	0	0	0	0	150	13.1 (30)	124.5 (150)	10
Rucola zwei Schnitte	300	210	17.5 (40)	149.4 (180)	20	0	0	0	0	0	210	17.5 (40)	149.4 (180)	20

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

Tabelle 1a (Fortsetzung)

Kultur: Freilandgemüse	Ertrag (kg/a)	Nährstoffbedarf brutto (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Nährstoffgehalt der Ernterückstände (kg/ha)					Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N _{verf.*}	N _{verw.**}	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Korblütler														
Chicorée Wurzelnbau	400	80	26.2 (60)	207.5 (250)	50	50	10	4.4 (10)	83 (100)	20	70	21.8 (50)	124.5 (150)	30
Cicorino rosso, Radicchio	160	120	17.5 (40)	116.2 (140)	20	40	10	8.7 (20)	41.5 (50)	10	110	8.7 (20)	74.7 (90)	10
Endivie	350	140	17.5 (40)	166 (200)	30	60	10	4.4 (10)	33.2 (40)	10	130	13.1 (30)	132.8 (160)	20
Endivie	600	180	21.8 (50)	207.5 (250)	30	100	20	4.4 (10)	41.5 (50)	10	160	17.4 (40)	166 (200)	20
Salate, diverse	350	100	17.5 (40)	99.6 (120)	20	40	10	8.7 (20)	41.5 (50)	10	90	8.7 (20)	58.1 (70)	10
Salate, diverse	600	120	21.8 (50)	149.4 (180)	20	50	10	4.4 (10)	49.8 (60)	10	110	17.5 (40)	99.6 (120)	10
Schnittsalat	150	60	13.1 (30)	83 (100)	20	20	0	4.4 (10)	33.2 (40)	0	60	8.7 (20)	49.8 (60)	20
Schwarzwurzel	250	130	17.5 (40)	124.5 (150)	20	60	10	4.4 (10)	41.5 (50)	10	120	13.1 (30)	83 (100)	10
Zuckerhut	350	140	21.8 (50)	149.4 (180)	30	60	10	13.1 (30)	74.7 (90)	20	130	8.7 (20)	74.7 (90)	10
Zuckerhut Convenience	600	170	21.8 (50)	149.4 (180)	30	60	10	13.1 (30)	74.7 (90)	20	160	8.7 (20)	74.7 (90)	10
Doldenblütler														
Fenchel Knollen-	400	180	21.8 (50)	232.4 (280)	30	100	20	8.7 (20)	83 (100)	10	160	13.1 (30)	149.4 (180)	20
Karotten Pariser-	250	60	17.5 (40)	132.8 (160)	20	40	10	4.4 (10)	49.8 (60)	10	50	13.1 (30)	83 (100)	10
Karotten Bund-, Früh-	350	100	21.8 (50)	149.4 (180)	30	20	0	4.4 (10)	33.2 (40)	10	100	17.5 (40)	116.2 (140)	20
Karotten Lager-, Verarbeitung	600	120	26.2 (60)	315.4 (380)	30	70	10	8.7 (20)	107.9 (130)	10	110	17.5 (40)	207.5 (250)	20
Karotten Lager-, Verarbeitung	900	150	30.5 (70)	377.6 (455)	30	100	20	8.7 (20)	128.6 (155)	10	130	21.8 (50)	249 (300)	20
Petersilie	250	100	17.5 (40)	132.8 (160)	20	20	0	4.4 (10)	33.2 (40)	0	100	13.1 (30)	99.6 (120)	20
Sellerie Knollen-	600	210	39.3 (90)	415 (500)	40	100	20	8.7 (20)	166 (200)	20	190	30.5 (70)	249 (300)	20
Sellerie Stangen-	600	200	34.9 (80)	332 (400)	30	80	20	4.4 (10)	83 (100)	10	180	30.5 (70)	249 (300)	20
Gänsefussgewächse														
Krautstiel	1000	160	34.9 (80)	249 (300)	50	40	10	8.7 (20)	66.4 (80)	20	150	26.2 (60)	182.6 (220)	30
Randen	600	150	21.8 (50)	182.6 (220)	40	60	10	4.4 (10)	49.8 (60)	20	140	17.5 (40)	132.8 (160)	20
Spinat nicht über- winternd, Aussaat vor Mitte April, ein Schnitt	120	170	10.9 (25)	166 (200)	20	40	10	2.2 (5)	41.5 (50)	5	160	8.7 (20)	124.5 (150)	15
Spinat nicht über- winternd, Aussaat nach Mitte April, ein Schnitt	120	140	10.9 (25)	166 (200)	20	40	10	2.2 (5)	41.5 (50)	5	130	8.7 (20)	124.5 (150)	15

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

Tabelle 1a (Fortsetzung)

Kultur: Freilandgemüse	Ertrag (kg/a)	Nährstoffbedarf brutto (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Nährstoffgehalt der Ernterückstände (kg/ha)					Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N _{verf.*}	N _{verw.**}	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Winterspinat ein Schnitt	120	190	10.9 (25)	166 (200)	20	40	10	2.2 (5)	41.5 (50)	5	180	8.7 (20)	124.5 (150)	15
Spinat zwei Schnitte	200	160	26.2 (60)	199.2 (240)	30	60	10	8.7 (20)	49.8 (60)	10	150	17.5 (40)	149.4 (180)	20
Hülsenfrüchte														
Bohnen Busch-, Handpflück-	150	30	26.2 (60)	166 (200)	10	150	30	17.5 (40)	107.9 (130)	5	0	8.7 (20)	58.1 (70)	5
Bohnen Verarbeitungs-	90	20	17.5 (40)	124.5 (150)	10	140	20	13.1 (30)	99.6 (120)	5	0	4.4 (10)	24.9 (30)	5
Erbsen Verarbeitungs-	70	20	24.0 (55)	174.3 (210)	20	120	20	15.3 (35)	124.5 (150)	15	0	8.7 (20)	49.8 (60)	5
Erbsen, Kefen	100	0	21.8 (50)	174.3 (210)	20	40	0	8.7 (20)	83 (100)	10	0	13.1 (30)	91.3 (110)	10
Gründüngung Leguminosen	300	0	0	0	0	50	0	8.7 (20)	41.5 (50)	10	0	0	0	0
Kürbisgewächse														
Gurken Essig-	300	150	21.8 (50)	207.5 (250)	30	60	10	8.7 (20)	66.4 (80)	10	140	13.1 (30)	141.1 (170)	20
Melone	400	150	21.8 (50)	207.5 (250)	60	60	10	8.7 (20)	66.4 (80)	20	140	13.1 (30)	141.1 (170)	40
Zucchetti, Kürbis, Patisson	500	150	13.1 (30)	124.5 (150)	10	100	20	4.4 (10)	41.5 (50)	0	130	8.7 (20)	83 (100)	10
Nachtschattengewächse														
Aubergine	400	190	21.8 (50)	166 (200)	30	80	20	13.1 (30)	58.1 (70)	20	170	8.7 (20)	107.9 (130)	10
Tomate ¹	800	130	21.8 (50)	215.8 (260)	30	0	0	0	0	0	130	21.8 (50)	215.8 (260)	30
Liliengewächse														
Lauch	500	220	30.5 (70)	232.4 (280)	30	100	20	13.1 (30)	83 (100)	10	200	17.5 (40)	149.4 (180)	20
Schnittlauch	300	180	17.5 (40)	149.4 (180)	30	60	10	4.4 (10)	49.8 (60)	10	170	13.1 (30)	99.6 (120)	20
Spargel Bleich- ¹	50	140	13.1 (30)	107.9 (130)	20	0	0	0	0	0	140	13.1 (30)	107.9 (130)	20
Spargel Grün- ¹	25	150	13.1 (30)	91.3 (110)	20	0	0	0	0	0	150	13.1 (30)	91.3 (110)	20
Zwiebeln	600	130	26.2 (60)	132.8 (160)	20	0	0	0	0	0	130	26.2 (60)	132.8 (160)	20
Verschiedene														
Gründüngung Nichtleguminosen	400	30	0	0	0	20	0	8.7 (20)	41.5 (50)	10	30	0	0	0
Kräuter, Gewürze klein	50	40	6.5 (15)	49.8 (60)	10	0	0	0	0	0	40	6.5 (15)	49.8 (60)	10
Kräuter, Gewürze mittel	150	70	17.5 (40)	157.7 (190)	25	0	0	4.4 (10)	24.9 (30)	10	70	13.1 (30)	132.8 (160)	15
Kräuter, Gewürze mittel bis gross	300	120	24.0 (55)	203.3 (245)	35	0	0	6.5 (15)	37.3 (45)	15	120	17.5 (40)	166 (200)	20
Kräuter, Gewürze gross	500	170	30.5 (70)	257.3 (310)	45	40	10	8.7 (20)	49.8 (60)	20	160	21.8 (50)	207.5 (250)	25

¹ Ernterückstände werden in der Regel abgeführt.

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

Tabelle 1a (Fortsetzung)

Kultur: Freilandgemüse	Ertrag (kg/a)	Nährstoffbedarf brutto (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Nährstoffgehalt der Ernterückstände (kg/ha)					Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N _{verf.*}	N _{verw.**}	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Nüsslisalat, Feldsalat	100	50	8.7 (20)	49.8 (60)	10	0	0	0	0	0	50	8.7 (20)	49.8 (60)	10
Rhabarber	450	140	21.8 (50)	182.6 (220)	30	60	10	8.7 (20)	83 (100)	20	130	13.1 (30)	99.6 (120)	10
Zuckermais	180	150	34.9 (80)	215.8 (260)	30	0	0	13.1 (30)	132.8 (160)	10	150	21.8 (50)	83 (100)	20
Mittelwert Freilandgemüse		130	19.6 (45)	153.5 (185)	25	50	10	6.5 (15)	53.9 (65)	10	120	13.1 (30)	99.6 (120)	15

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

Tabelle 1b | Nährstoffbedarf, Ernterückstände und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüsekulturen im Gewächshaus und unter Tunnel.

Kultur: Gewächshaus- und Hochtunnel- Gemüse	Ertrag (kg/a)	Nährstoffbedarf brutto (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Nährstoffgehalt der Ernterückstände (kg/ha)					Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N _{verf.*}	N _{verw.**}	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Aubergine Bodenkulturen	900	200	43.6 (100)	290.5 (350)	50	0	0	0	0	0	200	43.6 (100)	290.5 (350)	50
Bohnen Stangen- ^a	500	0–40	34.9 (80)	149.4 (180)	30	40	0	0	0	0	40	34.9 (80)	149.4 (180)	30
Endivie Herbst	450	140	21.8 (50)	149.4 (180)	30	0	0	0	0	0	140	21.8 (50)	149.4 (180)	30
Gurken Bodenkulturen 30 Stück/m ²	1500	200	43.6 (100)	249 (300)	60	0	0	0	0	0	200	43.6 (100)	249 (300)	60
Gurken Bodenkulturen 50 Stück/m ² ^b	2500	300	65.4 (150)	332 (400)	80	0	0	0	0	0	300	65.4 (150)	332 (400)	80
Kohlrabi	450	140	26.2 (60)	166 (200)	30	0	0	0	0	0	140	26.2 (60)	166 (200)	30
Krautstiel	900	200	43.6 (100)	332 (400)	50	0	0	0	0	0	200	43.6 (100)	332 (400)	50
Kresse ^a	130	20	4.4 (10)	24.9 (30)	10	0	0	0	0	0	20	4.4 (10)	24.9 (30)	10
Lauch	500	160	26.2 (60)	(220)	30	0	0	0	0	0	160	26.2 (60)	182.6 (220)	30
Nüsslisalat, Feldsalat ^a	120	50	4.4 (10)	49.8 (60)	10	0	0	0	0	0	50	4.4 (10)	49.8 (60)	10
Paprika Bodenkultur	600	160	21.8 (50)	207.5 (250)	30	0	0	0	0	0	160	21.8 (50)	207.5 (250)	30
Petersilie	300	100	21.8 (50)	149.4 (180)	20	0	0	0	0	0	100	21.8 (50)	149.4 (180)	20
Portulak	150	70	8.7 (20)	74.7 (90)	20	0	0	0	0	0	70	8.7 (20)	74.7 (90)	20

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}^a Auf eine N-Düngung kann nach Vorkulturen mit hoher N-Nachlieferung ganz verzichtet werden.^b Bei höheren Erträgen proportional höhere Düngung.

Tabelle 1b (Fortsetzung)

Kultur: Gewächshaus- und Hochtunnel- Gemüse	Ertrag (kg/a)	Nährstoffbedarf brutto (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Nährstoffgehalt der Ernterückstände (kg/ha)					Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N _{verf.*}	N _{verw.**}	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Radies 20 Bund/m ² ^a	400	60	13.1 (30)	83 (100)	20	0	0	0	0	0	60	13.1 (30)	83 (100)	20
Rettich 18 Stück/m ²	600	90	21.8 (50)	166 (200)	30	0	0	0	0	0	90	21.8 (50)	166 (200)	30
Rucola ein Schnitt	200	150	13.1 (30)	124.5 (150)	10	0	0	0	0	0	150	13.1 (30)	124.5 (150)	10
Rucola zwei Schnitte	300	210	17.5 (40)	149.4 (180)	20	0	0	0	0	0	210	17.5 (40)	149.4 (180)	20
Kopfsalat, Eisberg, Lollo	400	80	13.1 (30)	116.2 (140)	20	0	0	0	0	0	80	13.1 (30)	116.2 (140)	20
Schnittlauch (eine Kultur) ^c	300	100	17.5 (40)	149.4 (180)	30	0	0	0	0	0	100	17.5 (40)	149.4 (180)	30
Schnittsalat	150	50	4.4 (10)	41.5 (50)	10	0	0	0	0	0	50	4.4 (10)	41.5 (50)	10
Sellerie, Suppen-, 40 Stück/m ²	600	120	30.5 (70)	182.6 (220)	30	0	0	0	0	0	120	30.5 (70)	182.6 (220)	30
Spinat	120	100	13.1 (30)	116.2 (140)	20	0	0	0	0	0	100	13.1 (30)	116.2 (140)	20
Tomaten Bodenkultur	1200	170	34.9 (80)	282.2 (340)	60	0	0	0	0	0	170	34.9 (80)	282.2 (340)	60
Tomaten Bodenkultur	1800	250	43.6 (100)	415 (500)	80	0	0	0	0	0	250	43.6 (100)	415 (500)	80
Tomaten Bodenkultur	2400	330	69.8 (160)	564.4 (680)	120	0	0	0	0	0	330	69.8 (160)	564.4 (680)	120
Tomaten Bodenkultur	3000	400	87.3 (200)	705.4 (850)	150	0	0	0	0	0	400	87.3 (200)	705.4 (850)	150
Zucchetti, Patisson	600	160	13.1 (30)	124.5 (150)	10	0	0	0	0	0	160	13.1 (30)	124.5 (150)	10
Mittelwert Gewächshaus		130	26.2 (60)	182.6 (220)	35	0	0	0	0	0	130	26.2 (60)	182.6 (220)	35

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}^a Auf eine N-Düngung kann nach Vorkulturen mit hoher N-Nachlieferung ganz verzichtet werden.^c Schnittlauch-Treiberei ohne zusätzliche Nährstoffe.

3. Gezielte Stickstoffdüngung

3.1 Bemessung der Stickstoffdüngung nach der N_{min}-Methode

Die N-Bedarfszahlen der verschiedenen Gemüsekulturen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Gemüseproduzenten, die bei der N-Düngung die im Boden bereits vorhandene Menge an verfügbarem N berücksichtigen, stützen sich auf N_{min}-Analysen als wertvolles Hilfsmittel ab (Tabelle 2). Dabei wird der zu einem bestimmten Zeitpunkt im Boden vorliegende pflanzenverfügbare N erfasst (Wonneberger und Keller 2004). Die Entnahmetiefe der Proben richtet sich nach der artspezifischen Wurzeltiefe der jeweiligen Kultur (Gysi *et al.* 1997). Bei Gemüsearten mit einer räumlich begrenzten, flachen Durchwurzelung wird nur die

obere Bodenschicht zwischen 0 und 30 cm berücksichtigt, bei solchen mit einem ausgedehnten, bis in tiefere Bodenschichten vordringenden Wurzelwerk werden in der Bodenschicht zwischen 0 und 60 cm Proben entnommen. Für eine repräsentative Mischprobe werden mindestens zwölf Proben der Parzelle benötigt, die diagonal über die Parzelle verteilt entnommen werden. Die N_{min}-Methode ist nur dann ausreichend aussagekräftig, wenn die Probenahme und die letzte N-Gabe mindestens vier Wochen auseinander liegen.

Eine Erwärmung der entnommenen N_{min}-Proben muss bereits im Feld verhindert werden, indem die befüllten Probebeutel in einer Kühlbox zwischengelagert werden. Können die gestochenen Bodenproben nicht direkt ins Analyzelabor gebracht werden, so sollten sie tiefgefroren

werden, um die Fortsetzung der N-Mineralisierung im Plastikbeutel zu unterbinden.

Anhand des Analyseresultates wird die im Wurzelraum vorliegende Menge an pflanzenverfügbarem N (kg N/ha) ermittelt. Dieser N_{\min} -Wert wird einem Sollwert für das aktuelle Entwicklungsstadium der betreffenden Kultur (Tabelle 2) gegenübergestellt, um die noch zu düngende N-Menge zu ermitteln (= Differenz). Die N_{\min} -Analyse ist

eine Momentaufnahme und lässt keine sichere Aussage betreffend der im weiteren Kulturverlauf zu erwartenden N-Mineralisierung zu.

$$\text{N-Gabe (kg N/ha)} = N_{\min}\text{-Sollwert} - N_{\min}\text{-Gehalt des Bodens}$$

Die aufgrund von N_{\min} -Proben bemessene N-Gabe ist in die Suisse-Bilanz bzw. den Düngungsplan einzutragen.

Tabelle 2a | Stickstoffdüngung nach N_{\min} -Analysen im Freilandanbau.

Die empfohlenen N_{\min} -Analysetermine sind grau hinterlegt.

Kultur Freilandgemüse	Ertrag kg/a	N-Bedarf gesamt kg N/ha	Boden- tiefe ² der N_{\min} - Unter- suchung cm	N_{\min} -Sollwert (kg N/ha)						
				Zu beachten: N_{\min} -Analysen frühestens vier Wochen nach der letzten Düngung						
				Kulturwoche						
				0 ¹	2	4	6	8	10	12
Kreuzblütler										
Blumenkohl	350	300	60	140	330	270	180	140	100	70
Bodenkohlrabi	400	160	60	–	190	170	120	80	50	30
Broccoli	180	250	60	140	280	220	160	110	60	–
Chinakohl, gesät	600	180	60	–	230	190	120	80	50	–
Chinakohl, gesetzt	600	180	60	110	200	150	80	50	–	–
Kabis, Frühbau, Vlies	300	160	60	120	190	150	100	60	50	50
Kabis, Lager-	500	220	60	140	240	190	130	60	50	50
Kabis, Einschnide-	800	300	60	150	320	260	160	100	50	50
Kohlrabi	300	140	30	80	170	120	60	40	40	–
Kohlrabi, Verarbeitung	450	180	30	90	200	150	80	50	40	–
Radies, 10 Bund/m ²	300	50	30	90	90	40	40	–	–	–
Rettich, 8–9 Stück/m ²	400	120	30	–	150	120	80	40	–	–
Rosenkohl	250	300	60	140	320	250	180	100	50	50
Rüben, Herbst-, Mai-	400	150	60	90	180	130	70	40	40	–
Wirz, leicht	300	140	60	160	140	130	110	80	50	–
Wirz, schwer	400	170	60	180	160	140	120	100	80	60
Cima di rapa	400	170	60	180	160	140	120	100	80	60
Rucola, ein Schnitt	200	150	30	100	160	150	120	90	70	50
Rucola, zwei Schnitte	300	210	30	100	160	150	120	120	80	50
Korblütler										
Chicorée, Wurzelanbau	400	80	60	–	–	80	80	50	50	–
Cicorino rosso, Radicchio, gesät	160	120	60	–	160	130	100	80	60	40
Cicorino rosso, Radicchio, gesetzt	160	120	30	80	140	110	80	40	–	–
Endivie, gesät	350	140	60	–	180	160	130	100	70	40
Endivie, gesät	600	180	60	–	220	200	160	120	80	50
Endivie, gesetzt	350	140	30	80	170	140	110	80	40	–
Endivie, gesetzt	600	180	30	100	190	160	130	100	50	–

¹ Der N_{\min} -Sollwert zu Kulturbeginn zeigt einen bis zur ersten Kopfdüngung ausreichenden Gehalt an. N_{\min} -Bodenanalysen bei Kulturbeginn sollten nur in einer Tiefe von 0–30 cm durchgeführt werden.

² Liegt bei einer vorgegebenen N_{\min} -Untersuchungstiefe von 0–60 cm nur eine Bodenprobe in einer Tiefe von 0–30 cm vor, so wird der Wert von 0–30 cm doppelt gezählt. Die Bodenschicht 0–60 cm kann in einer Probe untersucht werden.

– keine N_{\min} -Analyse und keine Düngung zu diesem Zeitpunkt.

Tabelle 2a (Fortsetzung)

Kultur Freilandgemüse	Ertrag kg/a	N-Bedarf gesamt kg N/ha	Bodentiefe ² der N _{min} - Unter- suchung cm	N _{min} -Sollwert (kg N/ha) Zu beachten: N _{min} -Analysen frühestens vier Wochen nach der letzten Düngung						
				Kulturwoche						
				0 ¹	2	4	6	8	10	12
Salate, diverse	350	100	30	100	130	70	40	40	–	–
Salate, diverse	600	120	30	100	130	70	40	40	–	–
Schnittsalat	150	60	30	50	80	70	50	30	–	–
Schwarzwurzel	250	130	60	–	170	170	160	160	150	140
Zuckerhut, gesät	350	140	60	–	180	160	130	100	70	40
Zuckerhut, gesetzt	350	140	30	80	170	150	120	90	60	40
Zuckerhut, gesetzt	600	170	30	100	190	170	140	110	70	40
Doldenblütler										
Fenchel, Knollen-, gesät	400	180	60	–	200	190	160	130	90	40
Fenchel, Knollen-, gesetzt	400	160	30	80	180	150	120	80	40	–
Karotten, Pariser-	250	60	60	–	90	90	70	50	30	30
Karotten, Bund-, Früh-	350	100	60	–	–	130	120	80	40	30
Karotten, Lager-, Verarbeitung	600	120	60	–	150	150	100	50	30	30
Karotten, Lager-, Verarbeitung	900	150	60	–	180	170	120	70	30	30
Petersilie, gesät	250	100	60	–	–	–	150	140	130	120
Petersilie, gesetzt	250	100	30	60	150	140	130	120	110	100
Petersilie, Winter-	150	100	30	60	120	110	100	90	F	100
Sellerie, Knollen-	600	200	60	100	190	180	170	120	100	80
Sellerie, Stangen-	600	210	60	100	230	200	160	130	100	40
Gänsefussgewächse										
Krautstiel, gesät	1000	160	60	–	200	190	170	140	120	100
Krautstiel, gesetzt	1000	160	60	70	180	170	150	130	110	100
Randen	600	150	60	–	–	180	160	140	120	100
Spinat, nicht überwinternd, Aussaart vor Mitte April, ein Schnitt	120	170	30	–	160	150	110	50	–	–
Spinat, nicht überwinternd, Aussaart nach Mitte April, ein Schnitt	120	140	30	–	160	150	110	50	–	–
Winterspinat, ein Schnitt	120	190	30	–	160 ³	150	110	50	–	–
Spinat, zwei Schnitte	200	160	30	–	160	150	110	110	110	50
Hülsenfrüchte										
Bohnen, Busch-, Handpflück-	150	0	30	30	30	30	30	30	–	–
Bohnen, Verarbeitung-	90	0	30	30	30	30	30	30	–	–
Erbsen, Verarbeitung-	70	0	60	–	30	30	30	30	30	30
Erbsen, Kefen	100	0	60	–	30	30	30	30	30	–

¹ Der N_{min}-Sollwert zu Kulturbeginn zeigt einen bis zur ersten Kopfdüngung ausreichenden Gehalt an. N_{min}-Bodenanalysen bei Kulturbeginn sollten nur in einer Tiefe von 0–30 cm durchgeführt werden.

² Liegt bei einer vorgegebenen N_{min}-Untersuchungstiefe von 0–60 cm nur eine Bodenprobe in einer Tiefe von 0–30 cm vor, so wird der Wert von 0–30 cm doppelt gezählt. Die Bodenschicht 0–60 cm kann in einer Probe untersucht werden.

³ Wochen nach Wachstumsbeginn im Frühjahr.

– keine N_{min}-Analyse und keine Düngung zu diesem Zeitpunkt.

F N_{min}-Wert im Frühjahr bei Vegetationsbeginn; Düngung in zwei Gaben aufteilen.

Tabelle 2a (Fortsetzung)

Kultur Freilandgemüse	Ertrag kg/a	N-Bedarf gesamt kg N/ha	Bodentiefe ² der N _{min} - Unter- suchung cm	N _{min} -Sollwert (kg N/ha) Zu beachten: N _{min} -Analysen frühestens vier Wochen nach der letzten Düngung						
				Kulturwoche						
				0 ¹	2	4	6	8	10	12
Kürbisgewächse										
Gurken, Essig-	300	150	30	100	180	160	130	100	70	50
Melone	400	150	30	100	180	160	130	100	70	50
Zucchetti, Kürbis, Patisson	500	150	60	100	180	140	120	100	80	50
Nachtschattengewächse										
Aubergine	400	190	60	100	230	200	160	100	70	50
Tomate	800	130	60	100	140	120	100	80	80	50
Liliengewächse										
Lauch, gesät	500	220	60	–	–	–	260	220	180	150
Lauch, gesetzt	500	220	60	130	250	210	170	140	120	100
Lauch, Winter-	200	170	60	100	170	160	150	120	F	120
Schnittlauch, gesät	300	180	60	–	240	240	220	200	180	150
Schnittlauch, gesetzt	300	180	60	90	220	200	180	160	140	120
Spargel, Bleich-	50	140	60	E	170	170	170	170	170	170
Spargel, Grün-	25	150	60	E	180	180	180	180	130	100
Zwiebeln, gesät	600	130	60	–	–	180	150	120	100	100
Zwiebeln, gesteckt	600	130	60	–	170	140	110	70	50	–
Zwiebeln, Winter-	300	120	60	–	80	70	60	50	F	100
Verschiedene										
Kräuter, Gewürze, klein	50	40	30	80	80	70	60	50	40	30
Kräuter, Gewürze, mittel	150	70	30	90	120	110	90	70	50	30
Kräuter, Gewürze, mittel bis gross	300	120	30	100	200	180	160	110	70	30
Kräuter, Gewürze, gross	500	170	60	120	200	180	160	110	70	30
Nüsslisalat, Feldsalat	100	50	30	–	–	80	70	50	30	30
Rhabarber	450	140	60	–	E	170	–	–	–	–
Zuckermais	180	150	60	100	190	180	150	110	80	50

¹ Der N_{min}-Sollwert zu Kulturbeginn zeigt einen bis zur ersten Kopfdüngung ausreichenden Gehalt an. N_{min}-Bodenanalysen bei Kulturbeginn sollten nur in einer Tiefe von 0–30 cm durchgeführt werden.

² Liegt bei einer vorgegebenen N_{min}-Untersuchungstiefe von 0–60 cm nur eine Bodenprobe in einer Tiefe von 0–30 cm vor, so wird der Wert von 0–30 cm doppelt gezählt. Die Bodenschicht 0–60 cm kann in einer Probe untersucht werden.

– keine N_{min}-Analyse und keine Düngung zu diesem Zeitpunkt.

F N_{min}-Wert im Frühjahr bei Vegetationsbeginn; Düngung in zwei Gaben aufteilen.

E N_{min}-Wert nach der Ernte; Düngung in zwei Gaben aufteilen. Keine N-Düngung nach Ende Juli. Bei Rhabarber und Grünspargel zusätzlich eine Teilgabe vor Erntebeginn.

Tabelle 2b | Stickstoffdüngung nach N_{min}-Analysen im Gewächshaus und unter Hochtunnel.Die empfohlenen N_{min}-Analysetermine sind grau hinterlegt.

Kultur Gewächshausgemüse und Hochtunnel	Ertrag kg/a	N-Bedarf gesamt kg N/ha	Boden- tiefe ² der N _{min} - Unter- suchung cm	N _{min} -Sollwert (kg N/ha)						
				Zu beachten: N _{min} -Analysen frühestens vier Wochen nach der letzten Düngung						
				Kulturwoche						
				0 ¹	2	4	6	8	10	12
Aubergine	900	200	60	180	170	160	150	140	130	120
Bohnen, Stangen-	500	40	30	50	50	50	50	50	50	50
Endivie, Herbst-	450	140	30	90	180	150	120	80	50	–
Gurken, 30 Stück/m ²	1500	200	60	180	170	160	150	140	120	50
Gurken, 50 Stück/m ²	2500	300	60	180	170	160	150	140	120	120
Kohlrabi	450	140	30	170	190	140	90	50	–	–
Krautstiel	900	200	60	160	240	220	200	170	140	100
Kresse	130	20	30	30	30	–	–	–	–	–
Lauch	500	160	30	100	210	230	200	160	100	50
Nüsslisalat, Feldsalat, gesät	140	50	30	30	30	30	30	30	30	–
Nüsslisalat, Feldsalat, gesetzt	120	50	30	30	30	30	30	–	–	–
Paprika	600	160	60	110	210	200	190	180	160	140
Petersilie	300	100	30	70	150	140	130	120	110	90
Radies, 20 Bund/m ²	400	60	30	100	80	60	40	–	–	–
Rettich, 18 Stück/m ²	600	90	30	130	120	100	80	60	40	–
Rucola, Portulak, ein Schnitt	200	150	30	100	160	150	120	90	70	50
Rucola, Portulak, zwei Schnitte	300	210	30	100	160	150	120	120	80	50
Kopfsalat, Eisberg, Lollo	400	80	30	100	100	100	80	40	–	–
Schnittlauch (Kultur)	300	100	30	90	130	120	110	100	90	80
Schnittsalat	150	50	30	70	70	30	30	–	–	–
Sellerie, Suppen-, 40 Stück/m ²	600	120	30	100	170	170	150	100	70	50
Spinat	120	100	30	100	140	130	120	100	80	50
Tomaten	1200	170	60	160	150	140	130	120	110	50
Tomaten	1800	250	60	160	150	140	130	120	110	100
Tomaten	2400	330	60	160	150	140	130	120	110	100
Tomaten	3000	400	60	160	150	140	130	120	110	100
Zucchetti, Patisson	600	160	60	100	180	140	120	100	80	50

– keine N_{min}-Analyse und keine Düngung zu diesem Zeitpunkt.¹ Der N_{min}-Sollwert zu Kulturbeginn zeigt einen bis zur ersten Kopfdüngung ausreichenden Gehalt an. N_{min}-Bodenanalysen bei Kulturbeginn sollten nur in einer Tiefe von 0–30 cm durchgeführt werden.² Liegt bei einer vorgegebenen N_{min}-Untersuchungstiefe von 0–60 cm nur eine Bodenprobe in einer Tiefe von 0–30 cm vor, so wird der Wert von 0–30 cm doppelt gezählt. Die Bodenschicht 0–60 cm kann in einer Probe untersucht werden.

Erinnerung: Im Gemüsebau sind gemäss den Vorgaben des Labels Suisse Garantie und des Vereins SwissGAP keine Einzelgaben von N über 60 kg Nitrat-N pro ha erlaubt.

3.2 Stickstoffdüngung unter Berücksichtigung der Pflanzensaftanalyse

Die sogenannte Pflanzensaftanalyse von Nitrat kann hilfreich sein, um den aktuellen Versorgungszustand einer Kultur mit N zu beurteilen. Diese Methode ermöglicht eine kurzfristige Entscheidung, ob und in welcher Grössenordnung eine Nachdüngung erfolgen soll. Da es sich um keine Exaktmethode im engeren Sinn handelt, ist sie im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) im Gegensatz zur N_{\min} -Methode nicht anerkannt, um einen Mehrbedarf an N über die offizielle Norm hinaus zu rechtfertigen.

4. Schwefeldüngung

Der Eintrag von Schwefel (S) aus der Luft konnte bis vor kurzem den grössten Teil des S-Bedarfs der meisten Gemüsekulturen decken. Da diese S-Quelle zunehmend versiegt (Flisch *et al.* 2009), gewinnt die organische Substanz der Böden im Hinblick auf die S-Versorgung der Kulturpflanzen an Bedeutung. Humusreiche Böden sowie Flächen, auf denen regelmässig Hofdünger und Komposte ausgebracht werden, haben ein erhöhtes Nachlieferungsvermögen für pflanzenverfügbaren S. Bei der Mineralisierung von organischer Substanz wird neben N und P auch S in Form von Sulfat freigesetzt.

4.1 Schwefelmangel

S ist an verschiedenen Stoffwechselprozessen, unter anderem auch am Aufbau von Blattgrün, beteiligt. Ausserdem ist S ein Baustein von verschiedenen wichtigen Aminosäuren und anderen Pflanzeninhaltsstoffen wie Glucosinolaten (Bergmann 1993). Letztere sind bei Kohlarten und anderen Vertretern aus der Familie der Kreuzblütler wichtige Geschmackskomponenten. Bei Gemüsearten wie Zwiebeln, Knoblauch, Lauch und Spargel bestimmen ebenfalls schwefelhaltige Inhaltsstoffe den Geschmack und die Schärfe des Ernteproduktes massgeblich.

Augenfällige Symptome einer Unterversorgung mit S sind blassgrüne bis gelbe Blätter, bei denen im Extremfall auch die Blattadern vergilben. Anzeichen von S-Mangel werden zuerst an den jüngeren Blättern sichtbar.

4.2 Schwefelbedarf von Gemüsekulturen

Mit einem S-Entzug von bis zu 80 kg S/ha sind Kulturarten aus der Familie der Kreuzblütler (Kohlarten, Radies und Rettich, Rucola, Meerrettich) mit Abstand am schwefelbedürftigsten. Ebenfalls einen erhöhten S-Bedarf weisen Liliengewächse (Zwiebeln, Knoblauch, Lauch) und Leguminosen (Bohnen, Erbsen) auf. Einen vergleichsweise geringen S-Bedarf haben Salate aus der Familie der Korbblütler (Bergmann 1993).

Frühsätze stellen allgemein höhere Ansprüche an die S-Versorgung als Sommer- und Herbstkulturen. In Gebieten mit einer mittleren bis hohen Niederschlagshäufigkeit wird ein grosser Teil des im Spätherbst im Oberboden noch vorhandenen pflanzenverfügbaren Sulfates während der Vegetationsruhe in tiefere Bodenschichten verlagert. Dort kann es von den Wurzeln der meisten Gemüsearten im folgenden Frühjahr nicht mehr aufgenommen werden. Bei den zu Vegetationsbeginn noch tiefen Bodentemperaturen setzt die Mobilisierung von S aus der organischen Substanz erst verzögert ein. Engpässe in der S-Versorgung entstehen daher bei Gemüsearten mit einem mittleren bis hohen S-Bedarf hauptsächlich im Frühjahr. Besonders gefährdet sind verfrühte Kulturen unter Flachabdeckung.

Mangelsymptome treten im Frühjahr bei überwinterten Gemüsearten wie Winterblumenkohl, Winterzwiebeln und Knoblauch besonders ausgeprägt auf. Spinat ist absolut betrachtet nur mässig schwefelbedürftig. Dennoch werden bei Winterspinat im Frühjahr nicht selten auffällige Chlorosen beobachtet (Reif *et al.* 2012). Das im Vorjahr bei der Grunddüngung ausgebrachte Sulfat steht den überwinterten Kulturen im Frühjahr kaum mehr zur Verfügung. Vor dem Wachstumsbeginn sollten daher erneut schwefelhaltige Düngemittel eingesetzt werden.

4.3 Einsatz von schwefelhaltigen Düngern

Verschiedene im Frühanbau von schwefelbedürftigen Gemüsearten durchgeführte Versuche von Agroscope zeigen, dass Schwefelmangel durch den Einsatz der Hauptnährstoffe P, K und Mg in Form von sulfathaltigen Düngern (Superphosphat, Kaliumsulfat, Magnesiumsulfat etc., siehe auch Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Kapitel 4.2, vollständig verhindert werden kann. Als schwefelhaltige N-Dünger eignen sich ausserdem Ammonsulfat sowie ENTEC®-Dünger zur Vorbeugung gegen S-Mangel.

In Versuchen zur S-Versorgung bei Frühkohlrabi lag die Ausbeute der mit Laub vermarktungsfähigen Knollen bei schwefelhaltiger Grunddüngung um bis zu 85 % höher als bei schwefelfreier Düngung. Dabei erwiesen sich bei dieser schwefelbedürftigen Kohlart gedüngte S-Mengen von 75 kg S/ha als ausreichend. Wird der Bedarf an P, K und Mg in Form von sulfathaltigen Düngern gedüngt, so kann der S-Bedarf selbst bei anspruchsvollen Kohlarten vollumfänglich gedeckt werden. Bei Winterspinat lassen sich qualitätsmindernde Chlorosen mit S-Gaben vor dem Vegetationsbeginn im Frühjahr in der Höhe von 10 kg S/ha vollständig verhindern.

5. Bedeutung der Versorgung mit Spurenelementen

Auf Böden, die von Natur aus arm an Spurenelementen sind, oder in denen einzelne Spurenelemente aufgrund eines im basischen oder sauren Bereich liegenden pH-Wertes mässig verfügbar sind, müssen Spurenelemente gezielt eingesetzt werden (Tabelle 3). Dabei ist zu beachten, dass

Tabelle 3 | Übersicht zur Bedeutung und zum Einsatz von Spurenelementen im Gemüsebau.

Element	Kulturen mit erhöhten Ansprüchen	Häufige Anwendungsformen	Anwendungshinweise
Eisen (Fe)	Diverse Frühkulturen auf schweren, zeitweilig zur Vernässung neigenden, basischen Böden	Eisensulfat, Eisenchelat	Bei pH-Werten im basischen Bereich ist die Wirkung von Eisensulfat über den Boden stark eingeschränkt.
Mangan (Mn)	Zwiebeln, Kartoffeln, Bohnen, Gurken, Spinat, Salate auf basischen Böden	Mangansulfat, Manganchelat	Bei pH-Werten im neutralen bis basischen Bereich zeigt die Bodendüngung mit Mangansulfat wenig Wirkung. Bei pH-Werten im sauren Bereich ist die Verfügbarkeit von Mn dagegen deutlich erhöht, so dass in schweren Böden mit hohen Mn-Reserven Mn-Toxizität auftreten kann. Staunässe fördert die Löslichkeit von Mn zusätzlich.
Bor (B)	Randen, Knollensellerie, Spinat, Mangold, Blumenkohl, Broccoli, Kohlrabi auf basischen Böden bei Trockenheit	Borax oder Borsäure	Bei hohem pH-Wert im Boden, bei anhaltender Trockenheit sowie als Sofortmassnahme Anwendung über das Blatt
Zink (Zn)	Am empfindlichsten auf Zn-Mangel reagieren Bohnen, Zwiebeln, und Spinat.	Zinksulfat, Zinkchelat	Symptome von Zn-Mangel treten bei Gemüsekulturen kaum in Erscheinung. Spezielle Düngungsmassnahmen mit Zn sind daher sehr selten erforderlich.
Molybdän (Mo)	Eine typische Zeigerkultur für Mo-Mangel ist Blumenkohl. Mangel kann vereinzelt auch bei anderen Kohlarten wie Kohlrabi auftreten. Mo-Mangel tritt hauptsächlich unter sauren Bodenbedingungen auf.	Natrium- und Ammoniummolybdat	Auf sauren Böden bei Blumenkohl Blattdüngung zur Behebung von akutem Mo-Mangel.

bei ungünstigen pH-Werten ein grosser Teil der über den Boden gedüngten Spurenelemente rasch wieder festgelegt wird und daher den Pflanzen nur sehr begrenzt zur Verfügung steht (Schachtschabel *et al.* 1984). In sauren Böden ist durch die Verwendung kalkhaltiger Dünger oder eine Aufkalkung eine mittelfristige und nachhaltige Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit möglich (vgl. Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Kapitel 5).

Eine bessere Pflanzenverfügbarkeit weisen in der Chelatform eingesetzte Fe-, Mn- und Zn-Dünger auf. Bei Chelatdüngern sind die in Ionen-Form vorliegenden Spurenelemente von einer organischen «Umhüllung» (= Chelat) eingeschlossen (Odet *et al.* 1982). Diese verhindert die Festlegung des betreffenden Spurenelementes an der Bodensubstanz. Bei hohen pH-Werten im Boden ausreichend stabile Chelatformen sind verhältnismässig teuer. Ihre Anwendung lohnt sich aus ökonomischer Sicht nur bei Gemüsekulturen mit mittlerer bis hoher Wertschöpfung.

Häufig ist die Anwendung von Spurenelementen über das Blatt die wirksamste Massnahme, um Mangelsituationen kurzfristig zu beheben. Bei Spurenelementen ist die Spanne zwischen Mangel und Überversorgung sehr eng (Trott 2013). Eine ungezielte Anwendung von spurenelementhaltigen Düngern kann leicht zu einer Überschuss-situation verbunden mit Kulturschäden führen. Daher sind die Anwendungshinweise der Hersteller bei der Bemessung von Spurenelementdüngern zu beachten.

6. Blattdüngung

Blätter können die in einem oberflächlichen Wasserfilm gelösten Nährstoffe über Kleinporen aufnehmen. Wie

rasch welcher Anteil der ausgebrachten Nährstoffe von der Pflanze aufgenommen wird, bestimmen die folgenden Hauptfaktoren:

1. Nährstoffart und Formulierung
2. Anlagerung und Verteilung der Düngerrückstände auf der Pflanzenoberfläche
3. Aufnahmefähigkeit der behandelten Pflanzenorgane, die in erster Linie von der artspezifischen Blattstruktur (Dicke der Kutikula), dem Blattalter sowie den Feuchtigkeitsbedingungen vor der Behandlung abhängig ist
4. Luftfeuchtigkeit während und nach sowie Niederschlagsereignisse nach der Anwendung (Benetzungsdauer)

Die auf das Blatt ausgebrachten Nährstoffe werden nicht an der Bodensubstanz festgelegt. Sie müssen nicht zuerst zu den Pflanzenwurzeln gelangen bzw. von diesen erschlossen werden. Blattdünger werden - verglichen mit Düngern, die über den Boden eingesetzt werden - schnell aufgenommen. Bei der Blattdüngung ist zu beachten, dass bei einmaliger Anwendung in der Regel nur ein sehr geringer Anteil des gesamten Pflanzenbedarfs gedeckt wird. Sie eignet sich daher vor allem als Massnahme bei temporären Mangelsituationen.

Die Verträglichkeit von Blattdüngungsmassnahmen hängt in hohem Masse von der Anwendungskonzentration und den Witterungsbedingungen kurz vor und nach der Behandlung ab. Im Anschluss an feuchte Perioden reagieren die meisten Gemüsekulturen bei aufkommender trocken-warmer Witterung erhöht empfindlich auf die Blattapplikation von Düngern. In solchen Situationen ist die Blattdüngung zu unterlassen bzw. die Anwendungskonzentration zu reduzieren. Die Behandlungen sind

möglichst während der kühleren Abendstunden durchzuführen.

Im Falle der Beimischung von Blattdüngern zur Pflanzenschutzmittelbrühe ist die Mischbarkeit des Blattdüngers mit den eingesetzten Pflanzenschutzmitteln abzuklären. Ist die Mischbarkeit nicht gewährleistet, kommt es in der Spritzbrühe rasch zur Ausflockung. Die Ausbringung von Blattdüngern kombiniert mit Pflanzenschutzmitteln ist allgemein mit einem erhöhten Risiko von Kulturschäden durch Phytotoxizität verbunden. Auf jeden Fall sind die Anwendungshinweise der Herstellerfirmen zu beachten.

7. Einsatz von Recyclingdüngern

Im Freilandgemüsebau gewinnen Kompost und festes Gärgut als Vertreter der Recyclingdünger zunehmend an Bedeutung. Bei ihrer Anwendung auf Gemüseflächen steht nicht der Nährstoffeffekt, sondern die Förderung der Bodenqualität und -fruchtbarkeit im Vordergrund. Die Zufuhr von organischer Substanz trägt insbesondere in tonhaltigen Böden zu einer Verbesserung der Bodenstruktur bei. Verschiedene, bislang vorwiegend im Beerenanbau durchgeführte Versuche haben ausserdem gezeigt, dass Kompost natürliche mikrobielle Gegenspieler von verschiedenen bodenbürtigen Krankheitserregern fördern kann. Bei der Beschaffung von Recyclingdüngern ist deren Qualität höchste Beachtung zu schenken.

Je Hektare Anbaufläche dürfen innerhalb von drei Jahren bis zu 25 t Kompost oder festes Gärgut (bezogen auf die Trockensubstanz) oder 200 m³ flüssiges Gärgut zu Düngezwecken eingesetzt werden, wenn dadurch der Bedarf der Pflanzen an Stickstoff und Phosphor nicht überschritten wird.

Auf einer Hektare dürfen innerhalb von zehn Jahren nicht mehr als 100 t organische und organisch-mineralische Bodenverbesserungsmittel, Kompost oder festes Gärgut als Bodenverbesserer, als Substrat, als Erosionsschutz, für Rekulтивierungen oder für künstliche Kulturerden verwendet werden (ChemRRV 2005, Anhang 2.6, Kapitel 3.2.2 Kompost und Gärgut).

Recycling- und Hofdünger sind möglichst in nicht-gemüsebaulichen Vorkulturen bzw. vor der Grundbodenbearbeitung zu Gemüsekulturen anzuwenden. Auf diese Weise können allfällige vorübergehende negative Auswirkungen auf die Kulturentwicklung und Bedenken hinsichtlich Hygiene ausgeschlossen werden.

8. Schlussbetrachtung

Im Gemüsebau sind der Kulturerfolg und im Besonderen die Qualität der Ernteprodukte in hohem Masse an eine ausgewogene Nährstoffversorgung gebunden. Dabei ist zu beachten, dass häufig auch ungeeignete physikalische Bodenbedingungen (Bodenverdichtung, Vernässung, lokale Flachgründigkeit) zu Entwicklungshemmungen und Chlorosen führen können, die leicht mit Nährstoffmangel

zu verwechseln sind. Ebenfalls im Auge zu behalten sind bodenbürtige Schaderreger, deren Auftreten am wirksamsten durch eine weit gestellte Fruchtfolge vermindert werden kann.

9. Literatur

- Bergmann W., 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart. 835 S.
- ChemRRV, 2005. Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV). Der Schweizerische Bundesrat, Bern. Zugang: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021520/index.html> [4. 11. 2016].
- Crüger G., 1982. Pflanzenschutz im Gemüsebau – Handbuch des Erwerbsgärtners. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 422 S.
- Finck A., 1979. Dünger und Düngung – Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Verlag Chemie Weinheim, New York. 442 S.
- Flich R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 16 (2), 1–97.
- Gysi C., Ryser J.-P. & Heller W., 1997. Bodenuntersuchung im Gemüsebau. Flugschrift der Eidg. Forschungsanstalt Wädenswil Nr. 122. 24 S.
- Gysi C., Ryser J.-P., Matthäus D., Koch W., Wigger A. & Berner A., 2001. Düngung. Handbuch Gemüse, herausgegeben vom Verband Schweizer Gemüseproduzenten, Bern, S. 55–88.
- Holtschulze M., 2005. Tip burn in head lettuce – the role of calcium and strategies to prevent the disorder. Inaugural-Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn. 107 S.
- Krug H., 1991. Gemüseproduktion. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg. 541 S.
- Neuweiler R., Krauss J., Konrad P. & Imhof T., 2008. Chicorée – die Wurzel richtig versorgen. Gemüse, das Magazin für den professionellen Gemüsebau 3, 10–12.
- Odet J., Musard M. & Wacquet C., 1982. Mémento fertilisation des cultures maraîchères. Edition réalisée par Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris. 398 S.
- Reif C., Arrigoni E., Neuweiler R., Baumgartner D., Nyström L., Hurrell R.H., 2012. Effect of Sulfur and Nitrogen Fertilization on the Content of Nutritionally Relevant Carotenoids in Spinach (*Spinacia oleracea*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 60, 5819–5824.
- Schachtschabel P., Blume H.-P., Hartge K.-H. & Schwertmann U., 1984. Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 442 S.
- Trott H., 2013. Mikronährstoffe in der Landwirtschaft und im Gartenbau, Bedeutung – Mangelsymptome – Düngung. Broschüre. Bundesarbeitskreis Düngung (BAD), Frankfurt am Main. 66 S.
- Vogel G., 1996. Handbuch des speziellen Gemüsebaues. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 1127 S.
- Wonneberger C. & Keller F., 2004. Gemüsebau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 373 S.

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1a Nährstoffbedarf, Ernterückstände und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüseulturen im Freiland.	10/4
Tabelle 1b Nährstoffbedarf, Ernterückstände und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüseulturen im Gewächshaus und unter Tunnel.	10/7
Tabelle 2a Stickstoffdüngung nach N_{\min} -Analysen im Freilandanbau.	10/9
Tabelle 2b Stickstoffdüngung nach N_{\min} -Analysen im Gewächshaus und unter Hochtunnel.	10/12
Tabelle 3 Übersicht zur Bedeutung und zum Einsatz von Spurenelementen im Gemüsebau.	10/14