

Spezialpublikation / 2023



10/ Düngung im Gemüsebau

Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD) – Kapitel 10

Ausgabe 2023

Autoren

Torsten Schöneberg, Frank Liebisch



Dank

Wir bedanken uns für die Korrekturen sowie die wertvollen Änderungsvorschläge bei:

Irene Weyermann (AGRIDEA)

Wolf Bischoff (TerrAquat)

Martin Freund (Inforama)

Reto Neuweiler (Agroscope)

Impressum

Herausgeber	Agroscope Müller-Thurgau-Strasse 29 8820 Wädenswil www.agroscope.ch
Auskünfte	Torsten Schöneberg, torsten.schoeneberg@agroscope.admin.ch
Lektorat	Erika Meili
Titelbild	Johann Marmy
Auflage	2. überarbeitete Auflage 2023 (1. Auflage erschienen in GRUD-Gesamtausgabe 2017); vgl. auch Chronik der Düngungsgrundlagen: Die GRUD und ihre Vorgänger
Download	www.grud.ch
Copyright	© Agroscope 2023
DOI	https://doi.org/10.34776/grud23-10

Haftungsausschluss :

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Nährstoffbedarf der einzelnen Gemüsearten	5
3	Gezielte Stickstoffdüngung	10
3.1	Optimierung der N-Effizienz	10
3.2	Bemessung der N-Düngung nach der N _{min} -Analyse	11
3.3	N-Düngung unter Berücksichtigung der Pflanzensaftanalyse	16
3.4	N-Düngung unter Berücksichtigung digitaler Messmethoden	16
3.5	Konservierung von Reststickstoff im Herbst	16
4	Schwefeldüngung	17
4.1	Schwefelmangel	17
4.2	Schwefelbedarf von Gemüsekulturen	17
4.3	Einsatz von schwefelhaltigen Düngern	18
5	Bedeutung der Versorgung mit Spurenelementen	18
6	Symptome von Nährstoffunterversorgung	20
7	Blattdüngung	21
8	Einsatz von Recyclingdüngern	22
9	Schlussbetrachtung	22
10	Literaturverzeichnis	23
11	Tabellenverzeichnis	25

1 Einleitung

Im Gemüsebau ist eine bedarfsgerechte Düngung die Grundlage einer nachhaltigen, hochqualitativen Produktion, da oft schon ein geringer Nährstoffmangel zu unverkäuflicher Ware führen kann (Feller et al., 2022). Daher ist es entscheidend, dass die einzelnen Nährstoffe während der gesamten Kulturentwicklung in optimaler Menge verfügbar sind, um den Qualitätsansprüchen des Handels und der Konsumentinnen und Konsumenten zu entsprechen (Neuweiler et al., 2008). Ein Hauptziel der Düngung ist es daher, die dem Boden entzogenen und mit dem Erntegut abgeführten Nährstoffe sowie Nährstoffverluste anderer Art zu ersetzen.

Eine Überversorgung mit einzelnen Nährstoffen kann neben dem vermehrten Auftreten von physiologischen Störungen den Befall durch Pflanzenkrankheiten fördern (Bergmann, 1993; Huber & Haneklaus, 2007; Spann & Schumann, 2010) und beträchtliche Umweltprobleme verursachen (Guntern et al., 2020). Besonders kritisch zu betrachten ist eine übermäßige Stickstoff(N)-Düngung, sowohl aus ökologischer Sicht, als auch im Hinblick auf die Entstehung von Qualitätsmängeln des Ernteproduktes. Eine hohe N-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 N-Überschuss häufig mit einer verkürzten Haltbarkeit verbunden. Ist beispielweise beim Anbau von Zwiebeln in der letzten Kulturphase 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; Lichtenhahn et al., 2003).

Bei Blatt- und Stängelgemüse führt ein reichliches N-Angebot zu einem Anstieg des Nitratgehaltes im Ernteprodukt (Vogel et al., 1996). Überschreitungen der Toleranzwerte treten vor allem während lichtarmen Perioden im Frühjahr und Herbst auf (Wonneberger et al., 2004).

Eine Überversorgung mit Stickstoff fördert in der Regel das Pflanzenwachstum übermäßig, was zu einem sekundären Mangel an anderen Haupt- und Spurennährstoffen 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 N-Versorgung, insbesondere bei warmer Witterung, das Auftreten der Blütenendfäule (Bergmann, 1993). Diese beiden physiologischen Störungen stehen mit einem sekundären, durch eine hohe N-Verfügbarkeit induzierten Calcium(Ca)-Mangel im Zusammenhang. Auch eine übermäßige Kalium(K)-Versorgung kann zu einem vermehrten Auftreten von Blattrandnekrosen und Blütenendfäule führen, da dadurch die Pflanzenverfügbarkeit von Ca vermindert wird (Antagonismus) (Feller et al., 2022; Liebisch et al., 2009; Taylor & Locascio, 2004).

2 Nährstoffbedarf der einzelnen Gemüsearten

Der Brutto-Nährstoffbedarf für Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) (Tabellen 1a und 1b) 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, die bei Freilandkulturen in der Regel auf dem Feld verbleiben. 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 (= $N_{\text{verfügbar}}$). Da insbesondere während der Vegetationsruhe N-Verluste eintreten, können Folgekulturen diesen pflanzenverfügbaren Stickstoff erwartungsgemäss nicht vollumfänglich nutzen. In der Schweiz werden derzeit 20 % berücksichtigt (= $N_{\text{anrechenbar}}$). Auch durch den Boden nachgelieferte Nährstoffe sind im Brutto-Nährstoffbedarf nicht berücksichtigt.

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 Brutto-Nährstoffbedarf minus dem Nährstoffgehalt der auf dem Feld verbleibenden Ernterückstände. Anhaltspunkte für die anrechenbare N-Menge aus den Ernteresten bietet Tabelle 1a sowie die Düngeverordnung aus Deutschland (DüV, 2017; Tabelle 4, S. 26ff). Im Gegensatz zur Schweiz können in Deutschland bei der Berechnung des Netto-Nährstoffbedarfes an N bis zu 70 % des gesamthaft in den Ernterückständen enthaltenen pflanzenverfügbaren N berücksichtigt werden (Feller et al., 2011; Krug, 1991). Inwieweit diese Angaben auf Schweizer Böden übertragbar sind, muss noch abschliessend geprüft werden.

Die Berücksichtigung der Boden-N-Nachlieferung für die Berechnung des Netto-Nährstoffbedarfs gilt heute ebenfalls als gute fachliche Praxis im Gemüsebau (Krug, 1991), dafür nutzt man heute Schätzmethode oder bodenprobenbasierte N_{min} -Analysen. Die Bedarfswerte für P, K und Mg beziehen sich auf Böden mit einem ausreichenden Nährstoffgehalt (Versorgungsklasse C gemäss Bodenanalyse = genügend).

Düngeberechnung/Nährstoffbilanzierung: Liegen die Bodengehalte der pflanzenverfügbaren Nährstoffe P, K und Mg auf einem tieferen oder höheren Niveau als Versorgungsklasse C, so wird der Brutto-Nährstoffbedarf aufgrund der Bodenanalyseergebnisse korrigiert (GRUD 2017, Modul «Bodeneigenschaften und Bodenanalysen», Kapitel 4, Flisch et al., 2017). Davon abgezogen werden die in den Ernterückständen der Vorkultur enthaltenen Nährstoffe (Tabelle 1a). Wer in der Suisse-Bilanz des Bundesamts für Landwirtschaft 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 (Agroscope, 2020c, 2020a). Bei der Auswahl der Bodenuntersuchungsmethode sind die Bodeneigenschaften zu berücksichtigen (Flisch et al., 2017, 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 Ammoniumacetatmethode abgeleiteten Korrekturfaktoren einfach, die von den Analyseresultaten der Wasserextraktionsmethode abgeleiteten Korrekturfaktoren doppelt gewichtet (Gysi et al., 2002).

$$\text{Gesamtkorrekturfaktor} = \frac{(1 * \text{Korrekturfaktor AAE10} + 2 * \text{Korrekturfaktor H2O10})}{3}$$

Die N-Düngung kann unter Berücksichtigung des jeweils aktuell pflanzenverfügbaren N optimiert werden. Neben Schätzmethode liefern N_{min} -Bodenanalysen Grundlagen zur Berücksichtigung der momentanen Verfügbarkeit von N im Wurzelraum (Agroscope, 2020d, 2020b).

Tabelle 1a: Brutto-Nährstoffbedarf, Nährstoffgehalt der Ernterückstände und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüsekulturen im Freiland (Neuweiler & Krauss, 2017).

Kultur: Freilandgemüse	Ertrag kg/a	Brutto-Nährstoffbedarf (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 anr.**	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
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
Federkohl	300	270	34.9 (80)	215.8 (260)	20	90	20	13.1 (30)	83 (100)	10	250	21.8 (50)	132.8 (160)	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 Stk/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)	207.5 (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
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
Korbblütler														
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

Kultur: Freilandgemüse	Ertrag kg/a	Brutto-Nährstoffbedarf (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 anr.**	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
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
Pastinake	400	200	52.3 (120)	340.2 (410)	35	100	20	13.1 (30)	99.6 (120)	10	180	40.3 (90)	240.7 (290)	25
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- wintend, 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- wintend, 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
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, Verarbeitung-	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, Verarbeitung-	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

Kultur: Freilandgemüse	Ertrag kg/a	Brutto-Nährstoffbedarf (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 anr. ^{**}	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
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 ^a	800	130	21.8 (50)	215.8 (260)	30	0	0	0	0	0	130	21.8 (50)	215.8 (260)	30
Liliengewächse														
Knoblauch	200	130	20.1 (45)	166 (200)	20	70	10	6.7 (15)	66.4 (80)	10	120	13.4 (30)	99.6 (120)	10
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- ^a	50	140	13.1 (30)	107.9 (130)	20	0	0	0	0	0	140	13.1 (30)	107.9 (130)	20
Spargel, Grün- ^a	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														
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
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

^a Ernterückstände werden in der Regel abgeführt.

* In Ernterückständen enthaltener N steht je nach Gemüseart den Folgekulturen zu rund 80 % zur Verfügung (= N_{verfügbar}).

** Durch potentielle N-Verluste können Folgekulturen den N_{verfügbar} nur zu rund 20 % nutzen (= N_{anrechenbar}).

*** Die angegebenen Mittelwerte dienen lediglich zur Orientierung bei Kulturen im Freiland, in denen keine Daten zur Düngungsnorm vorliegen. Da es sich nicht um gewichtete Mittelwerte handelt, sind diese als Leitlinie und nicht als Düngeempfehlung zu betrachten.

Tabelle 1b: Brutto-Nährstoffbedarf und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüsekulturen im Gewächshaus und unter Tunnel (Neuweiler & Krauss, 2017).

Kultur: Gewächshaus- und Hochtunnel-Gemüse	Ertrag kg/a	Brutto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	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	200	43.6 (100)	290.5 (350)	50
Bohnen, Stangen- ^a	500	0-40	34.9 (80)	149.4 (180)	30	40	34.9 (80)	149.4 (180)	30
Endivie Herbst	450	140	21.8 (50)	149.4 (180)	30	140	21.8 (50)	149.4 (180)	30
Gurken, Bodenkulturen, 30 Stk/m ²	1500	200	43.6 (100)	249 (300)	60	200	43.6 (100)	249 (300)	60
Gurken, Bodenkulturen, 50 Stk/m ² ^b	2500	300	65.4 (150)	332 (400)	80	300	65.4 (150)	332 (400)	80
Kohlrabi	450	140	26.2 (60)	166 (200)	30	140	26.2 (60)	166 (200)	30
Krautstiel	900	200	43.6 (100)	332 (400)	50	200	43.6 (100)	332 (400)	50
Kresse ^a	130	20	4.4 (10)	24.9 (30)	10	20	4.4 (10)	24.9 (30)	10
Lauch	500	160	26.2 (60)	182.6 (220)	30	160	26.2 (60)	182.6 (220)	30
Nüsslisalat, Feldsalat ^a	120	50	4.4 (10)	49.8 (60)	10	50	4.4 (10)	49.8 (60)	10
Paprika Bodenkultur	600	160	21.8 (50)	207.5 (250)	30	160	21.8 (50)	207.5 (250)	30
Petersilie	300	100	21.8 (50)	149.4 (180)	20	100	21.8 (50)	149.4 (180)	20
Portulak	150	70	8.7 (20)	74.7 (90)	20	70	8.7 (20)	74.7 (90)	20
Radies, 20 Bund/m ^{2a}	400	60	13.1 (30)	83 (100)	20	60	13.1 (30)	83 (100)	20
Rettich 18 Stk/m ²	600	90	21.8 (50)	166 (200)	30	90	21.8 (50)	166 (200)	30
Rucola, ein Schnitt	200	150	13.1 (30)	124.5 (150)	10	150	13.1 (30)	124.5 (150)	10
Rucola, zwei Schnitte	300	210	17.5 (40)	149.4 (180)	20	210	17.5 (40)	149.4 (180)	20
Kopfsalat, Eisberg, Lollo	400	80	13.1 (30)	116.2 (140)	20	80	13.1 (30)	116.2 (140)	20
Schnittlauch (eine Kultur) ^c	300	100	17.5 (40)	149.4 (180)	30	100	17.5 (40)	149.4 (180)	30
Schnittsalat	150	50	4.4 (10)	41.5 (50)	10	50	4.4 (10)	41.5 (50)	10
Sellerie, Suppen-, 40 Stk/m ²	600	120	30.5 (70)	182.6 (220)	30	120	30.5 (70)	182.6 (220)	30
Spinat	120	100	13.1 (30)	116.2 (140)	20	100	13.1 (30)	116.2 (140)	20
Tomaten, Bodenkultur	1200	170	34.9 (80)	282.2 (340)	60	170	34.9 (80)	282.2 (340)	60
Tomaten, Bodenkultur	1800	250	43.6 (100)	415 (500)	80	250	43.6 (100)	415 (500)	80
Tomaten, Bodenkultur	2400	330	69.8 (160)	564.4 (680)	120	330	69.8 (160)	564.4 (680)	120
Tomaten, Bodenkultur	3000	400	87.3 (200)	705.4 (850)	150	400	87.3 (200)	705.4 (850)	150
Zucchetti, Patisson	600	160	13.1 (30)	124.5 (150)	10	160	13.1 (30)	124.5 (150)	10

Kultur: Gewächshaus- und Hochtunnel-Gemüse	Ertrag kg/a	Brutto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die Berechnung der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund von Bodenanalysen				Netto-Nährstoffbedarf (kg/ha) = Norm für die vereinfachte Berechnung der Suisse-Bilanz			
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Mittelwert Gewächshaus*		130	26.2 (60)	182.6 (220)	35	130	26.2 (60)	182.6 (220)	35

^a Auf eine Stickstoffdüngung kann nach Vorkulturen mit hoher N-Nachlieferung ganz verzichtet werden.

^b Bei höheren Erträgen proportional höhere Düngung.

^c Schnittlauch-Treiberei ohne zusätzliche Nährstoffe.

* Die angegebenen Mittelwerte dienen lediglich zur Orientierung bei Kulturen im Gewächshaus und unter Tunnel, in denen keine Daten zur Düngungsnorm vorliegen. Da es sich nicht um gewichtete Mittelwerte handelt, sind diese als Leitlinie und nicht als Düngeempfehlung zu betrachten.

Im Gewächshaus- bzw. Tunnelanbau findet üblicherweise keine Einarbeitung der Ernterückstände statt, weshalb keine Rückgewinnung von Nährstoffen erfolgt. Daher gleicht hier der Netto-Nährstoffbedarf dem Brutto-Nährstoffbedarf. Einzig beim Anbau von Leguminosen (z.B. Stangenbohnen) können durch die N-Fixierung 40 kg N/ha in der Suisse-Bilanz angerechnet werden.

3 Gezielte Stickstoffdüngung

Im Gegensatz zu Ackerkulturen findet die Ernte bei vielen Gemüsearten pflanzenphysiologisch betrachtet in frühen Entwicklungsstadien, weit vor der eigentlichen «Abreifung» der Kultur, statt. Insbesondere Blattgemüse befindet sich zum Zeitpunkt der Ernte noch im Wachstum und ist daher bis zur Ernte auf eine bedarfsgerechte N-Versorgung angewiesen.

3.1 Optimierung der N-Effizienz

Werden nährstoffbedürftige Gemüsekulturen bedarfsgerecht gedüngt, bleiben bei Kulturende je nach Gemüseart mittlere bis hohe Restmengen an Stickstoff im Wurzelraum zurück. Bei einigen Gemüsekulturen enthalten zudem die auf dem Feld belassenen Ernterückstände beachtliche N-Mengen, die in Folge freigesetzt und pflanzenverfügbar werden (Spiess et al., 2022). Die Nachlieferung von N aus der Vorkultur ist dabei stark abhängig von der Art und Menge der Erntereste, die auf dem Feld verbleiben (z.B. Blumenkohl 77–90 kg N/ha – Mineralisierungsdauer: 10 Wochen oder Kopfsalat 9 kg N/ha – Mineralisierungsdauer: 4 Wochen) sowie von der Art der Einarbeitung und von den Witterungsbedingungen. Abhängig von den vorherrschenden Bedingungen können 20 % bis 70 % des N aus den Ernterückständen der Folgekultur angerechnet werden (Feller et al., 2011; Neuweiler & Krauss, 2017). Unter guten Bedingungen (Boden nicht vernässt oder verdichtet) können zwischen Mai und September ca. 50 % der gesamten N-Menge aus den Ernteresten angerechnet werden. Bei sehr guten Bedingungen (flaches Einarbeiten der Erntereste, warm-feuchte Witterung) können bis zu 70 % angerechnet werden.

Sobald der Boden sich erwärmt, ist auch die Mineralisierung von organischer Bodensubstanz eine nicht zu unterschätzende N-Quelle. Während sich bei den ersten Kulturen im Frühjahr der im Boden vorhandene und verfügbare Stickstoff in Grenzen hält, stehen nachfolgenden Gemüsesätzen von den Vorkulturen und durch die angestiegenen Bodentemperaturen beschleunigte Mineralisierung deutlich höhere N-Mengen zur Verfügung. Diese können von den sich entwickelnden Gemüsepflanzen ebenso gut aufgenommen und verwertet werden wie frisch verabreichter Düngerstickstoff. Durch das Einbeziehen von N-Mengen aus der Bodenmineralisierung in die Düngeberechnung ist je nach Kultur eine Reduktion der Düngemenge um bis zu 15 % möglich (Baumgarten, 2008).

Im warmen, aktiven Boden ist die N_{min}-Methode für die Bestimmung des verfügbaren Stickstoffs sehr aufschlussreich. Verschiedene im Rahmen von Gemüsebaufolgerfolgen durchgeführte N_{min}-Untersuchungen ergaben, dass bei Sommerkulturen der im Boden bereits vorhandene mineralische Stickstoff einen grossen Teil des Bedarfs decken

kann. Andere pflanzenbasierte Messmethoden, wie die Pflanzensaftanalyse auf Nitrat, können ebenfalls wertvolle Hinweise zum N-Versorgungszustand der Kulturen liefern. Bisher werden sie aber im Schweizer Gemüsebau nur vereinzelt angewendet.

3.2 Bemessung der N-Düngung nach der N_{\min} -Analyse

Die N-Bedarfszahlen der verschiedenen Gemüsekulturen sind in Tabelle 1a und 1b zusammengestellt. Gemüseproduzentinnen und -produzenten, die bei der N-Düngung die im Boden bereits vorhandene Menge an verfügbarem N berücksichtigen, stützen sich auf N_{\min} -Analysen (Agroscope, 2020d, 2020b) als wertvolles Hilfsmittel ab (Tabelle 2a & 2b). Dabei wird der zu einem bestimmten Zeitpunkt im Boden vorliegende, pflanzenverfügbare Stickstoff erfasst (Wonneberger et al., 2004).

Optimal ist eine Probenahme unmittelbar vor dem Auspflanzen bzw. der Aussaat sowie vor dem jeweiligen Kopfdüngungstermin (Baumgarten, 2008). Die Entnahmetiefe der Proben (Tabelle 2a & 2b) richtet sich nach der artspezifischen Wurzeltiefe der jeweiligen Kultur (Gysi et al., 1997; Zemek et al., 2020). 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 oder 0 und 90 cm Proben entnommen (Tabelle 2a & 2b). Bei sehr steinigem Boden kann die Beprobung auf 90 cm einen grossen Aufwand darstellen. Empirische Erfahrungen zeigen, dass die Verringerung der Beprobungstiefe um 30 cm die Schätzung des N-Bedarfs oft nur gering beeinflusst (Zemek et al., 2020). Für eine repräsentative Mischprobe werden mindestens zwölf Proben diagonal über eine Parzelle verteilt entnommen und gemischt. Für eine korrekte Beurteilung der Bodenparameter sollte der Feuchtigkeitszustand des Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme Pflugarbeit zulassen (Baumgarten, 2008).

Die N_{\min} -Methode ist nur dann ausreichend aussagekräftig, wenn die Probenahme und die letzte N-Gabe mindestens vier Wochen, bzw. drei Monate nach organischer Düngung, auseinanderliegen (Baumgarten, 2008). Da durch Bodenbearbeitung die Mineralisierung der organischen Substanz angeregt und damit Stickstoff mobilisiert wird, sollte die Probenahme nicht direkt nach der Bearbeitung erfolgen (Baumgarten, 2008). Zum Brechen von Arbeitsspitzen und Gewährleistung einer optimalen Probenahme wird diese heute oft durch spezialisierte Lohnunternehmer maschinell durchgeführt.

Eine Erwärmung der entnommenen N_{\min} -Proben muss bereits im Feld verhindert werden, indem die befüllten Probebeutel in einer Kühlbox zwischengelagert und gekühlt versendet werden. Entsprechendes Material zum Versand wird heute i.d.R. von den anbietenden Laboren bereitgestellt. Können die entnommenen Bodenproben nicht direkt ins Analyselabor geliefert werden, sollten sie tiefgefroren werden, um die Fortsetzung der N-Mineralisierung im Probenbeutel zu unterbinden.

Anhand des Analyseresultates wird die im Wurzelraum vorliegende Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff (kg N/ha) zum Zeitpunkt der Probenahme ermittelt (Agroscope, 2020b). Dieser N_{\min} -Wert wird dem Sollwert für das aktuelle Entwicklungsstadium der betreffenden Kultur (Tabelle 2a & 2b) 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	Bodentiefe ² der N _{min} -Untersuchung cm	N _{min} -Sollwert (kg N/ha)						
				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	–	–
Cima di rapa	400	170	60	180	160	140	120	100	80	60
Federkohl	300	270	60	110	290	220	150	70	50	–
Kabis, Frühanbau, Vlies	300	160	60 (90)	120	190	150	100	60	50	50
Kabis, Lager-	500	220	60 (90)	140	240	190	130	60	50	50
Kabis, Einschneide-	800	300	60 (90)	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 Stk/m ²	400	120	30 (60)	–	150	120	80	40	–	–
Rosenkohl	250	300	60 (90)	140	320	250	180	100	50	50
Rüben, Herbst-, Mai-	400	150	60	90	180	130	70	40	40	–
Wirz, leicht	300	140	60 (90)	160	140	130	110	80	50	–
Wirz, schwer	400	170	60 (90)	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
Korbblütler										
Chicorée, Wurzelanbau	400	80	60 (90)	–	–	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	–
Salate, diverse	350	100	30	100	130	70	40	40	–	–
Salate, diverse	600	120	30 (60)	100	130	70	40	40	–	–
Schnittsalat	150	60	30	50	80	70	50	30	–	–
Schwarzwurzeln	250	130	60 (90)	–	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

Kultur Freilandgemüse	Ertrag kg/a	N-Bedarf gesamt kg N/ha	Bodentiefe ² der N _{min} -Untersuchung 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
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 (90)	–	150	150	100	50	30	30
Karotten, Lager-, Verarbeitung	900	150	60 (90)	–	180	170	120	70	30	30
Pastinake	400	200	60	–	230	220	170	120	80	50
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, Aussaat vor Mitte April, ein Schnitt	120	170	30	–	160	150	110	50	–	–
Spinat, nicht überwinternd, Aussaat 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 (60)	30	30	30	30	30	–	–
Bohnen, Verarbeitung-	90	0	30 (60)	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	–

Kultur Freilandgemüse	Ertrag kg/a	N-Bedarf gesamt kg N/ha	Bodentiefe ² der N _{min} -Untersuchung cm	N _{min} -Sollwert (kg N/ha)						
				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
Zucchini, 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										
Knoblauch	200	130	60	–	80	70	60	50	F	110
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 (90)	E	170	170	170	170	170	170
Spargel, Grün-	25	150	60 (90)	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 (90)	–	E	170	–	–	–	–
Zuckermais	180	150	60 (90)	100	190	180	150	110	80	50

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

F N_{min}-Wert im Frühjahr bei Vegetationsbeginn.

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.

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 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. Die in Klammern angegebenen Werte beziehen sich auf Probenahmetiefen aus dem angrenzenden Ausland (Zemek et al., 2020). Je nach Bodenart kann eine tiefere Probenahme zu einer genaueren Schätzung des N-Bedarfs der entsprechenden Kultur beitragen.

³ Wochen nach Wachstumsbeginn im Frühjahr.

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	Bodentiefe ² der N _{min} -Untersuchung Cm	N _{min} -Sollwert (kg N/ha)						
				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 Stk/m ²	1500	200	60	180	170	160	150	140	120	50
Gurken, 50 Stk/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 Stk/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 Stk/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 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.

Für eine optimale Nutzung des Düngers durch die Pflanze empfiehlt es sich, die Düngermenge bei kurzfristig und mittelfristig wirksamen Düngern in mehreren Teilgaben zu applizieren. Dadurch werden Verlagerungen von Nitrat in tiefere, für die Pflanze nicht nutzbare, Bodenschichten vermieden und die Düngung kann der Kulturentwicklung angepasst werden (Lindemann-Zutz et al., 2021). Der Stickstoffbedarf ist abhängig von der Gemüseart, dem angestrebten Ertrag sowie dem Entwicklungsstadium der Pflanze und verschiedenen Standortfaktoren. Eine gemüseartspezifische Übersicht über den N-Bedarf während der Kulturdauer ist in Feller et al. (2011) aufgeführt. Durch die Berücksichtigung von N-Bedarf und Bodenvorrat kann das kulturbegleitende N_{\min} -Sollwerte(KNS)-System (Lorenz, 1989) angewendet werden, um die N-Düngung flexibel anzupassen. Eine Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung kann zudem helfen, Fäulnis, Schossen und zu hohe Nitratwerte in der Pflanze zu vermeiden.

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

Die Produktionsanforderungen und zulässigen Düngehöchstmengen für Einzelgaben anderer Label können ggf. abweichen und sollten entsprechend beachtet werden. Weitere Informationen sind in der Broschüre «Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft» verfügbar (BAFU & BLW, 2012).

3.3 N-Düngung unter Berücksichtigung der Pflanzensaftanalyse

Die Pflanzensaftanalyse auf Nitrat kann hilfreich sein, um den aktuellen Versorgungszustand einer Kultur mit Stickstoff zu beurteilen. Diese Methode ermöglicht eine kurzfristige Entscheidung, ob und in welcher Grössenordnung eine Kopfdüngung erfolgen soll. Dafür werden die gemessenen Nitratgehalte in ppm (mg / kg Nitrat pro kg Frischmasse) mit dem entsprechenden Sollwert der Kultur verglichen (Neuweiler, 2011). Wird der Sollwert um 500–1000 ppm unterschritten, erfolgt eine Kopfdüngung von ca. 30 kg N/ha, bei einer Unterschreitung von mehr als 1000 ppm werden ca. 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler, 2011). Die Methode wird im Rahmen von Düngeversuchen evaluiert und mit Ergebnissen aus dem Ausland verglichen, um zukünftig eine genauere Anpassung an die Kulturführung zu ermöglichen.

3.4 N-Düngung unter Berücksichtigung digitaler Messmethoden

Die N_{\min} -Analyse von Bodenproben ist geeignet, um Aussagen über die Nährstoffversorgung des Bodens zum Zeitpunkt der Probennahme zu treffen. Da die Beprobung und anschliessende Analyse zeitaufwendig sind, ist diese Methode aber oft nicht geeignet, um kurzfristige Düngeentscheidungen zu treffen oder räumliche Variabilität zu berücksichtigen. Die im Vergleich schneller durchführbare Pflanzensaftanalyse gibt Hinweise über den Versorgungszustand der Pflanze, aber nicht über das N-Reservoir im Boden. Digitale, sensorgestützte Messmethoden bieten eine Entscheidungshilfe, die diese Lücke möglicherweise in Zukunft schliessen kann. Durch verschiedene Methoden können der Ist-Zustand der Nährstoffe im Boden und/oder in der Pflanze in Echtzeit erhoben und Dünge massnahmen kurzfristiger und räumlich variabel geplant und durchgeführt werden.

Aufgrund der Vielfaltigkeit der Kulturen im Gemüsebau wurden bisher wenige Erfahrungen mit sensorgestützten Messmethoden gemacht. Ergebnisse aus dem Ackerbau zeigen aber, dass eine standortangepasste Düngung aufgrund sensorgestützter Daten die N-Überschüsse bei gleichbleibendem Ertrag reduzieren kann (Grossrieder et al., 2022). Um zuverlässige Ergebnisse zu produzieren und die Einführung in die Praxis zu erleichtern, werden sensorgestützte Messmethoden ständig verbessert und Untersuchungen zur Anwendung und Genauigkeit im Vergleich zur N_{\min} -Methode durchgeführt. Aktuell (Stand: Juni 2023) gibt es für den Gemüsebau noch keine digitale, sensorgestützte Methode, die ausreichend validiert ist, um Düngeempfehlungen für die Praxis bereitzustellen.

3.5 Konservierung von Reststickstoff im Herbst

Wird der bereits vorhandene, verfügbare Stickstoff im Boden bei der Bemessung der N-Düngung von Folgekulturen nicht berücksichtigt, so bleibt er ungenutzt zurück und wird i.d.R. spätestens während der vegetationsfreien Zeit im Winter ausgewaschen. In dieser Hinsicht am stärksten gefährdet sind Reststickstoffmengen von N-bedürftigen Blattgemüse- oder Kohlkulturen (z.B. Salate, Spinat, Blumenkohl, Broccoli), die erst im Spätsommer und Herbst abgeerntet werden und auf die keine Nachkulturen mehr folgen.

Wo Gemüsebestände ausreichend früh geerntet werden, lässt sich die Verlagerung von Nitrat am wirksamsten durch die Einsaat von sich rasch entwickelnden Gründüngungskulturen vermindern. Dafür eignen sich insbesondere spätsaatverträgliche Mischungen oder Getreidearten wie Hafer als stickstoffzehrende Begrünungsarten, da diese im Winter abfrieren und zu Beginn der Vegetationsphase in den Boden eingearbeitet werden können, um so den Stickstoff zu mobilisieren. Bei spät räumenden Kulturen, die keinen Zwischenfruchtanbau zulassen, muss vermehrt auf das Management von Ernterückständen geachtet werden. Rüstabfälle aus der Verarbeitung sollten nicht direkt wieder auf die Felder ausgebracht, sondern idealerweise anderweitig verwendet, z.B. kompostiert oder in Biogasanlagen vergoren, werden. Dies gilt insbesondere für Regionen mit Nitratproblemen im Grundwasser.

4 Schwefeldüngung

Durch die Einführung der verbindlichen Rauchgasentschwefelung entfiel der Eintrag von Schwefel aus der Luft, durch den der Schwefelbedarf der meisten Gemüsekulturen gedeckt werden konnte. Da diese Schwefelquelle zunehmend versiegt (Flisch et al., 2009), gewinnt der in der organischen Substanz der Böden gebundene Schwefel und die S-Düngung im Hinblick auf die Schwefelversorgung der Kulturpflanzen an Bedeutung. Humusreiche Böden sowie Flächen auf denen regelmässig Hofdünger und Komposte ausgebracht werden, haben ein erhöhtes Nachlieferungsvermögen für pflanzenverfügbaren Schwefel. Zu beachten ist, dass die Nährstoffe nur langsam freigesetzt werden und der Kultur im Anwendungsjahr nur zu ca. 5–10 % zur Verfügung stehen (Becker et al., 2016). Bei der Mineralisierung von organischer Substanz wird neben Stickstoff und Phosphor auch Schwefel in Form von Sulfat freigesetzt.

4.1 Schwefelmangel

Schwefel ist an verschiedenen Stoffwechselprozessen, unter anderem auch am Aufbau von Blattgrün, beteiligt. Ausserdem ist Schwefel 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.

4.2 Schwefelbedarf von Gemüsekulturen

Mit einem Schwefelentzug 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 Schwefelbedarf weisen Liliengewächse (Zwiebeln, Knoblauch, Lauch) und Leguminosen (Bohnen, Erbsen) auf. Einen vergleichsweise geringen Schwefelbedarf haben Salate aus der Familie der Korbblütler (Bergmann, 1993; Flisch et al., 2017).

Frühsätze stellen allgemein höhere Ansprüche an die Schwefelversorgung 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 Schwefel aus der organischen Substanz erst verzögert ein. Engpässe in der Schwefelversorgung entstehen daher bei Gemüsearten mit einem mittleren bis hohen Schwefelbedarf 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 überwintertem Spinat 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, daher sollten vor dem Wachstumsbeginn 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 GRUD 2017, Modul «Eigenschaften und Anwendung von Düngern», Kapitel 4.2, Richner et al., 2017) vollständig verhindert werden kann. Als schwefelhaltige N-Dünger eignen sich ausserdem Ammonsulfat sowie ENTEC®-Dünger zur Vorbeugung gegen Schwefelmangel.

In Versuchen zur Schwefelversorgung 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 Schwefelmengen von 75 kg S/ha als ausreichend (Neuweiler, 2013). Wird der Bedarf an P, K und Mg in Form von sulfathaltigen Düngern verabreicht, so kann der Schwefelbedarf selbst bei anspruchsvollen Kohlarten vollumfänglich gedeckt werden. Bei Winterspinat lassen sich qualitätsmindernde Chlorosen in der Regel mit Schwefelgaben 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 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 (siehe GRUD 2017, Modul «Bodeneigenschaften und Bodenanalysen», Kapitel 5, Flisch et al., 2017).

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 sind ausreichend stabile Chelatformen 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, 2007). Eine ungezielte Anwendung von spurenelementhaltigen Düngern kann leicht zu einer Überschusssituation verbunden mit Kulturschäden führen. Daher sind die Anwendungshinweise der Hersteller bei der Bemessung von Spurenelementdüngern zu beachten.

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

Element	Kulturen mit erhöhten Ansprüchen	Häufige Anwendungsformen	Anwendungshinweise
Eisen (Fe)	Diverse Frühlkulturen auf schweren, zeitweilig zur Vernässung neigenden, basischen Böden	Eisensulfat, Eisenchelate	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, Manganchelate	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 Mangan dagegen deutlich erhöht, so dass in schweren Böden mit hohen Manganreserven Mangantoxizität auftreten kann. Staunässe fördert die Löslichkeit von Mangan zusätzlich.
Bor (B)	Randen, Spinat, Mangold, Knollensellerie, Blumenkohl, Broccoli, Kohlrabi auf basischen Böden bei Trockenheit	Borax, Borsäure	Bei hohem pH-Wert im Boden, bei anhaltender Trockenheit sowie als Sofortmassnahme Anwendung über das Blatt.
Zink (Zn)	Am empfindlichsten auf Zinkmangel reagieren, Bohnen, Zwiebeln und Spinat.	Zinksulfat, Zinkchelate	Symptome von Zinkmangel treten bei Gemüsekulturen kaum in Erscheinung. Spezielle Düngungsmassnahmen mit Zink sind daher sehr selten erforderlich.
Molybdän (Mo)	Eine typische Zeigerkultur für Molybdänmangel ist Blumenkohl. Mo-Mangel kann vereinzelt auch bei anderen Kohlarten wie Kohlrabi auftreten. Er tritt hauptsächlich unter sauren Bodenbedingungen auf.	Natrium- und Ammoniummolybdat	Auf sauren Böden bei Blumenkohl Blattdüngung zur Behebung von akutem Molybdänmangel.

6 Symptome von Nährstoffunterversorgung

Sobald der Nährstoffhaushalt der Pflanze nicht mehr ausgeglichen ist, zeigen sich Mangelsymptome, die Hinweise auf den Ernährungszustand geben. Ein Überblick über die auffälligsten Mangelsymptome bei den einzelnen Nährstoffen im Gemüsebau gibt Tabelle 4 (Knickmann & Tepe, 1966; Krug, 1991). Detaillierte Beschreibungen von Nährstoffmängeln bei den jeweiligen Gemüsearten finden sich in Zorn et al. (2016) sowie Wissemeier & Olf (2019).

Tabelle 4: Übersicht von Nährstoffmangelsymptomen.

Element	Mangelsymptom
Stickstoff (N)	Vorwiegend an älteren Blättern, erst später an jungen Blättern. Insgesamt schwacher Wuchs und Ausbildung schmaler, kleiner Blätter. Gesamtes Blatt oft chlorotisch gelbgrün verfärbt. Kohlarten oft graugrün, Rotkohl, Rote Rüben tief dunkelrot gefärbt. Kopfbildung, bzw. Ansatz und Ausbildung von Früchten ist gehemmt.
Phosphor (P)	Vorwiegend an älteren Blättern. Dunkelgrüne Blattfärbung und starke Wuchsdepression. Je nach Gemüseart (z.B. Kohl, Tomaten) rötlich-violetter Schimmer auf der Blattunterseite; teils Deformierungen und Kräuselungen der Blätter. Bei starkem Mangel Entstehung von Nekrosen oder braunroten Verfärbungen.
Kalium (K)	Vorwiegend an älteren Blättern. Häufig blaugrüne Verfärbung der Blätter (bei Erbsen und Bohnen in der Regel heller gefärbt). Pflanze wirkt schlaff («Welketracht») und Blätter werden vom Rand her gelb und vertrocknen (Blattrandnekrosen). Mangelhafte Kopfbildung und gewellte Blätter bei Salat; Einrollen der Blätter bei Bohnen und Erbsen.
Magnesium (Mg)	Vorwiegend an älteren Blättern, später auch an jüngeren Blättern. Gelbfärbung mit anschließender Nekrose, teils auch rote, purpurne oder orange Verfärbung; Blattadern bleiben grün. Bei Kohlarten häufig marmorierte Blätter.
Schwefel (S)	Vorwiegend an jüngeren Blättern. Blassgrüne bis gelbe Blätter, im Extremfall Vergilbung der Blattadern.
Calcium (Ca)	Vorwiegend an jungen Blättern. Pflanzenteile deformiert. Entstehung von Blütenendfäule (z.B. Tomate, Paprika), Kranzfäulen oder Innenbrand bei Salaten.
Bor (B)	Vorwiegend an jungen Pflanzenteilen. Deformation der Blätter und kümmerlicher Wuchs. Schädigungen sehr häufig am Vegetationspunkt der Pflanze («Herztrockenfäule»). Gestörte Blütenbildung und Aufplatzen der Haut (z.B. Radieschen, Rettich).
Mangan (Mn)	An gesamter Pflanze möglich, vor allem an jungen Blättern. Punktförmige Chlorosen und Nekrosen; Wurzelentwicklung ist gehemmt.
Eisen (Fe)	Vorwiegend an jungen Blättern. Chlorotische, fast gelbe Blätter mit grünen Adern.
Molybdän (Mo)	Vorwiegend an jungen Blättern (Deformierungen). Vor allem Kreuzblütler (Blumenkohl, Rettich, Weisskohl, Kohlrabi) und Leguminosen sind sensibel.
Kupfer (Cu)	Vorwiegend an jungen Pflanzenteilen. Pflanzenteile deformiert.
Zink (Zn)	Je nach Pflanzenart erscheinen Chlorosen und später Nekrosen an jungen und/oder auch an älteren Blättern. Gehemmtes Wachstum.

7 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:

- a. Nährstoffart und Formulierung
- b. Anlagerung und Verteilung der Düngertlösung auf der Pflanzenoberfläche
- c. 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
- d. Luftfeuchtigkeit während und nach sowie Niederschlagsereignisse nach der Anwendung (Benetzungsdauer)

Die auf das Blatt ausgebrachten Nährstoffe werden nicht an der Bodensubstanz festgelegt und müssen somit 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 und zur Qualitätssicherung.

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. Grundsätzlich sind die Anwendungshinweise der Herstellerfirmen zu beachten.

8 Einsatz von Recyclingdüngern

Im Freilandgemüsebau gewinnen Kompost sowie festes und flüssiges Gärgut als Vertreter der Recyclingdünger zunehmend an Bedeutung. Bei diesen steht neben dem Düngeeffekt auch 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 (Neuweiler & Heller, 2000) haben ausserdem gezeigt, dass Kompost natürliche mikrobielle Gegenspieler von verschiedenen bodenbürtigen Krankheitserregern fördern kann (De Corato, 2020; Grand & Michel, 2020). Beim Erwerb 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 Dünge Zwecken eingesetzt werden, wenn dadurch der Bedarf der Pflanzen an Stickstoff und Phosphor nicht überschritten wird (ChemRRV, 2005, Anhang 2.6, Kapitel 3.2.2 Kompost und Gärgut).

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 Rekultivierungen oder für künstliche Kulturerden verwendet werden (ChemRRV, 2005, Anhang 2.6, Kapitel 3.2.2 Kompost und Gärgut). Auch die darin enthaltenen Mengen an Stickstoff und Phosphor müssen in der Suisse-Bilanz ausgewiesen und auf die Gesamtdüngemenge angerechnet werden.

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 vermieden werden.

9 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. Die Optimierung der Düngung durch Nutzung von kulturbegleitenden N_{min}-Sollwerten oder Computersoftware können helfen, die Düngeeffizienz zu erhöhen, ohne Ertrags- und Qualitätseinbussen zu erleiden. Damit können unnötige Einträge von Nährstoffen in die Umwelt vermieden, Düngemittelkosten gespart und der Dokumentationsaufwand kann verringert werden.

10 Literaturverzeichnis

- Agroscope (2020a). Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope – Extraktion mit Ammoniumacetat + EDTA (1:10); Version 3.2. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/45962>
- Agroscope (2020b). Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope – Extraktion von NO₃-N und NH₄-N mit 0.01M Calciumchlorid (1:4) zur Bestimmung von N_{min}; Version 1.2. <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/45978>
- Agroscope (2020c). Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope – Extraktion von P, K und Mg mit Wasser (1:10); Version 4.1. <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/45973>
- Agroscope (2020d). Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope – Probenahme für die N_{min}-Untersuchung; Version 1.2 (2020). <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/45984>
- BAFU & BLW (2012). Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft (Nr. 1225; S. 62). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/naehrstoffe-verwendung-duengern-landwirtschaft.html>
- Baumgarten A. (2008). Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau (S. 87). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. <https://info.bml.gv.at/dam/jcr:eb74563c-fc09-4f78-bda2-2f203c4ecc29/RichtlinienfuerdiesachgerechteDuengungimGarten-undFeldgemuesebau.pdf>
- Becker K., Riffel A., Schmidtke K. & Fischinger S. A. (2016). Schwefeldüngung zu Futter- und Körnerleguminosen Empfehlungen für den ökologischen Landbau. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn.
- Bergmann W. (1993). Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart.
- ChemRRV (2005). Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, AS 2005 2917. <https://fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2005/478>
- Crüger G. (1982). Pflanzenschutz im Gemüsebau – Handbuch des Erwerbsgärtners. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 422 S.
- De Corato U. (2020). Disease-suppressive compost enhances natural soil suppressiveness against soil-borne plant pathogens: A critical review. Rhizosphere, 13 (100192), 15. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100192>
- DüV (2017). Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen, Pub. L. No. BGBl. I S. 1305, 46. https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html
- Feller C., Dümig A., Spirkaneder S. F. M., Ludwig-Ohm S., Wildenhues H., Garming H., Ziegler J., Paladey E. & Heid P. (2022). Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau (Broschüre Nr. 1778; S. 144). Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. <https://www.ble-medienervice.de/1778/stickstoffduengung-im-freilandgemuesebau?c=152>
- Feller C., Fink M., Laber H., Maync A., Paschold P., Scharpf H. C., Schlaghecken J., Strohmeyer K., Weier U. & Ziegler J. (2011). Düngung im Freilandgemüsebau. In: M. Fink (Ed.), Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) (3rd ed.). IGZ.
- Flisch R., Neuweiler R., Kuster T., Oberholzer H., Huguenin-Elie O. & Richner W. (2017). 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). (Ed. W. Richner & S. Sinaj). Agrarforschung Schweiz, 8(6), Spezialpublikation, 2/1–2/34. www.grud.ch
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W. (2009). Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). Agrarforschung, 16(2), 1–97.
- Grand A. & Michel V. (2020). Kompost: Vor- und Nachteile. Best4Soil. <https://www.best4soil.eu/factsheets>

- Grossrieder J., Ringger C., Argento F., Grandgirard R., Anken T. & Liebisch F. (2022). Standortangepasste Stickstoffdüngung: Aktuelle Methoden und Erfahrungen. *Agrarforschung Schweiz*, 13, 103–113. <https://doi.org/10.34776/afs13-103g>
- Guntern J., Eichler A., Hagedorn F., Pellissier L., Schwikowski M., Seehausen O., Stamm C., van der Heijden M. G., Waldner P., Widmer I. & Altermatt F. (2020). Übermässige Stickstoff- und Phosphoreinträge schädigen Biodiversität, Wald und Gewässer. *Swiss Academies Factsheet*, 15(8), 1–8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4269631>
- Gysi C., Ryser J.-P. & Heller W. (2002). Düngung. *Handbuch Gemüse*. Verband Schweizer Gemüseproduzenten.
- Gysi Ch., Ryser J. P. & Heller W. (1997). Bodenuntersuchung im Gemüsebau. *Flugschrift Nr. 112*, 2. Auflage. Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil.
- 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.
- Huber D. M. & Haneklaus S. (2007). Managing nutrition to control plant disease. *Landbauforschung Volkenrode*, 57(4), 313–322.
- Knickmann E. & Tepe W. (1966). *Pflanzenernährung im Gartenbau* (2. Auflage, Band 4). Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- Krug H. (1991). *Gemüseproduktion – Ein Lehr und Nachschlagewerk für Studium und Praxis* (2. Auflage). Verlag Paul Parey.
- Lichtenhahn M., Koller M. & Schmutz R. (2003). Zwiebeln. Merkblatt. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick. <https://orgprints.org/id/eprint/2873/1/lichtenhahn-2003-zwiebeln.pdf>
- Liebisch F., Max J. F., Heine G. & Horst W. J. (2009). Blossom-end rot and fruit cracking of tomato grown in net-covered greenhouses in Central Thailand can partly be corrected by calcium and boron sprays. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 140–150. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800180>
- Lindemann-Zutz K., Block R., Banna-Köthemann C., Meyer S. F., Graaff E., Lessmann C. & Kohl M. (2021). Massnahmen zur Steigerung der N-Effizienz im Freilandgemüsebau – Leitfaden für Beratung und Praxis. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.
- Lorenz H.-P. (1989). Ordnungsgemässe Stickstoff-Versorgung im Freiland-Gemüsebau nach dem «Kulturbegleitenden N_{min} -Sollwerte(KNS)-System»: KNS-Daten für 38 Gemüsearten-145 Anbauverfahren. Verein Ehemaliger Gartenbauschüler.
- Neuweiler R. (2011). Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW.
- Neuweiler R. (2013). Optimierung der Schwefelversorgung im Feldgemüsebau. Merkblatt. Agroscope, Wädenswil. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/31612>
- Neuweiler R. & Heller W. (2000). Compost and raised bed cultivation for preventing raspberry root disease. *Proceedings 13th IFOAM Scientific Conference*.
- Neuweiler R. & Krauss J. (2017). 10/ Düngung im Gemüsebau. In: *Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017)*. (Ed. W. Richner & S. Sinaj). *Agrarforschung Schweiz*, 8(6), Spezialpublikation, 10/1–10/16. www.grud.ch
- 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.

- Reif C., Arrigoni E., Neuweiler R., Baumgartner D., Nyström L. & Hurrell R. F. (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(23), 5819–5824. <https://doi.org/10.1021/jf301114p>
- Richner W., Flisch R., Mayer J., Schlegel P., Zähler M., & Menzi H. (2017). 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD). (Ed. W. Richner & S. Sinaj). *Agrarforschung Schweiz*, 8(6), Spezialpublikation, 4/1–4/24. www.grud.ch
- Schachtschabel P., Blume H.-P., Hartge K.-H. & Schwertmann U. (1984). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke.
- Spann T. M. & Schumann A. W. (2010). Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. *EDIS*, 2010(4). <https://doi.org/10.32473/edis-hs1181-2010>
- Spiess E., Humphrys C., Liebisch F., Prasuhn V. & Neuweiler R. (2022). Nitratauswaschung unter Gemüse bei unterschiedlichem Ernterückstandsmanagement. *Agroscope Science*, 142, 1-26. <https://doi.org/10.34776/as142g>
- Taylor M. D. & Locascio S. J. (2004). Blossom-end rot: A calcium deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 27(1), 123–139. <https://doi.org/10.1081/PLN-120027551>
- Trott H. (2007). Mikronährstoffe in der Landwirtschaft und im Gartenbau: Bedeutung – Mangelsymptome – Düngung. 66 S. <https://www.iva.de/publikationen/mikronaehrstoffe-der-landwirtschaft-und-im-gartenbau>
- Vogel G., Hartmann H. D. & Krahnstöver K. (1996). *Handbuch des speziellen Gemüsebaues*. Eugen Ulmer.
- Wissemeier A. & Olf H. W. (2019). *Diagnose des Ernährungszustands von Kulturpflanzen* (A. Wissemeier, Ed.; 1st ed.). Erling Verlag.
- Wonneberger C., Keller F., Bahnmüller H., Böttcher H., Geyer B., & Meyer J. (2004). *Gemüsebau*. Ulmer Stuttgart.
- Zemek, O., Neuweiler, R., Spiess, E., Stüssi, M. & Richner, W. (2020). Nitratauswaschungspotenzial im Freilandgemüsebau – eine Literaturstudie. *Agroscope Science*, 95, 117 S. <https://doi.org/10.34776/as95g>
- Zorn W., Marks G., Hess H. & Bergmann W. (2016). *Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. Springer-Verlag.

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1a. Brutto-Nährstoffbedarf, Nährstoffgehalt der Ernterückstände und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüsekulturen im Freiland (Neuweiler & Krauss, 2017).

Tabelle 1b. Brutto-Nährstoffbedarf und Netto-Nährstoffbedarf verschiedener Gemüsekulturen im Gewächshaus und unter Tunnel (Neuweiler & Krauss, 2017).

Tabelle 2a. Stickstoffdüngung nach Nmin-Analysen im Freilandanbau.

Tabelle 2b. Stickstoffdüngung nach Nmin-Analysen im Gewächshaus und unter Hochtunnel.

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

Tabelle 4. Übersicht von Nährstoffmangelsymptomen.