

Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau

4. Auflage



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
Stubenring 1, 1010 Wien

Leitung und Redaktion: A. Baumgarten

unter der Mitarbeit von (in alphabetischer Reihenfolge):

Mario Almesberger, Andreas Achleitner, Anja Brotzeller, Georg Dersch, Alexander Eder, Andreas Felber, Polona Globocnik, Christa Gröss, Thomas Hackl, Stefan Hamedinger, Josef Keferböck, Anna Keutgen, Simon Kriegner-Schramml, Thomas Neudorfer, Wolfgang Palme, Andreas Pfaller, Harald Rammel, Christian Schilling, Albert Schindlauer, Andrea Spanischberger, Alfred Unmann

Grafikdesign: Leonie Fink

Fotonachweis: Ing. Harald Rammel (Seite 1: Sprossenkohlbestand im Juni); DI Gabriele Schrott-Moser (Seite 1: Gemüsekorb); BML/Alexander Haiden (S.41, Abbildung 7); AGES/Andreas Baumgarten (S. 24, Abbildung 3)

Wien, 2024

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgeifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an andrea.spanischberger@bml.gv.at

Vorwort



Norbert Totschnig,
Bundesminister für Land- und
Forstwirtschaft, Regionen und
Wasserwirtschaft

Die heimische Produktion im Garten- und Feldgemüsebau ist ein Garant für die Versorgung mit qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln. Die Vielfalt an Kulturen und Produktionsweisen erfordert hohes Expert:innenwissen, um nicht nur die Qualität der Produkte sondern auch die Nachhaltigkeit der Produktionsverfahren sicherzustellen. Dies trifft insbesondere auf die Nährstoffversorgung zu, da etwa im Vergleich zu Kulturen des Ackerbaus ein deutlich höherer Nährstoffbedarf besteht.

Die vorliegende, überarbeitete Richtlinie bietet einen Leitfaden für die bedarfsgerechte Düngung, in dem sowohl die praktische Erfahrung der Produzenten als auch die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse berücksichtigt wurden. Die Anwendung dieser Richtlinie, die sowohl für den Einsatz im Unterricht als auch in der Produktionspraxis konzipiert ist, bietet eine der Voraussetzungen für eine nachhaltige und umweltschonende Produktion von hochwertigem Gemüse.

Mag Norbert Totschnig, MSc

Wien, im Mai 2024

Inhalt

Vorwort	3
1 Einleitung	6
2 Praktische Hinweise zur Bodenuntersuchung	7
2.1 Bodenprobenahme	7
2.1.1 Auswahl der Fläche	7
2.1.2 Zeitpunkt der Probenahme	8
2.1.3 Entnahmetiefe	8
2.1.4 Durchführung	9
2.2 Probenahme im geschützten Anbau	11
2.3 Methoden zur Bodenuntersuchung	11
2.3.1 Empfohlene Untersuchungsparameter	11
2.3.2 Spektroskopische Verfahren	13
2.4 Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen	13
2.4.1 Boden- und Standorteigenschaften	13
2.5 Nachlieferbarer Stickstoff, N-Mineralisierung im Jahresverlauf	18
3 Nährstoffversorgung von Pflanzen	23
3.1 Pflanzenverfügbare Nährstoffe und ihre Analysemethoden	23
3.1.1 N _{min} -Untersuchung	23
3.1.2 N _{min} -Untersuchung mit Schnelltestmethoden	23
3.1.3 Bestimmung und Einstufung der „pflanzenverfügbaren“ Gehalte an Phosphor und Kalium	29
3.1.4 Magnesium	30
3.1.5 Austauschbare Kationen	31
3.1.6 Spurennährstoffe	32
3.2 Nährstoffversorgung bei Pflanzen: Symptome bei Unter- und Überversorgung	33
4 Methoden zur Stickstoff – Düngebemessung	37
4.1 Methode 1: Düngung auf Basis des KNS+ -Systems	38
4.1 4.2 Methode 2: Düngung ohne N _{min} -Analyse	46
4.2 4.3 Sonderfälle	46
5 Berechnung des Düngebedarfs für P, K und Mg	47
5.1 Ertrag und Nährstoffbedarf	52
6 Rechtliche Rahmenbedingungen der Düngung	53
Anhang	54

Beratungsstellen:	72
Tabellenverzeichnis.....	75
Abbildungsverzeichnis.....	77
Weiterführende Literatur	78
Anhang – Kulturdatenblätter.....	79

1 Einleitung

In der Gemüseproduktion werden in relativ kurzen Zeitspannen große Mengen an Pflanzenmasse produziert. Eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen ist daher eine unbedingte Voraussetzung zur Erzielung von entsprechenden Erntemengen und zur Sicherstellung der Qualität der Ernteprodukte. Aufgrund der großen Menge an umgesetzten Nährstoffen im Gartenbau, geschützten Anbau und Feldgemüsebau muss der Düngeplanung ein besonderes Augenmerk geschenkt werden, um einerseits Qualitätseinbußen bei den Produkten, andererseits aber auch mögliche Beeinträchtigungen der Umwelt, insbesondere des Grundwassers, zu vermeiden. Dies betrifft vor allem die Düngung mit Stickstoff, auf die im Folgenden sehr detailliert eingegangen wird. Aber auch für die adäquate Versorgung mit den übrigen Hauptnährstoffen werden entsprechende Richtlinien vorgegeben. Die Vorgaben zum Düngungsmanagement sollen dazu beitragen, potentielle Umweltrisiken zu minimieren und die Nachhaltigkeit der Produktion zu verbessern.

Ein wesentliches Steuerungsinstrument für die Düngeplanung ist die Untersuchung des Bodens, die ein zentrales Element der vorliegenden Broschüre darstellt. Während für die Abschätzung der Versorgung mit Phosphor, Kalium und Magnesium aber auch des Nachlieferungspotentials für Stickstoff Untersuchungsintervalle von etwa 4 Jahren ausreichen, ist im Bereich der Analyse von leicht verfügbarem, mineralischem Stickstoff (N_{\min}) eine Untersuchung vor oder auch während der Kultur notwendig bzw. empfehlenswert.

Im Bedarfsfall kann zur Präzisierung der Düngungsempfehlung zusätzlich zur Bodenanalyse auch eine Analyse der Pflanzen herangezogen werden.

In der vorliegenden Richtlinie sind wesentliche Grundlagen für eine optimierte Nährstoffversorgung von Gemüsekulturen im österreichischen Produktionsgebiet zusammengefasst. Es werden zunächst die Grundlagen für die Bodenanalyse und die Berechnung der Düngemenge erläutert. Die Ansprüche der wichtigsten Kulturen sind in individuellen Kulturdatenblättern im Anhang zusammengestellt, die die Basis für die Ermittlung eines qualitäts- und umweltorientierten Düngeplans darstellen. Im Vergleich zur letzten Auflage wurden sowohl die Ertrags- als auch die Entzugsdaten entsprechend den modernen Sorten und Produktionsbedingungen aktualisiert.

2 Praktische Hinweise zur Bodenuntersuchung

Eine Bodenuntersuchung liefert wertvolle Informationen über den Zustand und die Produktivität des Bodens und ist eine wichtige Basis für die Erstellung einer sachgerechten Düngungsempfehlung. Eine Bodenuntersuchung soll etwa alle 4 Jahre durchgeführt werden (ausgenommen N_{\min}), denn erst in diesem Zeitraum sind Veränderungen der Nährstoffversorgung und bestimmter Bodeneigenschaften wie etwa des pH-Wertes erkennbar. Das Düngungsmanagement kann in der Folge entsprechend angepasst werden.

Die Beurteilung der Bodenuntersuchungsergebnisse dient in Verbindung mit dem Bedarf der angebauten Feldfrucht sowie dem Ertragsniveau des Standortes als Basis für die Erstellung eines Düngungsplans. Sowohl die Untersuchungsverfahren als auch die Berechnungsgrundlagen wurden in einer Vielzahl von Feldversuchen getestet und verifiziert. Die Untersuchungsverfahren wurden in der Folge entsprechend standardisiert und sind entweder als ÖNORM oder im Methodenbuch des Verbandes der landwirtschaftlichen Forschungs- und Untersuchungsanstalten (VDLUFA) publiziert.

Die Bodenanalyse bietet eine optimale Voraussetzung für die Durchführung der Düngerechnungen und ist der weiter unten skizzierten Abschätzung des N_{\min} -Gehalts vorzuziehen.

2.1 Bodenprobenahme

2.1.1 Auswahl der Fläche

Eine korrekte und sorgfältig durchgeführte Probenahme ist die Voraussetzung für ein aussagekräftiges Analyseergebnis und für eine kulturspezifische Düngungsempfehlung. Die entnommene Probe muss repräsentativ für den Boden der ausgewählten Fläche sein. Auf Grund der unterschiedlichen Beschaffenheit von Böden soll daher versucht werden, möglichst einheitliche Flächen abzugrenzen. Sind auf mehr als 30 % der Fläche deutliche bodenkundliche Unterschiede vorhanden (z. B. Gründigkeit, Bodenschwere, Grobanteil, ...) sollte

für jede in sich einheitliche Fläche auch eine Durchschnittsprobe (Definition siehe 2.1.4) entnommen werden. Ziel ist eine getrennte Analyse und Berechnung.

Stellen, die stark von der Beschaffenheit der übrigen Fläche abweichen (Fahrgassen, Randstreifen, Mietenplätze, ...), sind von der Probenahme auszuschließen.

Die Größe für die Gewinnung einer Durchschnittsprobe laut ÖNORM L1055 soll 5 ha nicht überschreiten. Die tatsächliche Größe der Beprobungsfläche ist abhängig von der Schlaggröße, der Kultur oder den geltenden Rechtsvorschriften (z. B. NAPV).

2.1.2 Zeitpunkt der Probenahme

Die Probenahme kann grundsätzlich während des gesamten Jahres erfolgen. Der Feuchtigkeitszustand des Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme sollte eine Bodenbearbeitung zulassen. Bei zu trockenen oder feuchten Böden sind die Ergebnisse mancher Parameter nicht aussagekräftig. Die letzte Ausbringung mineralischer Düngemittel sollte mindestens einen Monat, die letzte Ausbringung organischer Düngemittel etwa drei Monate zurückliegen. Eine Probenahme unmittelbar nach einer Bodenbearbeitung kann ebenfalls zu verfälschten Ergebnissen führen.

Die Probenahme für die N_{\min} -Untersuchung sollte unmittelbar vor dem Auspflanzen / der Aussaat bzw. dem jeweiligen Kopfdüngungstermin erfolgen.

2.1.3 Entnahmetiefe

Bei der Durchführung einer Grunduntersuchung (pH-Wert, pflanzenverfügbare Anteil von P und K) soll die Entnahmetiefe mit der Krumentiefe (Bearbeitungstiefe) übereinstimmen (0–25 cm).

Bei einer N_{\min} -Analyse soll die zu untersuchende Schichttiefe der Durchwurzelungstiefe der einzelnen Kultur bis zum nächsten Analysetermin bzw. bis zur Ernte angepasst werden. Die einzelnen Schichten (0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm) werden getrennt untersucht.

2.1.4 Durchführung

Je einheitlicher Fläche werden bis zu 25 Einzelproben zu einer Durchschnittsprobe vereinigt. Bei der Verwendung von organischen Düngern ist die Nährstoffverteilung auf der Fläche meistens uneinheitlicher und die Anzahl der Einzelproben sollte erhöht werden (z. B. auf 40 je ha). Die einzelnen Probenahmepunkte können entweder entlang einer Diagonalen einer Parzelle oder an den Schnittpunkten eines gleichmäßigen Rasters liegen (Abbildung 1). Für die Probenahme werden Bodenstecher oder Schlagbohrer verwendet. Die Einzelproben sind zu vereinigen und gut zu durchmischen (Mischprobe). Die Mindestprobenmenge für Grunduntersuchungen beträgt 300 g.

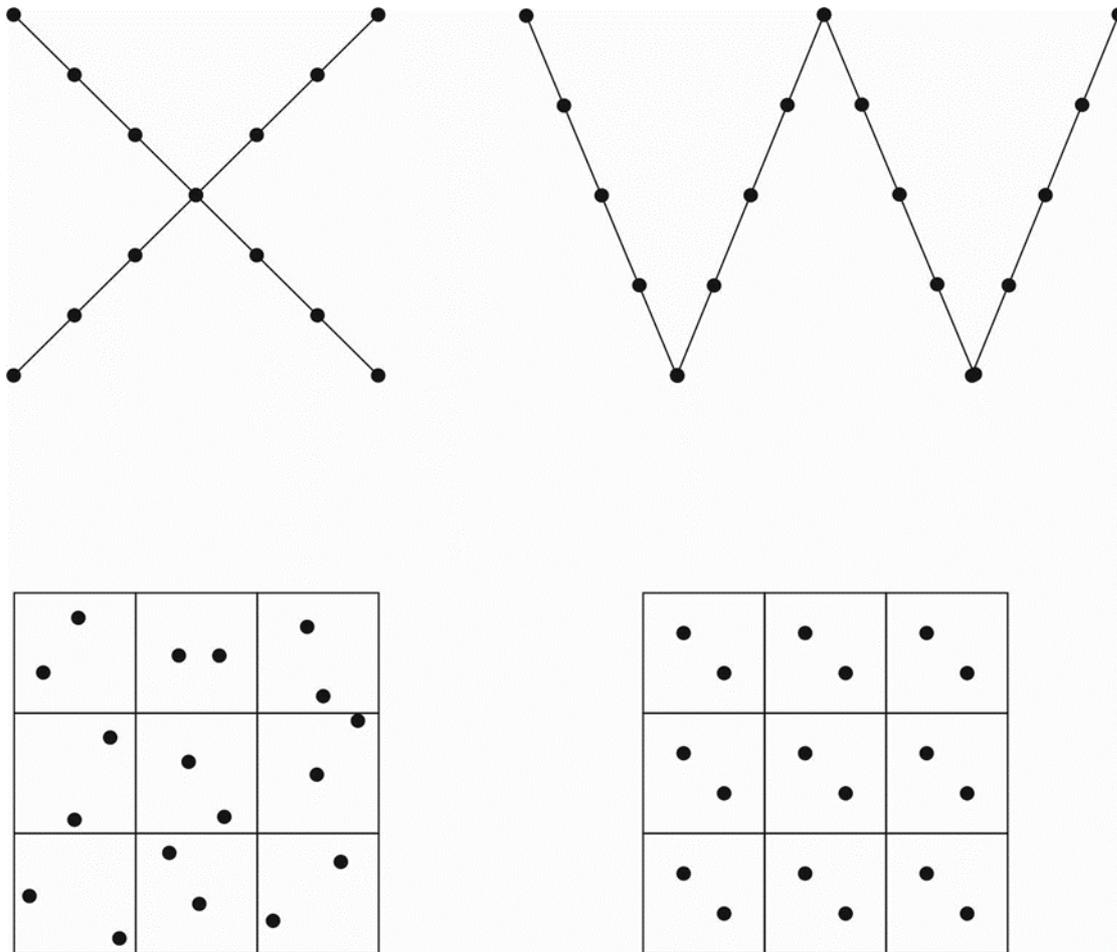
Hinsichtlich des Nutzens von Fernerkundungssystemen befindet sich in der Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland eine umfassende Beschreibung mit Möglichkeiten und Grenzen.

Werden bei N_{\min} -Untersuchungen mehrere Bodenschichten untersucht, wird der Bohrstock mit einem Hammer in die Erde eingeschlagen und nach 2–3 Schlägen mit dem Dorn um die eigene Achse gedreht. Nach Erreichen der vorgesehenen Beprobungstiefe wird der Bohrstock vorsichtig herausgezogen und das Material der entsprechenden Bodenschichten (0–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm) in die vorbereiteten Behälter gegeben. Nach dem Ende der Probenahme wird das Material gut durchmischt und in Probensäckchen gefüllt. Die Proben sind zu nummerieren und mit einem Begleitschreiben zu versehen. Eine maschinelle Probenahme wie z. B. durch die Lagerhäuser oder private Anbieter ist möglich.

AGES-Bodenprobenportal

Um eine Erleichterung und Beschleunigung der Bearbeitung von Bodenproben zu ermöglichen, wird von der AGES das sogenannte „Bodenprobenportal“ angeboten (<https://bodenproben.agrarcommander.at/ages>). Hier können die beprobten Feldstücke angelegt, die gewünschten Untersuchungen ausgewählt und ein Probenbegleitschein erstellt werden. Die Informationen auf dem Probenbegleitschein werden dann über QR-Codes in das Laborinformationssystem übernommen. Die Probenbeauftragung über das Bodenprobenportal der AGES hat den Vorteil, dass Ergebnisse der Analysen feldstückspezifisch sofort nach Abschluss der Analyse zur Verfügung stehen.

Abbildung 1: Beispiele für die mögliche Verteilung von Probenahmestellen



Lagerung und Transport von Bodenproben

Der N_{\min} -Gehalt von Bodenproben kann sich vor allem bei höheren Temperaturen auf Grund einer raschen Mineralisierung der organischen Substanz zum Teil deutlich ändern. Die Proben sollten daher möglichst bald nach der Probenahme weiterverarbeitet werden, wobei jegliche intensive Wärmeeinwirkung zu vermeiden ist (z. B. liegen lassen in der Sonne oder im Kofferraum eines Autos). Ist der Zeitraum zwischen der Probenahme und der Aufarbeitung größer als zwei Stunden, müssen die Proben gekühlt aufbewahrt werden. Ist ein Lagerungszeitraum von mehr als zwei Tagen zu erwarten, müssen die Proben tiefgefroren und anschließend im Kühlschrank schonend aufgetaut werden. Der Transport des Probenmaterials sollte generell in Kühltaschen erfolgen. Die Lagerungsbedingungen haben auf die Parameter einer allgemeinen Bodenuntersuchung einen geringen Einfluss. Es müssen daher keine besonderen Regeln beachtet werden. Eine Zwischenlagerung in kühlen und trockenen Räumen bis zu vier Wochen ist möglich.

2.2 Probennahme im geschützten Anbau

Im geschützten Anbau erfolgt die Düngung vorwiegend in Kombination mit der Tröpfchenbewässerung (Fertigation), um die Kultur angepasst an den Wachstumsverlauf optimal mit Nährstoffen zu versorgen. Durch die konzentrierte Ausbringung der Düngemittel befindet sich die Hauptwurzelmasse der Pflanzen im Bereich der Tropfstelle. Bodenproben sollten daher bevorzugt in der näheren Umgebung der Tropfstelle gezogen werden. Bei der Probennahme nach Kulturende sollte beachtet werden, dass diese Bereiche durch den Pflanzenentzug geringere Mengen an Nährstoffen enthalten. Bei der Verwendung von Überkopf-Regnern besteht in den Überlappungsbereichen eine stärkere Tendenz zur Verlagerung von Nährstoffen in tiefere Bodenschichten. Im Bereich der Gänge sind im Allgemeinen hohe Gehalte nachzuweisen, da weder ein Entzug durch die Pflanze noch eine Tiefenverlagerung stattgefunden haben.

2.3 Methoden zur Bodenuntersuchung

2.3.1 Empfohlene Untersuchungsparameter

Je nach Untersuchungszweck können unterschiedliche Untersuchungen sinnvoll sein. Im Folgenden werden eine Reihe von Bodenanalysenverfahren und deren Beurteilung im Hinblick auf die Funktion des Bodens als Pflanzenstandort vorgestellt. Die meisten Methoden liegen als Normen des Österreichischen Normungsinstituts (ASI) vor, teilweise wird auf die Methoden des Methodenbuches des VDLUFA (CAT-Extraktion) verwiesen. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Untersuchungsverfahren und deren Anwendungsbereich für die Düngepraxis angeführt.

Tabelle 1: Wichtige Bodenuntersuchungsparameter und -verfahren

Parameter	Verfahren	Anwendungsbereich, Aussagekraft
Parameter mit engem Durchführungszeitraum		
Gehalt an mineralischem Stickstoff (Nmin)	ÖNORM L 1091	Erfassung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs
Parameter mit Durchführungszeitraum ca. alle 4 Jahre		
Grunduntersuchung: pH-Wert, pflanzenverfügbare Anteile an Kalium und Phosphor	ÖNORM EN 15933, ÖNORM L 1087	Einstufung der Versorgung mit P und K, Erstellung einer Düngeempfehlung für P und K, Ermittlung des Kalkbedarfs
Gehalt an pflanzenverfügbarem Magnesium	ÖNORM L 1093 oder CAT-Extraktion	Erstellung einer Düngeempfehlung für Mg, Ermittlung des K/Mg Verhältnisses
Gehalt an pflanzenverfügbarem Eisen, Mangan, Kupfer und Zink	ÖNORM L 1089 oder CAT-Extraktion	Einstufung der Nährstoffversorgung im Spurenelementbereich
Gehalt an pflanzenverfügbarem Bor	ÖNORM L 1090 oder CAT-Extraktion	Einstufung der Borversorgung, Erstellung einer Düngeempfehlung
Nachlieferbarer Stickstoff	ÖNORM L 1204	Einstufung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens, Berücksichtigung bei der Ermittlung der N-Düngung
Gehalt an austauschbaren Kationen	ÖNORM L 1086-1	Belegung des Austauschkomplexes mit Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium; bei sauren Böden zusätzlich Eisen, Mangan, Aluminium und H ⁺ -Ionen
Humusgehalt	ÖNORM L 1080	Einstufung des Gehalts an organischer Substanz, Abschätzung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens
Parameter mit Durchführungszeitraum ca. alle 10 Jahre bzw. bei Geländeänderungen oder Problemen mit der Pflanzenentwicklung		
Gesamtstickstoffgehalt	ÖNORM EN 15936	Einstufung des N-Gehaltes, Ermittlung des C/N-Verhältnisses
Carbonatgehalt	ÖNORM L 1084	Einstufung des Carbonatgehaltes, Beeinflussung der Versorgung mit Spurenelementen
Kalkaktivität	AGES-Verfahren	Einstufung der Reaktivität des Bodenkalles
Tongehalt oder Gehalt an den Korngrößenklassen Sand, Schluff und Ton (einmalige Bestimmung ausreichend)	ÖNORM L 1061-2	Charakterisierung der Bodenschwere, wesentlich für die Einstufung der Versorgungsklassen für K und Mg

2.3.2 Spektroskopische Verfahren

Seit einiger Zeit werden für Bodenanalysen auch spektroskopische Verfahren, die entweder vor Ort oder im Labor eingesetzt werden können, angeboten. Dabei werden charakteristische Spektren der Böden im Infrarotbereich ermittelt, aus denen sich bestimmte Eigenschaften des Bodens ableiten lassen sollen. Für diese Verfahren ist allerdings eine Kalibrierung mit „klassischen“ Bodenuntersuchungsverfahren erforderlich, derzeit laufen dazu einige Forschungsarbeiten. Vor allem im Bereich der verfügbaren Nährstoffe konnten bis dato noch keine zufriedenstellenden Aussagen erzielt werden.

2.4 Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen

2.4.1 Boden- und Standorteigenschaften

Zahlreiche Bodeneigenschaften sind stark vom jeweiligen Standort geprägt und verändern sich nicht kurzfristig, können jedoch die Verfügbarkeit und Wirkung der Nährstoffe wesentlich beeinflussen. Dazu zählen folgende Parameter:

- Korngrößenverteilung-Bodenart/Bodenschwere,
- Humusgehalt,
- Carbonatgehalt,
- Bodenreaktion-pH-Wert,
- Gründigkeit,
- Wasserverhältnisse und der
- Grobanteil.

Daneben beeinflussen aber auch Faktoren wie Bodenstruktur, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und insbesondere die Witterung die Verfügbarkeit der Nährstoffe. Die Korngrößenverteilung, der Humus-, der Carbonatgehalt und die Bodenreaktion können durch Laboranalysen bestimmt werden, eine grobe Einschätzung dieser Parameter ist allerdings auch vor Ort möglich.

Die übrigen Parameter wurden im Rahmen der österreichischen Bodenkartierung erfasst und sind im Internet als digitale Bodenkarte (bodenkarte.at) verfügbar. Damit kann auch

mittels GPS-Daten handykompatibel am Standort die entsprechende Bodeninformation abgerufen werden. Sie sind zugleich Bestandteil der Einheitswert-Bescheide der österreichischen Finanzbodenschätzung und liegen für jedes landwirtschaftlich genutzte Grundstück in Österreich auf.

Korngrößenverteilung, Bodenart, Bodenschwere

Die Bodenart („Bodenschwere“) wird durch das Verhältnis der Korngrößenklassen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) zueinander nach ÖNORM L1061-2 charakterisiert. Tabelle 2 gibt einen Überblick über den Zusammenhang zwischen Bodenschwere, Tongehalt und Bodenart (Bezeichnung der Bodenart gemäß ÖNORM L 1050):

Tabelle 2: Einstufung der Bodenschwere nach dem Tongehalt oder der Bodenart

Bodenschwere	Tongehalt	Bodenart*
Leicht	unter 15 %	S, uS, lS, sU
Mittel	15–25 %	tS, U, IU, sL
Schwer	über 25 %	L, uL, sT, lT, T

* S = Sand, U = Schluff, T = Ton, L = Lehm, s = sandig, u = schluffig, t = tonig, l = lehmig

Für eine Abschätzung vor Ort kann auch die Fingerprobe verwendet werden. Die wesentlichen Bestimmungstücke und deren Bewertung sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3: Kriterien der Fingerprobe

Ausrollbarkeit	Formbarkeit	Bodenschwere
nicht oder höchstens auf Bleistiftstärke (> 7mm Durchmesser) ausrollbar	schlecht bis mäßig	leicht
auf halbe Bleistiftstärke ausrollbar (7–2 mm Durchmesser)	mäßig bis gut	mittel
sehr dünn ausrollbar (< 2mm Durchmesser)	sehr gut	schwer

Humusgehalt

Als Humus bezeichnet man die abgestorbene organische Masse in und auf dem Boden. Ausgangsstoffe für die Bildung von Humus sind in erster Linie oberirdisch anfallende Pflanzenteile wie Ernterückstände, Zwischenfruchtanbau (Gründüngung), Stroh und Blätter aller Art, in zweiter Linie unterirdisch wachsende Pflanzenteile wie Pflanzenwurzeln und Bodenlebewesen. Der Humusgehalt ist ein wesentlicher Faktor für die Nachlieferung von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff, aus dem Boden (Mineralisierung). Weitere wichtige Faktoren für die Nachlieferung sind die Bodenstruktur, die Temperatur und die Feuchtigkeit.

In Tabelle 4 ist die Einstufung des Humusgehaltes im Acker- und Grünland wiedergegeben.

Tabelle 4: Einstufung des Humusgehaltes

	Gehaltsklasse A	Gehaltsklasse C	Gehaltsklasse E
Humusgehalt	< 2 %	2–4,5 %	> 4,5 %
Einstufung	niedrig	mittel	hoch

Die organische Substanz befindet sich in einem kontinuierlichen Ab-, Um- und Aufbauprozess. Als „Nährhumus“ wird der leicht zersetzbare und leicht umwandelbare Anteil der organischen Substanz im Boden bezeichnet. Dieser dient überwiegend als Nahrung für die Bodenlebewesen. Nährhumus ist durch ein relativ enges Verhältnis zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffanteil (C/N-Verhältnis) charakterisiert. Der Dauerhumus hingegen ist der schwarzbraun gefärbte, schwer zersetzbare Anteil der organischen Substanz, der im Zuge der Humifizierung entsteht. Das C/N-Verhältnis ist in diesem Fall deutlich weiter. Der Abbau der organischen Substanz im Boden wird als Mineralisation bezeichnet.

Humus verbessert eine Vielzahl von Bodeneigenschaften wie die Bodenstruktur, die biologische Aktivität, das Speicherungsvermögen für Wasser und Nährstoffe sowie die Filter- und Pufferfunktion. Humus ist daher für die Erhaltung der Produktivität und Fruchtbarkeit der Böden von wesentlicher Bedeutung und auch die standortspezifische Nachlieferung von Stickstoff.

Sehr oft steht der Humusgehalt eines Standortes in einer unmittelbaren Beziehung zur Bodenart. Böden mit höheren Gehalten an Ton oder Schluff weisen zumeist auch höhere Hu-

musgehalte auf. Im Gemüsebau sollen die in Tabelle 5 angeführten Humusgehalte angestrebt werden. Detailliertere Ausführungen zum Humusgehalt sind in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland zusammengefasst.

Tabelle 5: Gegenüberstellung von Bodenschwere und anzustrebendem Humusgehalt für gemüsebaulich genutzte Flächen

Bodenschwere	anzustrebender Humusgehalt in %
leicht	>2
mittel	>2,5
schwer	>3

Carbonatgehalt/Carbonatpuffer

Carbonate haben Bedeutung als Puffersubstanzen, die im Boden auftretende oder in den Boden eingebrachte saure Stoffe neutralisieren können. Die Einstufung des Carbonatgehaltes ist in Tabelle 6 angeführt.

Tabelle 6: Bewertung des Carbonatgehaltes

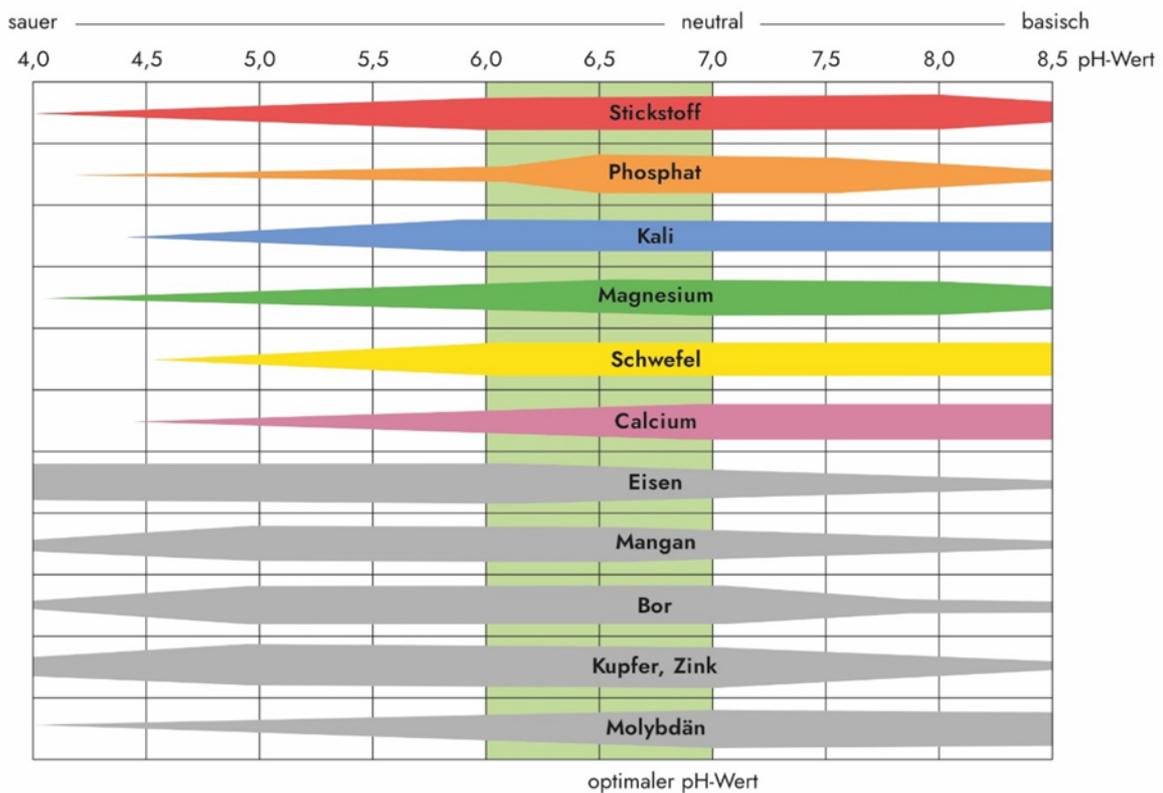
Carbonatgehalt in %	Einstufung des Carbonatgehaltes
<1	gering
1–5	mittel
> 5	hoch

Wird der Carbonatgehalt als gering eingestuft, ist besonders auf die Kalkdüngempfehlung zu achten.

Bodenreaktion – pH-Wert

Die Bodenreaktion (pH-Wert – gemessen in CaCl₂ gemäß ÖNORM EN 15933) ist das Ergebnis von komplexen Vorgängen im Boden. Die Mobilität der Nährstoffe, Nährstoffaufnahme und das Pflanzenwachstum werden von der Bodenreaktion (Abbildung 2) mitbestimmt. Die chemische Bodenreaktion reicht von sehr stark sauer (<4,1) bis stark alkalisch (>8,0).

Abbildung 2: Verfügbarkeit von Nährstoffen in Abhängigkeit vom pH-Wert



Bei pH-Werten unter 5,5 nimmt die Verfügbarkeit der Hauptnährstoffe (Ca, Mg, P), aber auch jene von Molybdän und Schwefel ab. Hingegen sind die Spurennährstoffe Eisen, Mangan, Kupfer und Zink im sauren Bereich besser verfügbar.

Der anzustrebende pH-Wert richtet sich nach der Bodenschwere (Tabelle 7) und der Kulturart. Werden die anzustrebenden pH-Werte unterschritten, so wird zusätzlich zur Erhaltungskalkung eine Verbesserungskalkung empfohlen. Die dafür erforderliche Kalkmenge wird im Labor durch eine Kalkbedarfsbestimmung ermittelt.

Tabelle 7: Anzustrebende pH-Werte in Abhängigkeit von der Bodenschwere

Bodenschwere	pH-Wert
Leicht	über 5,5
Mittel	über 6
schwer	über 6,5

Gründigkeit

Die Gründigkeit bezeichnet die Mächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht:

- bis 30 cm: seichtgründig
- bis 70 cm: mittelgründig
- über 70 cm: tiefgründig

Wasserverhältnisse

Die Wasserverhältnisse können nur vor Ort beurteilt werden. Die Klassifikation erfolgt durch folgende Begriffe: sehr trocken, trocken, mäßig trocken, mit Wasser gut versorgt, mäßig feucht, feucht, nass.

Grobanteil

Unter Grobanteil versteht man den Anteil an mineralischen Gemeineteilchen des Bodens, die größer als 2 mm sind. Dazu zählen Grus, Steine, Schotter und Kies. Der Grobanteil kann im Gelände abgeschätzt und wie folgt klassifiziert werden:

- 0–20 %: gering (unter 10 %) bis mäßig (10-20 %)
- 20–40 %: hoch
- 40–70 %: sehr hoch
- > 70 %: vorherrschend

2.5 Nachlieferbarer Stickstoff, N-Mineralisierung im Jahresverlauf

In der obersten Bodenschicht bis 25 cm liegen knapp 5.000 kg Stickstoff pro ha organisch gebunden vor (Humusgehalt über 2,5 % bei einem C/N-Verhältnis von etwa 10 und einer Lagerungsdichte von 1,3 kg/l). Auch Schwefel liegt im Boden überwiegend organisch gebunden (N/S-Verhältnis etwa 8,5 :1) vor.

Im Schnitt wird von einer Mineralisierung der organischen Bodensubstanz von 1–3 % im Jahresverlauf ausgegangen, also zwischen 45 und 140 kg N/ha sowie 5 und 16 kg Schwefel/ha. Doch wie viel tatsächlich und wann nachgeliefert wird, ist je nach Klima und Bodeneigenschaften sehr unterschiedlich. Hier spielen Faktoren wie Temperatur, Bodendurchlüftung und -feuchtigkeit, Humusgehalt, Tongehalt, pH-Wert, Gefügestruktur und Porenvolumen aber auch die Bodenbearbeitung eine wesentliche Rolle.

Die oben erwähnte Stickstoffmenge wird im Jahresverlauf nicht gleichmäßig freigesetzt. Es wird geschätzt, dass im März und April ca. 2,5 kg N/ha pro Woche, ab Mai bis Mitte September ca. 5 kg N/ha pro Woche und ab Mitte September bis Mitte November ca. 2,5 kg N/ha pro Woche nachgeliefert werden können (Bio Suisse FiBL 2013).

Bei diesen Angaben handelt es sich um ein Mineralisierungspotenzial, das je nach Witterungsbedingungen mehr oder weniger ausgeschöpft werden kann. Dürre oder überdurchschnittliche Niederschläge verringern bzw. erhöhen die Mineralisierung. Darüber hinaus spielt auch das Angebot an mineralischem Stickstoff für die Mineralisation eine wesentliche Rolle. Mit steigendem N-Angebot nimmt die Mineralisierung deutlich ab.

Es ist daher nicht möglich, eine unmittelbar anrechenbare Menge an freigesetztem Stickstoff zu ermitteln. Im Ackerbau wird durch ein System an Zu- und Abschlägen eine weitere Justierung der Stickstoffdüngung erreicht (siehe Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland). Die Abschätzung des Mineralisierungspotenzials erfolgt mit folgenden Methoden:

- N-Mineralisierung (anaerober Brutversuch gemäß ÖNORM L 1204),
- Humusgehalt (trockene Verbrennung gemäß ÖNORM L 1080).

Diese Methoden können im Gemüsebau auch einen ersten Anhaltspunkt für die Mineralisierungsleistung bieten. Allerdings wird hier aufgrund der hohen eingesetzten Stickstoffmengen die Verwendung von N_{\min} -Analysen empfohlen. Diese bieten eine wesentliche Verbesserung für die standortspezifische Berechnung der Stickstoff-Düngemenge.

Standardwerte der N-Mineralisierung aus dem Humusvorrat des Bodens

Wie oben beschrieben, ist die Mineralisation von Stickstoff aus den Bodenvorräten nur schwer abschätzbar. Basierend auf den Vorgaben des Mineralisierungsmodells im Rahmen

des „Swiss Agricultural Life Cycle Assessments“ (SALCA) wurden Standardwerte ermittelt (Tabelle 8)

Tabelle 8: Standardwerte für die prognostizierte Nitratbildung (Standardwert) pro Monat in einem Boden mit einem Humusgehalt unter 3 % und einem Tongehalt unter 20 %

	Jän.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jän.–Dez.
Nachlieferung (kg N/ha)	0,0	0,0	5	8	11	14	15	19	21	11	5	0,0	109

Einfluss der Bodenbearbeitung

Eine intensive Bodenbearbeitung (z. B. mit Pflug, Grubber, Fräse oder Kreiselegge) fördert kurzfristig die Stickstoffmineralisierung aus der organischen Substanz des Bodens. Die Zunahme ist nicht linear, sie lehnt sich an den allgemeinen Verlauf der mikrobiologischen Aktivität eines Bodens während der Vegetationsperiode in Abhängigkeit von der Bodentemperatur und dem Wassergehalt an (Walther und Jäggi, 1993).

Die in Tabelle 9 ersichtliche Zunahme der N-Mineralisierung in den einzelnen Monaten mit intensiver Bodenbearbeitung gilt für einen Boden mit einem Tongehalt von 15 % und einem Humusgehalt von 2 % und entspricht etwa 2/3 der jeweiligen monatlichen Mineralisation gemäß Tabelle 8.

Tabelle 9: Zusätzliche Mineralisierung bei intensiver Bodenbearbeitung

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Zuschlag Bodenbearbeitung (kg N/ha)	0	0	4	5	7	9	10	13	14	7	4	0

Einfluss des Ton- und Humusgehalts

Mit zunehmendem Tongehalt nimmt das Porenvolumen der Böden und damit das Sauerstoffangebot für die Mikroorganismen in der Regel ab. Zudem erwärmen sich schwerere Böden im Frühjahr langsamer als leichtere. Andererseits haben schwerere Böden meistens einen höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff (Humus), der sich jedoch nicht proportional auf die N-Mineralisierung auswirkt.

Da die meisten Feldgemüseflächen unter 20 % Ton und unter 3 % Humus aufweisen und sich die Zu- und Abschläge meist aufheben, sind hier keine zusätzlichen Berechnungsschritte erforderlich. Bei deutlichen Abweichungen (mehr als 5 % Humus und mehr als 30 % Ton) kann eine Korrektur nach Tabelle 10 erfolgen.

Tabelle 10: Korrektur der N-Mineralisierung in Abhängigkeit des Ton- und Humusgehaltes des Bodens

		Humusgehalt			
		<3	3–5	5–8	8–15
Tongehalt (%)	0–20	0	+ 10 %	+20 %	+40 %
	20–30	–10 %	–5 %	+5 %	+25 %
	30–40	–20 %	–20 %	–10 %	+5 %
	>40	–30 %	–30 %	–25 %	–15 %

Ausgehend von den oben angeführten Daten und den Kulturzeiten kann die Nachlieferung von Stickstoff aus dem Bodenvorrat für die meisten Kulturen grob abgeschätzt werden. Um die Berechnung zu vereinfachen, wurde die durchschnittliche Mineralisierung aus den Bodenvorräten bei den Angaben des Pflanzenbedarfs berücksichtigt, soweit dies aufgrund des Standortes bzw. der Produktionsbedingungen als sinnvoll erachtet wurde.

Wirtschaftsdünger

Beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern können die Tabellen der Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland zur Berechnung der Stickstoffnachlieferung herangezogen werden.

Rücklieferung und Konservierung von Stickstoff

Der Einfluss der Gründüngung auf die Rücklieferung oder Konservierung von Stickstoff ist in der aktuellen Auflage der Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland zusammengefasst und kann im Kapitel 4.6 „Bewertung der Ernterückstände, Zwischenfrüchte und Vorfruchtwirkung“ nachgelesen werden.

3 Nährstoffversorgung von Pflanzen

3.1 Pflanzenverfügbare Nährstoffe und ihre Analysemethoden

Für die Ernährung der Pflanzen ist die Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden von großer Relevanz. Die in dieser Broschüre beschriebenen Analysemethoden wurden so entwickelt und geprüft, dass die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe bestmöglich widerspiegelt wird.

3.1.1 N_{\min} -Untersuchung

Als Ausgangsbasis für N_{\min} -Gehalte zu Vegetationsbeginn im Frühjahr kann ein Pool von jeweils 30 kg in den beiden obersten Bodenschichten angenommen werden.

Je nach Winterniederschlägen, der Vorfrucht (insbesondere nach Leguminosen) und dem N-Saldo aus der vorjährigen Bewirtschaftung sind abweichende N_{\min} -Gehalte möglich und begründen die Notwendigkeit einer N_{\min} -Analyse vor dem Kulturbeginn.

Die N_{\min} -Bestimmung bildet die Basis des im Nachfolgenden beschriebenen Berechnungssystems und erfolgt gemäß der ÖNORM L 1091. Der N_{\min} -Wert erfasst üblicherweise den im durchwurzelbaren Bodenprofil „pflanzenverfügbaren“ mineralischen Stickstoff (Nitratstickstoff und Ammoniumstickstoff). Als durchwurzelbar wird in der Regel eine Bodentiefe bis 90 cm angenommen, für die aktuelle Empfehlung wird allerdings nur die bis zur nächsten Düngung zu erwartende Durchwurzelungstiefe herangezogen.

3.1.2 N_{\min} -Untersuchung mit Schnelltestmethoden

Nachdem die Bodenprobe ordnungsgemäß gezogen wurde, sollte der Boden so rasch als möglich analysiert werden. Eine große Fehlerquelle bei der Feststellung des unmittelbar verfügbaren N-Gehaltes im Boden stellt die Verweildauer der Probe bis zur Analyse dar. Die gute Durchlüftung, hohe Temperaturen und Bodenfeuchte bewirken einen rasanten Anstieg der Bodenaktivität und somit eine starke Veränderung des N_{\min} -Gehaltes in der Probe.

Eine nur eintägige Lagerung einer erdfeuchten Probe bei Zimmertemperatur kann einen Anstieg des Nitratgehaltes um mehr als 100 % bewirken und führt daher zu verfälschten, unbrauchbaren Ergebnissen. Unmittelbares Verarbeiten und Kühlung der Bodenprobe ist daher das Gebot der Stunde. Die Untersuchung durch Schnellmethoden unmittelbar nach den Bodenprobenahmen minimiert diese Fehlerquelle.

Schnelltestgeräte sind Reflektometer mit mikroprozessorgesteuerten Photolinsen, die zur Auswertung von (Nitrat)Messstreifen dienen. Fehler, die bei einer visuellen Auswertung (Vergleich mit einer Farbskala) auftreten können, werden durch dieses Gerät praktisch ausgeschaltet!

Mit dieser Messmethode kann nur der mineralische Nitrat-Stickstoff (Nitrat-N_{min}) mengenmäßig ausgewertet werden. Alle übrigen Stickstoffformen im Boden werden nicht erfasst. Das Nitrat stellt allerdings in gut durchlüfteten Böden ca. 95 % des pflanzenverfügbaren Stickstoffs dar, weshalb alle übrigen pflanzenverfügbaren Stickstoffverbindungen in den meisten Fällen zu vernachlässigen sind.

Folgende Utensilien werden für eine N_{min}-Schnellbestimmung benötigt (Abbildung 3):

- Schnelltestgerät (z. B. Nitratecheck, RQ-Flex, Reflekt Quant, RQ-easy)
- Nitratmessstreifen
- Rundfilter (Weißband)
- nitratfreies Wasser
- Waage (1 g genau)
- (Heizplatte)
- Behälter: ca. 10 Messbecher
 - 1 Messur 100 ml
 - 1 Wasserbehälter ca. 5 l
 - (1 alte Pfanne)
- Löffel
- Formblätter für die N-Berechnung
- Schreibzeug

Abbildung 3: Gerätschaften zur Durchführung einer N_{\min} -Analyse



Durchführung von N_{\min} -Nitrat-Bestimmung im Boden

Für die Untersuchung mit Nitratec oder RQ-Flex hat sich die Anwendung eines 1+1 Extraktes bereits in der Praxis bewährt.

Durchführung: 100g steinfreier Boden werden mit 100ml nitratfreiem Wasser so lange aufgerührt, bis die Suspension frei von Klumpen ist. Danach wird ein Filter in die Suspension gedrückt, sodass Wasser von außen in das Filterstanitzel sickern kann.

Anmerkung: Bei hohem Tongehalt der Böden kann das Filtrat durch die Tonpartikel getrübt sein. Dies kann verhindert werden, indem dem Wasser vor der Extraktion eine geringe Menge Calciumchlorid (CaCl_2 , 0,5 g/L Wasser = 0,05 %) zugesetzt wird.

Wenn sich ausreichend Flüssigkeit (ca. 1–2 cm Höhe) im Filter befindet, kann die Messung erfolgen. Der Messstreifen wird kurz eingetaucht (ca. 2s), die auf dem Streifen verbleibende

Flüssigkeit wird abgeschüttelt. Nach einer genau bestimmten Verweildauer (je nach Gerät vorgegeben) kann die Messung erfolgen.

Bei exaktem Arbeiten lassen sich bei Zimmertemperatur mit dem Nitratecheck vor allem im Messbereich zwischen 10 und 200 ppm NO₃ sehr genaue Ergebnisse erzielen (entspricht dem Gehalt in mg L⁻¹). Bei RQ-Flex Messungen besteht die Möglichkeit über die Wahl der Messstreifen die Genauigkeit zu steigern (Messbereich 3–90 ppm, 5–225 ppm).

Bestimmen der Bodenfeuchte:

Für die Analyse wird naturfeuchtes Bodenmaterial verwendet. Es muss daher das Trockengewicht gesondert bestimmt werden. Dazu können entweder die Bestimmung durch Trocknung bei ca. 100 °C oder die Schätzwerte nach Tabelle 11 verwendet werden.

Bestimmung des Trockengewichtes

100 g des feldfeuchten Bodens werden auf einem Backblech flach ausgebreitet und im Backrohr bei ca. 100 °C (Heißluft) für mindestens 120 Minuten getrocknet. Anschließend wird das Restgewicht bestimmt. Die gewogene Menge an Boden entspricht der Trockensubstanz in Prozent. Alternativ ist eine (Luft-)Trocknung bei Raumtemperatur unter Beachtung von vernachlässigbaren 3–5 %-Restfeuchte möglich.

Abschätzung des Trockengewichtes

Zur Abschätzung des Trockengewichtes sind die Bodenart und die Beurteilung der Feuchtigkeit erforderlich. Die Bestimmung der Bodenart ist im Kapitel Standorteigenschaften beschrieben oder kann der elektronischen Bodenkarte (www.bodenkarte.at) entnommen werden.

Beim vereinfachten Schätzverfahren wird dem Trockenboden ein Wasserwert zugeschrieben.

Tabelle 11: Korrekturwerte für die Bodendichte

Bodenart	trocken	feucht	nass
Leicht – z. B. Sand	1,1	1,2	1,3

Bodenart	trocken	feucht	nass
Leicht – z. B. Lehmiger Sand	1,2	1,3	1,4
Mittel – z. B. Sandiger Lehm	1,3	1,5	1,7
Schwer – z. B. toniger Lehm	1,4	1,6	1,9

Fehlerquellen

Um Fehler auszuschließen, beachten Sie daher folgende Hinweise:

- Die Teststreifen haben eine begrenzte Haltbarkeit.
- Die Teststreifen müssen kalibriert werden (Barcodestreifen bei RQ-Flex).
- Die Teststreifen müssen gut abgetropft sein, sonst kommt es zur Verschmutzung der Messzelle.
- Die Bodenfeuchtigkeit muss gemessen werden.
- Die Messung ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Bodenproben müssen rasch verarbeitet werden.

Berechnung:

Der vom Schnelltestgerät angezeigte Wert entspricht mg Nitrat/Liter Extrakt („ppm“ Nitrat). Um diesen Wert für die Düngeberechnung verwenden zu können, muss eine Umrechnung auf die übliche Dimension kg Reinstickstoff pro ha in 30 cm Bodentiefe (kg N/ha) erfolgen. Dabei werden folgende Rechengrößen Nitrat zu Nitratstickstoff (mal 0,226) und die Masse des Bodens (30 cm Schichtdicke 4,5 Mio. Liter Boden/ha bzw. 60 cm Schichtdicke 9 Mio. Liter Boden/ha, jeweils mit einer spezifischen Dichte von 1,5 kg/l) berücksichtigt.

Umrechnung mittels Formel:

Bei 30 cm Beprobungstiefe:

mg NO₃/l x geschätzte Masse (Wert Tabelle 11 x 0,226 x 4,5)

Bei 60 cm Beprobungstiefe:

mg NO₃/l x geschätzte Masse (Wert Tabelle 11 x 0,226 x 9)

Beispiel mit 30 cm Beprobungstiefe

Messwert: 56 = 56 ppm Nitrat (entspricht 56 mg/l Nitrat), nasser lehmiger Sand (Spezifische Dichte von 1,4): Das bedeutet, dass in einem Bodenhorizont von 30 cm $56 * 1,4 * 0,226 * 4,5 = 79,7$ kg N ~ 80 kg enthalten sind.

Beispiel Steinanteil

Liegt der Steingehalt des Bodens über 10 %, so ist dies bei der Berechnung ebenfalls zu berücksichtigen, da die Messung nur den Gehalt des Feinbodens ergibt. Der Stickstoffgehalt ist dann um den jeweiligen prozentuellen Steinanteil zu vermindern.

Berechneter N_{min}-Gehalt: 77 kg/ha

Geschätzter Steingehalt: 15 %

77 kg sind in $100 - 15 = 85$ % der Bodenmatrix enthalten. Der Gesamtgehalt ist daher mit diesem Prozentsatz zu korrigieren:

Korrigierter N_{min}-Gehalt = $77 \text{ kg/ha} \times (100 - 15) : 100 = 65,45$

Korrigierter N_{min}-Gehalt (gerundet): 65 kg/ha

Diese Methode ist für den praktischen Anwender sehr einfach und rasch durchzuführen. Durch die unmittelbare Analyse der Proben können Fehler durch lange Probenlagerung oder langen Probentransport minimiert werden.

Mit 10 % durchschnittlicher Abweichung sind die Messergebnisse als praxistauglich einzustufen. Durch die eigenständige Durchführung besteht die Möglichkeit, direkt vor dem geplanten Düngetermin den aktuellen Bodennitratwert zu bestimmen und die Düngemenge entsprechend zu berechnen. Mehrmalige Analysen während der Kultur ermöglichen eine Verbesserung der Düngepräzision.

3.1.3 Bestimmung und Einstufung der „pflanzenverfügbaren“ Gehalte an Phosphor und Kalium

Die Bestimmung des Gehaltes an „pflanzenverfügbarem“ Phosphor und Kalium erfolgt im Calcium-Acetat-Lactat (CAL)- Extrakt gemäß ÖNORM L 1087. Die Zuordnung der Analysewerte zu den entsprechenden Gehaltsklassen und Versorgungsstufen erfolgt gemäß Tabelle 12 und Tabelle 13.

Tabelle 12: Einstufung der Phosphorgehalte im Boden

Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	mg P / 1000g
A	sehr niedrig	unter 26
B	niedrig	26–46
C1	ausreichend	47–89
C2		90–111
D	hoch	112–174
E	sehr hoch	über 174

Für die Einstufung des Kaliumgehaltes ist neben dem Gehalt im CAL-Extrakt auch die Bodenschwere (gemessen am Tongehalt) von wesentlicher Bedeutung. Die entsprechenden Zuordnungen sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Einstufung der Kaliumgehalte im Boden unter Berücksichtigung der Bodenschwere

mg K/1000g				
Bodenschwere/Tongehalt (%)				
Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	leicht < 15	mittel 15–25	schwer > 25
A	sehr niedrig	unter 50	unter 66	unter 83
B	niedrig	50–87	66–112	83–137
C1	ausreichend	88–147	113–176	138–204
C2		148–178	177–212	205–245
D	hoch	179–291	213–332	246–374
E	sehr hoch	über 291	über 332	über 374

Bei der Erstellung der Düngeempfehlung ist zusätzlich auf das Verhältnis zwischen Kalium und Magnesium zu achten (siehe Kapitel „Düngung mit Phosphor und Kalium“).

3.1.4 Magnesium

Der Gehalt an „pflanzenverfügbarem“ Magnesium wird gemäß ÖNORM L 1093 (Methode nach Schachtschabel) oder im CAT-Extrakt gemäß VDLUFA Methodenbuch ermittelt. Die Zuordnungen der Werte zu den Gehaltsklassen sind in Tabelle 14 angeführt.

Tabelle 14: Einstufung der Magnesiumgehalte im Boden unter Berücksichtigung der Bodenschwere

mg Mg /1000g				
Bodenschwere/Tongehalt (%)				
Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	leicht < 15	mittel 15–25	schwer > 25
A	sehr niedrig	-	unter 30	unter 40
B	niedrig	unter 50	30–55	40–75
C	ausreichend	50–75	56–105	76–135

		mg Mg /1000g		
		Bodenschwere/Tongehalt (%)		
D	hoch	76–150	106–190	136–220
E	sehr hoch	über 150	über 190	über 220

Bei der Erstellung der Düngeempfehlung ist zusätzlich auf das Verhältnis zwischen Kalium und Magnesium zu achten (siehe Kapitel „Düngung mit Magnesium“).

3.1.5 Austauschbare Kationen

Böden unterscheiden sich in ihrer Sorptionsfähigkeit von Nährstoffen. Dieses Ausmaß wird als Austauschkapazität bezeichnet. Die Mengen und Anteile an Kationen (basisch wirkendes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ und Al^{3+}) sowie deren Summe (=Kationenaustauschkapazität, Abkürzung KAK) in den Böden wird durch Art und Gehalt an Tonmineralen und Humus sowie durch den pH-Wert bestimmt und variiert daher in einem weiten Bereich. Ton- und humusreiche Böden haben eine höhere Sorptionskraft und damit auch eine höhere Austauschkapazität als humusarme Sandböden. Die Austauschkapazität wird in centimol Ionenäquivalent pro 1000g Boden ($\text{cmol}^+ / 1000 \text{g}$) angegeben und liegt zumeist im Bereich zwischen 10 und 30 $\text{cmol}^+ / 1000\text{g}$.

Um ein ausgeglichenes Nährstoffangebot und eine günstige Bodenstruktur zu gewährleisten, soll der Sorptionskomplex des Bodens folgendermaßen belegt sein:

75–90 % mit Calcium (Ca)

5–15 % mit Magnesium (Mg)

2–5 % mit Kalium (K)

weniger als 1 % mit Natrium (Na)

Starke Abweichungen von diesen Werten können zu einer Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit führen. Entsprechende Kalkungs- (Verbesserung des Anteils an Ca und eventuell Mg) oder Düngungsmaßnahmen (Düngung mit K und/oder Mg) können dem entgegenwirken.

Weitere Informationen zu den austauschbaren Kationen finden sich in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland (Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland, 8. Auflage).

3.1.6 Spurennährstoffe

Die Pflanzenverfügbarkeit von Spurenelementen ist neben anderen Faktoren vor allem vom pH-Wert und dem Humusgehalt abhängig (Tabelle 15). Niedrige pH-Werte führen im Allgemeinen zu einer Verbesserung der Verfügbarkeit von Spurenelementen (ausgenommen Molybdän). Durch hohe Humusgehalte können Spurenelemente in leichter lösliche Formen übergeführt und dadurch ebenfalls besser aufgenommen werden. Eine Interpretation von Untersuchungsergebnissen soll daher immer unter Berücksichtigung möglichst vieler Informationen zum Standort erfolgen. Die Verfügbarkeit von Spurenelementen kann durch verschiedene Extraktionsverfahren abgeschätzt werden.

Tabelle 15: Einstufung der Gehalte an Spurenelemente

	Bor	Kupfer	Zink	Mangan	Eisen	Selen		
	mg/1000g							
	Bodenschwere							
Gehalts- klasse	Versorgung	leicht	mittel, schwer					
A	niedrig	unter 0,2	unter 0,3	unter 2	unter 2	unter 20	unter 20	< 0,03
C	mittel	um 0,6	um 0,8	um 8	um 8	um 70	um 100	um 0,2
E	Hoch	über 2,0	über 2,5	über 20	über 20	über 200	über 300	> 1

Von einigen Labors wird die Bestimmung von Mangan, Kupfer, Zink und Bor im Extrakt mit CaCl₂/DTPA (CAT)-Lösung gemäß VDLUFA-Methodenbuch angeboten. Derzeit liegt für Standorte in Österreich allerdings noch keine Kalibrierung in Bezug auf die Zuordnung der Werte zu Gehaltsklassen vor.

3.2 Nährstoffversorgung bei Pflanzen: Symptome bei Unter- und Überversorgung

Die Unter-, aber auch die Überversorgung mit Nährstoffen kann zu Schadbildern an der Pflanze führen. Eine erste Diagnose kann optisch erfolgen, ein „Entscheidungsbaum“ für die Zuordnung ist in Abbildung 4 dargestellt. Tabelle 16 gibt einen ausführlichen Überblick über mögliche Schadbilder. Auch im Internet sind diverse Seiten zur Nährstoffversorgung und zum Erkennen von Mangel- oder Überschusssymptomen verfügbar. Beispielhaft kann auf die Seite der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Mikronährstoffe | TLLLR (thueringen.de)) verwiesen werden. Diese Diagnosen können als erster Hinweis verstanden werden, der aber durch eine Untersuchung des Bodens oder der Pflanze verifiziert werden sollte.

Abbildung 4: Entscheidungsbaum zur Zuordnung von Mangelserscheinungen

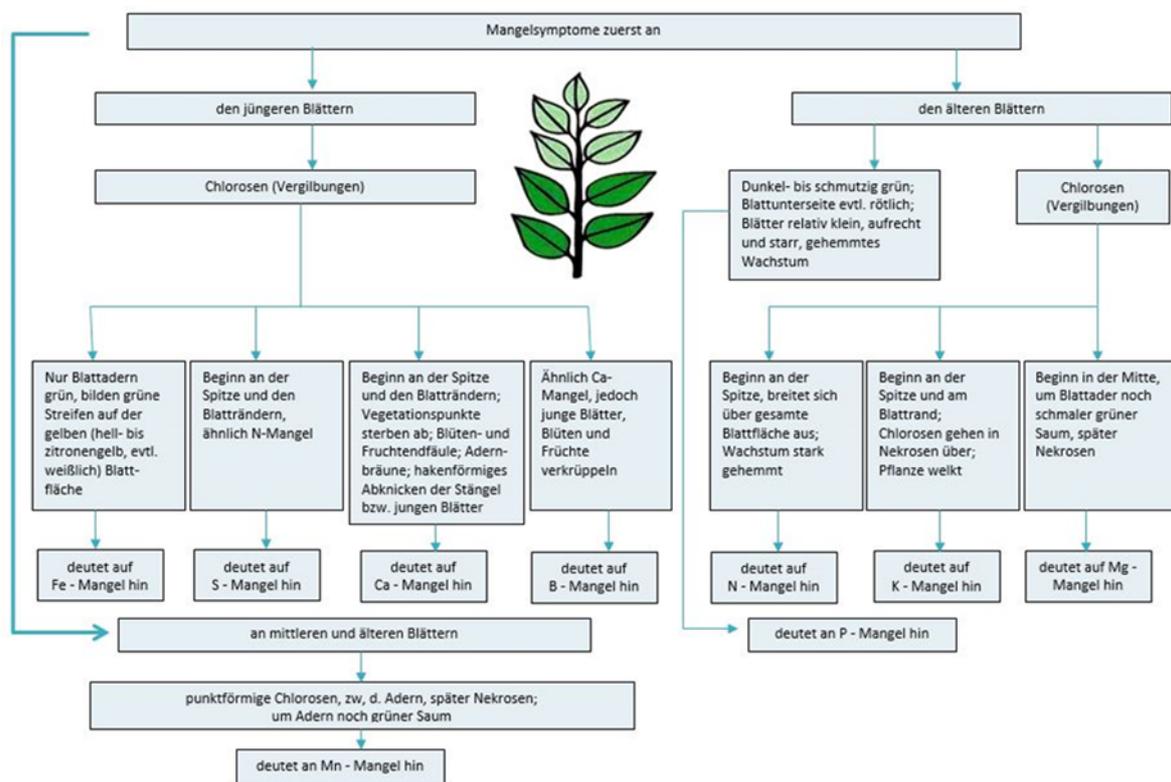


Tabelle 16: Beispielhafte Auflistung von Nährstoffen, ihrer Zielfunktion in der Pflanze und Auswirkungen bei Mangel und Überschuss in Gemüsekulturen.

Nährstoff	Zielfunktion	Überschuss	Mangel
Stickstoff (N)	<p>(vegetative) Wüchsigkeit</p> <p>Pflanzen benötigen Stickstoff großteils zum Aufbau von Eiweiß (durchschnittlicher Stickstoffgehalt von pflanzlichem Eiweiß: 6,25 %). Es existieren allerdings auch eine Reihe weiterer wichtiger stickstoffhaltiger Inhaltsstoffe, wie z. B. Enzyme, das Chlorophyll (= Blattgrün), Vitamine, eine Vielzahl von Geschmacks-, Geruchs- und Farbstoffen und auch die Erbsubstanz. Für den Ertrag und die Qualität ist daher die Versorgung der Pflanze mit Stickstoff von großer Bedeutung.</p> <p>Der Stickstoff wird von den Pflanzen überwiegend als Nitrat-Ion, zu einem geringen Teil als Ammonium-Ion über die Wurzeln aufgenommen. Das aufgenommene Nitrat muss für die Weiterverarbeitung im pflanzlichen Stoffwechsel umgewandelt werden. Im Stickstoffstoffwechsel bewirkt eine Reihe von Enzymen die weitere Umsetzung des reduzierten Nitrats zu Amiden, Aminosäuren und schließlich zu größeren Eiweißmolekülen.</p>	<p>Dünnwandiges, instabiles, wasserreiches Gewebe, große Blätter, geringe Frostresistenz, geringe Widerstandskraft gegen Krankheiten (Pilzkrankheiten), schlechte Lagerfähigkeit, Verzögerung der Reife, Blattrandnekrosen,</p>	<p>Schlechtes Wachstum, blassgrüne Blätter, Vergilben der älteren Blätter, kümmerlicher Wuchs, Notblüte, Notreife der Früchte, geringe Erträge</p>
Kalium (K)	<p>Wasserhaushalt</p> <p>Gewebefestigkeit</p> <p>Aufbau von Eiweiß</p> <p>Frostresistenz</p> <p>Resistenzaufbau Pilze, Insekten</p>	<p>Hemmt die Aufnahme von Magnesium und Calcium und dadurch bedingt Wuchshemmung</p>	<p>Welketracht durch gestörten Wasserhaushalt, Starrtracht, Blatt- und Randdünne bei älteren Blättern, Verrieselung bei Ribisel, empfindlich bei Frost und Trockenheit, zuerst an älteren Blättern</p>
Phosphor (P)	<p>Blütenbildung, Energiehaushalt</p>	<p>Wuchshemmung, P behindert die Aufnahme von Fe und Cu, Auswaschen von Phosphaten fördert die Eutrophierung von Gewässern</p>	<p>Ältere Blätter verfärbt, vorzeitiger Blattfall, späte Blüte, verzögerte Reife, schlechter Fruchtansatz</p>
Magnesium (Mg)	<p>Blattgrünbildung</p> <p>Stoffwechsel, Eiweißaufbau, Bildung von Adenosin-Triphosphat (ATP) als</p>	<p>Behindert die Aufnahme von Kalium</p>	<p>Aufhellung älterer Blätter zwischen den Nerven, Entlaubung an der</p>

Nährstoff	Zielfunktion	Überschuss	Mangel
	universeller Energieüberträger in der Pflanze		Zweigbasis, schlechte Wurzelbildung
Nährstoff	Zielfunktion	Überschuss	Mangel
Calcium	<p>Zellwandaufbau, Zellteilung, Zellstreckung, Atmung</p> <p>Bei der Bewertung der Calciumversorgung sollte man Folgendes berücksichtigen:</p> <p>Früchte tragende Pflanzen benötigen eine geringe, aber kontinuierliche Versorgung mit Ca²⁺,</p> <p>die ausreichende Ca²⁺-Versorgung zum Zeitpunkt der Fruchtentwicklung ist wichtiger als vorher,</p> <p>Blatt- Ca²⁺-Gehalte sind kein brauchbares Kriterium für die Beurteilung von Ca²⁺-Mangelschäden an Früchten – Fruchtanalysen sind besser,</p> <p>der Gehalt an mobilem Ca²⁺ ist aussagekräftiger als der Gesamt Ca²⁺-Gehalt,</p> <p>die Einlagerung von Ca²⁺ in Früchte kann v.a. durch überhöhte Kaligaben auf leichten Böden gehemmt werden (hohe K-Gehalte erniedrigen die Ca-Mobilität),</p> <p>bei hoher Luftfeuchtigkeit/geringer Transpiration kann trotz hohen Ca-Angebotes bei intensivem Wachstum Calcium-Mangel auftreten. Wechselnde Luftfeuchtigkeit wirkt wie ein Pumpmechanismus und begünstigt den Ca-Transport.</p> <p>schnelles Wachstum begünstigt Ca²⁺-Verdünnungseffekt in der Pflanze und Mangelsymptome.</p> <p>Ca-Düngung</p> <p>In der Düngung wird die Zufuhr von Calcium häufig vernachlässigt, ohne zu bedenken, dass höhere NPK-Gaben und Erträge auch den Calciumbedarf der Pflanzen erhöhen. Hinzu kommt, dass versauernd wirkende N-Dünger das Ca-Potential der Böden zunehmend beanspruchen.</p> <p>In kritischen Entwicklungsphasen mit hohem Calciumbedarf können</p>	<p>Überschuss an Ca behindert die Aufnahme von K, B, Mn, Fe – führt zu Chlorosen</p>	<p>Junge Blätter gelbgün, Wurzelwachstum gestört, Hemmung der Pollenkeimung, Befruchtung und Fruchtbildung, Blattrandnekrosen, Innenbrand bei kopfbildenden Gemüsearten, Stipe bei Apfel, Tomatenfäule</p> <p>Calcium-Mangel kann bei Gemüse zu folgenden physiologischen Störungen führen: Blütenendfäule bei Tomaten, Melonen, Zucchini, Paprika (blossomend rot), Schwarzherzigkeit bei Sellerie (black heart of celery), Innenblattnekrosen bei Salat und Kohlpflanzen (leaf tip burn), Hohlfleckigkeit bei Karotten und Pastinaken (cavity spot). Salat ist darüber hinaus bei Ca-Mangel stark für Botrytis anfällig.</p>

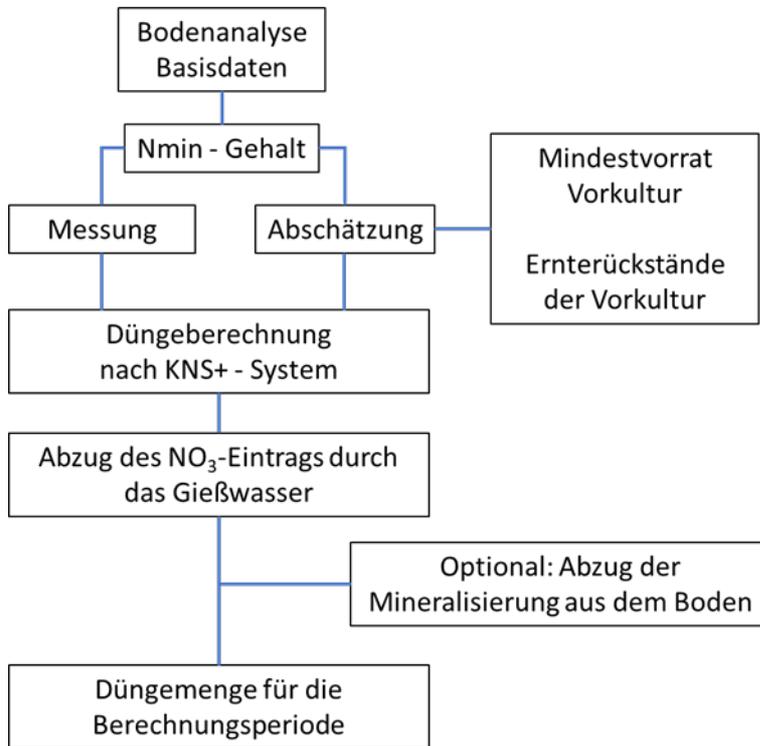
Nährstoff	Zielfunktion	Überschuss	Mangel
	<p>Blattspritzungen oder Fruchtspritzungen mit CaCl_2 (6–11 kg/ha) oder $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ appliziert werden (Vorsicht: Nitratform soll beim Blattgemüse nur in der Abstimmung von Nitratgehalten in der Pflanze appliziert werden).</p> <p>Die Versorgung sollte aber durch die Verwendung entsprechender Kalkdünger über den Boden sichergestellt sein.</p>		
Nährstoff	Zielfunktion	Überschuss	Mangel
Spurenelemente			
Eisen (Fe)	Chlorophyllbildung, Enzymaktivitäten		Nervatur grün, Zwischenräume gelb (Chlorose) Achtung: Eisen wird durch Kalk gebunden!
Bor (B)		Toxisch	Hemmung Blütenbildung, Pollenkeimung und Befruchtung, „Herzfäule“ bei Rüben
Mangan (Mn)	Chlorophyllbildung, Enzymaktivitäten		Punktförmige Chlorosen
Zink (Zn)	Chlorophyll- und Auxinbildung	Chlorosen, Internodienverkürzung	
Kupfer (Cu)	Zellwandaufbau, Blüten- und Fruchtbildung		ähnlich Ca-Mangel

4 Methoden zur Stickstoff – Düngebemessung

Je nach Datenverfügbarkeit (Bodenanalysen, N_{\min} -Untersuchungen) kann die Düngebemessung nach unterschiedlichen Methoden erfolgen. Grundsätzlich gilt: Je mehr aktuelle Informationen zur Verfügung stehen, desto präziser kann die Berechnung der erforderlichen Düngemenge erfolgen. Dies führt zu einer verbesserten Stickstoffeffizienz und einer Vermeidung von Stickstoffverlusten. Die verbesserte Nutzungseffizienz verringert einerseits das Risiko einer Beeinträchtigung der Grundwasserqualität und führt andererseits zur Reduktion der Düngekosten.

Im Zentrum der Berechnung steht der N_{\min} -Gehalt des Bodens. Dieser sollte möglichst unmittelbar vor Beginn der Kultur bzw. dem beabsichtigten Düngungstermin gemessen werden, um den aktuellen Status der Stickstoffversorgung im Boden optimal zu erfassen. Sollte keine Messung möglich sein, kann der N_{\min} -Gehalt im Boden auch abgeschätzt werden (siehe 4.2). Basierend auf dem N_{\min} -Gehalt erfolgt die Berechnung des Düngedarfs gemäß dem KNS-System. Da zusätzlich auch das Mineralisationspotential des Bodens mitberücksichtigt werden kann, wird das Verfahren als das „erweiterte KNS+ -System“ bezeichnet. Die genaue Vorgangsweise wird in der Folge erläutert.

Abbildung 5: Schematischer Ablauf der Ermittlung des Düngedarfs für Stickstoff



4.1 Methode 1: Düngung auf Basis des KNS+ -Systems

In Deutschland wurde Ende der 80er Jahre ein System zur Optimierung der Stickstoffdüngung entwickelt. Dieses System berücksichtigt den unterschiedlichen Bedarf der Pflanzen während der Kulturzeit und den Gehalt an verfügbarem Stickstoff im Boden (Kulturbegleitende N_{\min} -Sollwerte-System = KNS-System). Die Grundlage ist eine zeitlich gestaffelte Bedarfskurve, die nicht nur eine mengenmäßige, sondern auch eine zeitliche Optimierung der Düngergaben ermöglicht.

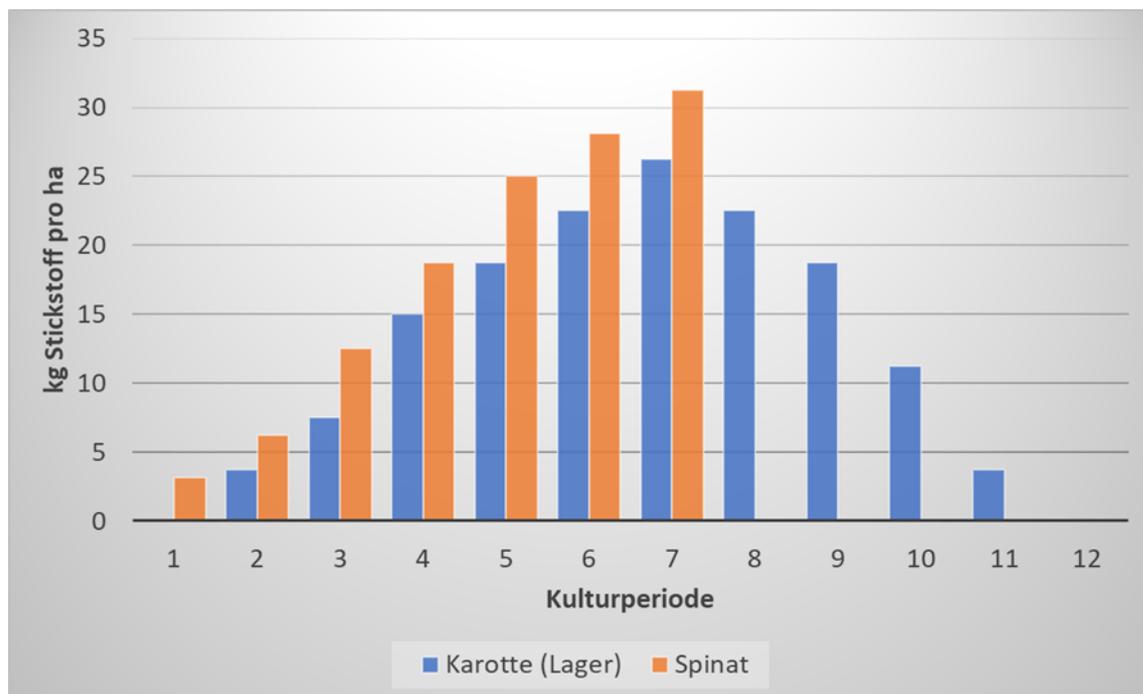
N_{\min} -Gehalt

Der N_{\min} -Gehalt gibt Aufschluss über die pflanzenverfügbare Menge an mineralischem Stickstoff (Nitrat und Ammonium = Bodenvorrat in kg N / ha). Er stellt eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Probenziehung dar und wird zur Ermittlung des Düngedarfs vom Stickstoffsollwert abgezogen. Der N_{\min} -Wert gibt keinen Aufschluss darüber, wieviel Stickstoff nach dem Beprobungszeitpunkt noch nachgeliefert wird.

Prinzip

Das KNS-System geht davon aus, dass eine Kulturart bis zur Erreichung der Marktfähigkeit eine bekannte Menge an Stickstoff benötigt (Beispiele siehe Abbildung 6). Diese Stickstoffmenge wird als Bedarf bezeichnet und ist von der Gemüseart, vom Ertrag und vom Entwicklungsstadium der Pflanze abhängig. Der Gesamtbedarf setzt sich aus dem N-Bedarf im Aufwuchs (Ernteprodukt und Ernterückstand) und einem Mindestvorrat im Boden zusammen. Der Bedarf ist die Basis für die Berechnung der erforderlichen Düngemenge. Während mit dem Erntegut eine Stickstoffabfuhr vom Feld stattfindet, verbleibt der Ernterest in den meisten Fällen auf dem Feld. Der darin enthaltene Stickstoff wird durch Mineralisierung freigesetzt und wird bei der Folgekultur berücksichtigt.

Abbildung 6: Stickstoffbedarf unterschiedlicher Gemüsearten im Kulturverlauf: Spinat (Blattgemüse, Kulturperiode: Woche) und Karotte (Wurzelgemüse, Kulturperiode: 2 Wochen)



Die möglichst genaue Kenntnis dieser Ansprüche ermöglicht es, bei einer Kopf-(Teil-)düngergabe den noch zu verabreichenden Rest an Stickstoff bis Kulturrende optimal zu berechnen. Zu den einzelnen Düngungsterminen können somit Stickstoffsollwerte angegeben werden.

Stickstoffsollwert

Der Stickstoffsollwert ist jene Stickstoffmenge, die im Boden vorhanden sein sollte, um die optimale Qualität zu erreichen. Vom Sollwert müssen der im Boden mineralisierte und damit verfügbare Stickstoff (N_{\min}) und der mit dem Gießwasser in den Boden eingebrachte Stickstoff abgezogen werden.

Die Vorteile des Systems liegen in einer schnellen Reaktionsmöglichkeit auf alle Veränderungen des Stickstoffgehaltes im Boden, einer Vermeidung von Überschusssituationen und einer Minimierung des Nitratreintrages ins Grundwasser.

Voraussetzung für eine optimale Anwendung:

- Einhaltung der vorgegebenen Düngungstermine,
- wiederholte N_{\min} -Untersuchung, um die berechnete Stickstoffbilanz durch Messungen zu untermauern bzw. korrigierend eingreifen zu können,
- bei Kurzkulturen sollte wenigstens eine Kopfdüngung mit vorhergegangener Beprobung erfolgen,
- vor einer Düngungsmaßnahme muss die Bestimmung des N_{\min} -Gehaltes sehr rasch erfolgen. Dies kann entweder durch eine optimierte Zusammenarbeit mit einem Labor oder durch den Einsatz von Schnellmethoden erreicht werden.

Mindestvorrat

Um in Mineralisationspausen genug Stickstoff bereitgestellt zu haben und keinen versteckten Nährstoffmangel zu riskieren, wird eine gewisse Nährstoffmenge (Mindestvorrat, Puffer) aufgeschlagen, die in den angeführten Sollwerten für Düngeempfehlungen immer enthalten ist. Die verschiedenen Gemüsearten reagieren unterschiedlich stark auf Versorgungspässe, der Mindestvorrat muss daher kulturspezifisch angepasst werden. Bei manchen Kulturen ist es sinnvoll, ihn gegen Ende der Kulturdauer abzusenken.

In der folgenden Tabelle 17 sind die Ertragsspannen, der Stickstoffbedarf, der Mindestvorrat zu Kulturrende und die Nachlieferung aus den Ernterückständen zusammengefasst. Dabei ist auch die standörtliche Nachlieferung aus dem Boden berücksichtigt. Bei Unterschreiten der angegebenen Ertragsspanne ist der Bedarf um bis zu 25 % zu reduzieren, bei einer Überschreitung kann er um bis zu 25 % erhöht werden. Dabei sind die aktuell geltenden gesetzlichen Vorgaben zu beachten. Erfolgt die Ernte der Folgekultur im Folgejahr, können

die Nachlieferung aus Ernterückständen sowie der anzurechnende Mindestvorrat um 50 % reduziert werden.

Grundsätzlich ist die Teilung von Stickstoffgaben über 100 kg/ha in schnell wirkender Form empfehlenswert, wobei die jeweils geltenden gesetzlichen Bestimmungen (z. B. Nitrataktionsprogramm-Verordnung) zu beachten sind. Praxisübliche Düngungstermine sind in den Kulturdatenblättern im Anhang angeführt.

Tabelle 17: Ertragsbereich, Stickstoffbedarf, Stickstoff-Mindestvorrat und Sollwert für Gemüsekulturen unter Berücksichtigung der standörtlichen Nachlieferung aus dem Boden, Nachlieferung aus Ernterückständen

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		N-Bedarf	N-Mindest- vorrat zu Kulturende	Soll- wert	Nachliefe- rung aus Ernterück- ständen
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Artischocke	12	20	90	40	130	10
Blattsalate 7 Wochen	20	50	85	30	115	10
Blattsalate 10 Wochen	20	50	100	30	130	10
Brokkoli	15	25	260	40	300	50
Buschbohne (gepflückt)	12	18	95	20	115	45
Chicoree	30	50	185	0	185	35
Chinakohl (12 Wochen, gesät)	50	80	160	20	180	45
Chinakohl (8 Wochen)	50	80	200	40	240	45
Dill	15	25	60	40	100	10
Einlegegurke (Tröpfchenbewässerung)	40	70	145	40	185	25
Eissalat	30	40	95	20	115	15
Endivie	30	50	120	40	160	15
Feldgurke	35	80	180	40	220	35
Grünerbse	4	6	100	0	100	65
Grünkohl	20	40	200	20	220	35

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		N-Bedarf	N-Mindest- vorrat zu Kulturende	Soll- wert	Nachliefe- rung aus Ernterück- ständen
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Grünsoja	3	5	90	20	110	35
Karfiol	20	45	270	40	310	50
Karotte (Bund)	40	60	100	20	120	10
Karotte (Lager)	60	90	150	20	170	25
Karotte (Industrie)	67	112	160	20	180	45
Knoblauch (Frühjahr)	3	6,5	75	20	95	15
Knoblauch (Herbst)	4	12	90	20	110	15
Knollenfenchel	35	45	150	40	190	40
Kochsalat (Romana-Salate)	55	65	145	40	185	15
Kohl (Herbst)	40	60	270	40	310	50
Kohlrabi	40	50	190	40	230	25
Kohlrabi (Industrie)	50	100	230	40	270	30
Kopfsalat	26	44	60	40	100	15
Kraut (früh, Vlies)	20	45	175	20	195	50
Kraut (Herbst)	60	80	260	20	280	75
Kraut (Industrie, früh)	70	110	315	20	335	75
Kraut (Industrie, spät)	80	130	350	20	370	75
Kraut (Lager)	52	88	290	20	310	75
Kraut (Sommer)	40	70	200	20	220	75
Kren	7	13	250	0	250	10
Kürbis (Speisekürbis)	20	50	170	0	170	45
Mangold	15	20	140	40	180	30
Melone	20	50	155	0	155	45
Pastinake	40	50	220	0	220	55
Petersilie (Schnitt)	20	50	195	40	235	10
Petersilie (Wurzel)	35	45	155	0	155	45

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		N-Bedarf	N-Mindest- vorrat zu Kulturende	Soll- wert	Nachliefe- rung aus Ernterück- ständen
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Porree (Herbst, Winter)	30	60	195	40	235	40
Porree (früh, Folie)	25	50	160	40	200	35
Porree (Hybrid)	60	110	260	40	300	45
Radicchio	20	35	125	40	165	25
Radieschen	15	25	60	40	100	5
Rettich, schwarz	20	50	120	40	160	30
Rettich (Bierrettich)	35	70	135	40	175	20
Rhabarber Pflanzjahr	0	0	100	30	130	0
Rhabarber 2. Standjahr	5	15	100	20	120	0
Rhabarber 3. Standjahr	10	20	120	40	160	0
Rhabarber ab 4. Standjahr	15	40	120	40	160	0
Rote Rübe (Industrie)	50	100	255	20	275	30
Rote Rübe (Frischmarkt)	40	70	220	20	240	20
Rucola	12,5	35	130	40	170	20
Schnittlauch	30	50	325	0	325	0
Schwarzwurzel	20	35	120	0	120	20
Sellerie (Knollen)	40	60	200	40	240	30
Sellerie (Stangen-, Bleich-)	40	60	200	50	250	30
Spargel Pflanzjahr	0	0	140	0	140	0
Spargel 2. Standjahr	1,5	2	120	40	160	0
Spargel 3. Standjahr	6	8	120	40	160	0
Spargel (Ertragsanlage)	8	12	55	20	80	0
Spinat (Frühjahr)	15	25	125	40	165	30
Spinat (Herbst)	20	30	150	40	190	30
Spinat (Überwinterung)	25	35	170	40	210	30
Stangenbohne, Käferbohne (frisch)	20	25	140	20	160	40

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		N-Bedarf	N-Mindest- vorrat zu Kulturende	Soll- wert	Nachliefe- rung aus Ernterück- ständen
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Stangenbohne, Käferbohne (trocken)	1,5	2	140	20	160	40
Vogerlsalat (Rapunzel)	6	10	45	40	85	5
Zucchini	40	60	210	20	230	35
Zuckerhut	35	65	135	40	175	20
Zuckermais (Kolben)	10	18	160	20	180	60
Zwiebel (Sommer), trocken	40	60	115	30	145	30
Zwiebel (Bund)	40	80	160	50	210	15

Durchwurzelungstiefe

Die vorgegebenen Sollwerte (siehe Kulturdatenblätter) beziehen sich jeweils auf die durchwurzelten Bodenhorizonte, die Bodenprobe kann daher auf die genutzte Bodentiefe beschränkt werden. Unmittelbar nach dem Räumen der Kultur kann eine N_{\min} -Analyse die Richtigkeit der Düngeberechnung bestätigen, diese wird zumeist für die oberste Bodenschicht (0–30 cm) durchgeführt.

Beregnungswasser

Abbildung 7: Beregnung im Gemüsebau



Bei Verwendung von Beregnungswasser mit einem höheren Nitratgehalt werden zusätzliche Stickstoffmengen in den Boden gebracht. So entspricht etwa eine Nitratkonzentration von 50 mg/l im Beregnungswasser bei 200 mm Beregnungsmenge einer Düngermenge von 23 kg Reinstickstoff/ha. Zur Ermittlung des tatsächlichen Nitratgehaltes ist eine Wasseranalyse durchzuführen, detaillierte Angaben zur Umrechnung der Analysendaten sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Tabelle 18: Umrechnung von Wasseruntersuchungsergebnissen

mg Nitrat/l	mm Beregnungswasser					
	10	50	100	150	200	
	kg Reinstickstoff/ha					
10		0,2	1	2	3	5
20		0,5	2	5	7	9
30		0,7	3	7	10	14
40		0,9	5	9	14	18
50		1,1	6	11	17	23
60		1,4	7	14	20	27
70		1,6	8	16	24	32
80		1,8	9	18	27	36
90		2,0	10	20	30	41
100		2,3	11	23	34	45

Weitere Korrekturmöglichkeiten

Wie weiter oben erwähnt, kann während der Kultur eine weitere Freisetzung von Stickstoff aus dem Boden erfolgen (siehe 2.5.1 und 2.5.2). Liegt keine N_{\min} -Analyse während des Verlaufs der Kultur vor, können diese Faktoren mitberücksichtigt werden (KNS+ -System)

4.1 4.2 Methode 2: Düngung ohne N_{\min} -Analyse

Abschätzung des N_{\min} -Wertes

Der abgeschätzte N_{\min} -Wert ist dann für die Berechnung des Düngedarfs zu verwenden, wenn keine aktuellen Messdaten vorliegen. Dabei wird das gesamte geschätzte Mineralisationspotential des Standortes berücksichtigt. In jedem Fall werden der für die Vorkultur angegebene Mindestvorrat sowie die aus den Ernterückständen freigesetzte Stickstoffmenge einbezogen (siehe Tabelle 17). Bei Abschätzungen des Gehalts für im Folgejahr zu erntende Kulturen können die Nachlieferung aus Ernterückständen und der anzurechnende Mindestvorrat um 50 % reduziert werden. Zusätzlich können auch noch die angenommene Mineralisation aus dem Humus (siehe Tabelle 8) sowie Korrekturfaktoren in Bezug auf die Bodenbearbeitung (siehe Tabelle 9) und den Ton- bzw. Humusgehalt (Tabelle 10) mitberücksichtigt werden.

4.2 4.3 Sonderfälle

Geringerträge, Missernten

In manchen Jahren wird der angestrebte Ertrag deutlich unterschritten. In diesem Fall oder bei Missernten (z. B. Hagelschäden, Trockenschäden) bleiben große Mengen an Stickstoff im Boden zurück, die bei zeitlich nahem Anbau der Folgekultur oder durch den Anbau von Begrünungen verwertet werden können. Ziel der Begrünungen ist unter anderem, den mineralischen Stickstoff aufzunehmen und die Verlagerung in tiefere Schichten bzw. ins Grundwasser zu vermeiden, sodass der Stickstoff für die Folgekultur zur Verfügung steht.

Gibt es also eine große Diskrepanz zwischen aufgebrachter Düngemenge und mit dem Erntegut abgeführten Stickstoff, sollte diese Menge an Stickstoff bei der Düngebemessung der Folgekultur abgezogen werden, sofern zur Düngebemessung nicht die erweiterte KNS-Methode verwendet wird.

Überdurchschnittliche Ertragsentwicklung, Starkniederschläge

Im Fall einer überdurchschnittlichen Ertragsentwicklung oder bei vermuteten Stickstoffverlusten z. B. nach starken Niederschlagsereignissen kann die Stickstoffdüngung um 10 % der ursprünglich kalkulierten Obergrenze erhöht werden.

5 Berechnung des Düngedarfs für P, K und Mg

Im Gegensatz zum Stickstoff, der in seiner mineralischen Form überwiegend pflanzenverfügbar ist, sind die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium im Boden mehr oder weniger festgebunden. Die Verfügbarkeit hängt in diesem Fall nicht nur von den im Wasser gelösten Anteilen, sondern auch von der Aktivität der Pflanzenwurzeln und der Mikroorganismen im Boden ab. Eine unmittelbare Verwendung der Gehalte im Boden für die Düngungsberechnung wie im Fall des Stickstoffs ist daher nicht möglich. Allerdings wurden in zahlreichen Versuchen Wertebereiche ermittelt, die eine Einschätzung des Versorgungsgrades des Bodens ermöglichen. Ausgehend von diesen Versorgungsklassen kann die notwendige Düngermenge berechnet werden. Als Basis der Berechnung dient der Wert für die Düngung bei Gehaltsklasse C1. Diese Werte sind durch die Entzüge (= Feldabfuhr) durch die einzelnen Kulturen festgelegt. Die Differenz zu der für den gesamten Aufwuchs erforderlichen Nährstoffmenge kann durch die Rücklieferung aus den Ernterückständen abgedeckt werden. Bei der erstmaligen Anwendung dieses Berechnungsmodells ergibt sich zwar dadurch eine negative Bilanz, es konnte jedoch in zahlreichen Versuchen nachgewiesen werden, dass dies in gemüsebaulich genutzten Böden durch die Nachlieferung aus dem Bodenvorrat ausgeglichen werden kann. Lediglich bei Böden mit den Versorgungsklassen A oder B könnte diese Negativbilanz im ersten Jahr zu einer geringfügigen Ertragsminderung führen.

Tabelle 19: Bedarf an Phosphor, Kalium und Magnesium bei Vorliegen der Gehaltsklasse C für den mittleren Ertragsbereich

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Artischocke	12	20	40	140	20
Blattsalate 7 Wochen	20	50	30	140	15
Blattsalate 10 Wochen	20	50	30	140	15
Brokkoli	15	25	40	110	10

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Buschbohne (gepflückt)	12	18	20	50	10
Chicoree	39	50	40	150	15
Chinakohl	50	80	60	180	20
Dill	15	25	15	100	10
Einlegegurke (Tröpfchenbewässerung)	40	70	50	210	15
Eissalat	35	45	30	140	15
Endivie	30	50	35	140	15
Feldgurke	35	80	40	140	15
Grünerbse	4	6	20	50	10
Grünkohl	20	40	40	140	15
Grünsoja	3	5	30	60	10
Karfiol	20	45	35	130	10
Karotte (Bund)	40	60	30	200	20
Karotte (Lager)	60	90	50	250	20
Karotte (Industrie)	67	112	50	250	20
Knoblauch (Frühjahr)	3	6,5	30	80	15
Knoblauch (Herbst)	4	12	30	80	15
Knollenfenchel	35	45	20	140	10
Kochsalat, Romana-Salate	55	65	60	180	20
Kohl (Herbst)	40	60	50	180	15
Kohlrabi (Herbst)	4	50	40	140	15
Kohlrabi	20	40	40	140	15
Kohlrabi (Industrie)	50	100	60	210	15
Kopfsalat	26	44	30	140	15
Kraut (früh, Vlies)	20	45	40	145	15
Kraut (Herbst)	60	80	60	250	25
Kraut (Industrie, früh)	70	110	70	285	30

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Kraut (Industrie, spät)	80	130	80	310	30
Kraut (Lager)	52	88	70	285	30
Kraut (Sommer)	40	70	50	190	20
Kren	7	13	60	180	30
Kürbis (Speisekürbis)	20	50	50	220	30
Mangold	15	20	40	180	10
Melone	20	50	50	210	10
Pastinake	40	50	30	190	15
Petersilie (Schnitt)	20	50	30	190	15
Petersilie (Wurzel)	35	45	30	190	15
Porree (Herbst, Winter)	30	60	50	180	15
Porree (früh, Folie)	25	50	30	130	15
Porree (Hybrid)	60	110	40	150	15
Radicchio	15	35	30	140	15
Radieschen	15	25	20	100	10
Rettich, schwarz	20	50	40	200	15
Rettich (Bierrettich)	35	70	40	200	15
Rhabarber Pflanzjahr	0	0	60	200	20
Rhabarber 2. Standjahr	5	15	60	200	20
Rhabarber 3. Standjahr	10	20	60	200	20
Rhabarber ab 4. Standjahr	15	40	60	200	20
Rote Rübe (Industrie)	50	100	50	220	20
Rote Rübe (Frischmarkt)	40	70	50	195	20
Rucola	12,5	35	40	140	10
Schnittlauch	30	50	50	180	15
Schwarzwurzel	20	35	60	155	20
Sellerie (Knollen)	35	80	80	280	20

Kultur	Ertragsbereich (t/ha)		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	von	bis	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Sellerie (Stangen-, Bleich-)	20	65	60	240	20
Spargel Pflanzjahr	0	0	60	140	20
Spargel 2. Standjahr	1,5	2	60	140	20
Spargel 3. Standjahr	6	8	60	140	20
Spargel (Ertragsanlage)	8	12	60	140	20
Spinat (Frühjahr)	15	25	40	140	10
Spinat (Herbst)	20	30	40	180	10
Spinat (Überwinterung)	25	35	40	180	10
Stangenbohne, Käferbohne (frisch)	20	25	40	150	10
Stangenbohne, Käferbohne (trocken)	1,5	2	40	150	10
Vogerlsalat (Rapunzel)	6	10	10	60	5
Zucchini	30	70	50	210	30
Zuckerhut	35	65	30	140	20
Zuckermais (Kolben)	10	18	40	150	10
Zwiebel (Sommer), trocken	40	60	40	140	15
Zwiebel (Bund)	40	80	40	140	15

Die in den Datenblättern bzw. Tabelle 20 angeführten Werte sind je nach Gehaltsklasse (siehe Tabelle 12, Tabelle 13 und Tabelle 14) mit folgenden Faktoren zu multiplizieren:

Tabelle 20: Faktoren zur Berechnung des Düngebedarfs für Phosphor, Kalium und Magnesium

Gehaltsklasse	Faktor
A	1,5
B	1,25
C1	1
C2	0,5

Gehaltsklasse	Faktor
D	0,5
E	0

Berechnungsbeispiel: Chinakohl, 12 Wochen, gesät

Die Bodenanalysen zeigen folgende Ergebnisse:

P: 32 mg/kg Versorgungsklasse B (niedrig)
 K: 167 mg/kg Versorgungsklasse C1 (mittlerer Boden, ausreichend)
 Mg: 140 mg/kg Versorgungsklasse D (hoch)

Berechnung:

Nährstoff	Faktor	Düngung bei Gehaltsklasse C – kg/ha	Düngung – kg/ha
P ₂ O ₅	1,25 x	60 =	85
K ₂ O	1 x	180 =	180
MgO	0,5 x	20 =	10

Zusätzlich zur absoluten Versorgung mit Kalium und Magnesium sollte auch das Verhältnis dieser beiden Nährstoffe zueinander beachtet werden, da sie antagonistisch wirken können. Liegt das K/Mg-Verhältnis unter einem Wert von 1,7, besteht die Gefahr eines latenten Kaliummangels. In diesem Fall ist eine Düngung wie für die nächstniedrigere Gehaltsklasse zulässig. Diese Voraussetzung gilt allerdings nicht für eine Kaliumversorgung der Gehaltsklasse E. Gleiches gilt für die Düngung mit Magnesium, wobei als Grenzwert ein K/Mg-Verhältnis größer als 5 angesehen wird.

Berechnungsbeispiel bei unterschiedlichem K/Mg-Verhältnis

	Versorgungsklasse		Versorgungsklasse	
Bodenanalyse	K: 167 mg/kg	C1 (ausreichend)	350 mg/kg	E (sehr hoch)
	Mg: 210 mg/kg	E (sehr hoch)	50 mg/kg	B (niedrig)
K/Mg-Verhältnis:	167 : 210 = 0,8		350 : 50 = 7	
	Kaliumdüngung wie für Versorgungsklasse B zulässig (Faktor 1,25).		Magnesiumdüngung wie für Versorgungsklasse A zulässig (Faktor 1,5).	

5.1 Ertrag und Nährstoffbedarf

Die in den Datenblättern angeführten Nährstoffmengen beziehen sich auf den angegebenen Ertragsbereich. Liegt der erwartete Ertrag unter dem Ertragsbereich und ist der Versorgung des Bodens mit Gehaltsklasse C1 eingestuft, ist der Nährstoffbedarf um 15 % zu reduzieren. Liegt der erwartete Ertrag über dem angegebenen Bereich, ist bei einer Einstufung der Versorgung mit C1 eine Erhöhung des Bedarfs bis zu 25 % zulässig. Abweichungen von dieser allgemeinen Grundlage sind auf den Kulturdatenblättern vermerkt. Bei den Nährstoffen Phosphor, Kalium und Magnesium ist eine Erhöhung nur zulässig, wenn die Versorgung nicht mit der Gehaltsklasse D oder E eingestuft ist.

Beispiel 1: Chinakohl, 12 Wochen, gesät

Mittlere Ertragserwartung in kg/ha (Ertrag zwischen 50 und 70 t/ha)

Erwarteter Ertrag	Bei mittlerer Ertragserwartung	40 t/ha → Reduktion um 15 %	80 t/ha → Erhöhung um 15 %
Bodenuntersuchung		P, K und Mg – Gehaltsklasse C1	P und Mg – Gehaltsklasse C1 ; K – Gehaltsklasse D
Bedarf	N	180	180 – 27 = 153
	P ₂ O ₅	60	60 – 12 = 48
	K ₂ O	180	180 – 36 = 144
	MgO	20	20 – 4 = 16
			180 + 27 = 207
			60 + 15 = 75
			180 + 0 = 180 (keine Erhöhung, da Gehaltsklasse D)
			20 + 5 = 25

6 Rechtliche Rahmenbedingungen der Düngung

In der vorliegenden Auflage wurden die Entwicklungen der Züchtung und der Kulturführung sowie die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse berücksichtigt. Über die Richtlinien hinaus sind die gesetzlichen Vorgaben zur Düngung vonseiten der EU, des Bundes und des jeweiligen Landes zu beachten. Dies sind insbesondere das Wasserrechtsgesetz (z. B. die Bestimmungen über Bewilligungspflichten, Beobachtungs- und Maßnahmenggebiete oder zur Düngung in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten), die Nitrataktionsprogramm-Verordnung, die Wasserrahmenrichtlinie mit dem aktuellen Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan und den Qualitätszielverordnungen, die NEC-Richtlinie mit dem Emissionsschutzgesetz und dem Ratgeber für die Landwirtschaft, das Klimaschutzgesetz, die Trinkwasserverordnung hinsichtlich Inverkehrbringen von Lebensmitteln sowie das Düngemittelrecht (Düngemittelgesetz und Düngemittelverordnung).

Teilweise stellen auch Vorgaben oder Einschränkungen der Düngung Voraussetzungen für die Teilnahme an Maßnahmen des Programms zur ländlichen Entwicklung dar.

Privatrechtliche Vereinbarungen z. B. aufgrund von Vermarktungsprogrammen oder Richtlinien von Bio-Verbänden können ebenfalls Bestimmungen zur Düngung enthalten.

Anhang

Mineraldünger

Die folgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die wichtigsten im Garten- und Feldgemüsebau verwendeten mineralischen Düngemittel und deren Eigenschaften. Diese Listen dienen nur als exemplarische Auflistung und erheben keinen Anspruch auf Aktualität und Vollständigkeit. Unterschieden werden Einzel- und Mehrnährstoffdünger.

Einzelnährstoffdünger

Als Einzelnährstoffdünger werden Düngemittel bezeichnet, die ausschließlich einen Hauptnährstoff enthalten. Diese Dünger ermöglichen eine leichte Berechnung sowie einen vereinfachten Ausgleich der benötigten Nährstoffmengen.

Tabelle 21: Beispiele für Einzelnährstoffdünger

Bezeichnung / Handelsname	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Einfluss auf pH-Wert
Ammon-Nitrat-Harnstofflösung AHL	27					versauernd
Harnstoff	46					versauernd
Triple-Superphosphat 45 %		45				leicht versauernd
60er Kali			60			basisch
Kohlensaurer Kalk					53	leicht basisch

Mehrnährstoffdünger (Volldünger)

Mehrnährstoffdünger enthalten mindestens zwei, meistens drei oder mehr Nährstoffe in unterschiedlichem Verhältnis zueinander. Die jeweiligen Anteile der Nährstoffe sind in der Reihenfolge N : P₂O₅ : K₂O + Mg (oder MgO) angeführt. In manchen Fällen sind auch Anteile von Schwefel (S) und allfälligen Spurenelementen (Bor, Kupfer, Zink) angegeben. Eine im Gemüsebau gebräuchliche Formulierung ist z. B. 15:5:20.

Tabelle 22: Beispiele für Mehrnährstoffdünger

Bezeichnung / Handelsname	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	S	weitere
Schwefelsaures Ammoniak SSA	24					20,5	
Ammon-Sulfatsalpeter ASS	26					13	
Kalksalpeter 15 % N + 26 % CaO	15				26		
Kalkstickstoff 20 N + 50 CaO	20				50		
Superphosphat 18 %		18				12	
Naturphosphat 26 %		26			40		
Dolophos 15 gran.		15		5	40		
DC Hyperkorn 26 %		26			40		
40er Kali, Kornkali			40	6		5	3 % Na
Kalisulfat (Hortisul, Kalisop)			50			18	
Patentkali			30	10		17	
Complex 15:15:15+S*Zn	15	15	15		5,7	3	
Nitrophoska perfekt	15	5	20	2		8	
Entec perfekt (N-stabilisiert)	14	7	17	2		8	
DC (Bor) Start	6	10	16			10	0,1 % Bor
NPK 20:10:10+S	20	10	10			2	

Stickstoffdünger

Tabelle 23: Mineralische Stickstoffdüngerformen (Beispiele)

Düngertyp	Bezeichnung	Chemische Bezeichnung	Einfluss auf pH-Wert	N in %
Nitratdünger	Kalksalpeter	Ca(NO ₃) ₂	basisch	15
	Magnesiumnitrat	Mg(NO ₃) ₂		10
Ammoniumdünger	Ammonsulfat	(NH ₄) ₂ SO ₄	versauernd	20
Ammon(ium)-nitratdünger	Kalkammonsalpeter	NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃	leicht versauernd	20

Düngertyp	Bezeichnung	Chemische Bezeichnung	Einfluss auf pH-Wert	N in %
	Ammonsulfatsalpeter	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ NH}_4\text{NO}_3$		25
Amid (Harnstoff)	Harnstoff	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	versauernd	44
	Kalkstickstoff	CaCN_2		18
Harnstoffderivate	ID-Harnstoff	Isobutylidendiurea	versauernd	28
	CD-Harnstoff	Crotonolydendiurea		28
	Formaldehydharnstoff	Ureaform		36
Andere Langzeitdünger	Oxamid	Oxalsäurediamid		32
	Umhüllte N-Dünger	Diverse N Dünger		-
Nitrifikationshemmerstoffe	DCD	Dicyandiamid		-
	DMPP	Dimethylpyrazolphosphat		-

Kalksalpeter

mind. 15 % N, besteht zu 82 % aus Calciumnitrat und 5 % aus Ammoniumnitrat und Kristallwasser.

Weißes, leicht wasserlösliches, als Dünger gekörntes Salz, stark hygroskopisch.

Ammon(ium)sulfat (schwefelsaures Ammonium)

mind. 20 % N, auf chemischem Wege gewonnen, Hauptbestandteil Ammoniumsulfat enthält (21 % N, 24 % S), Ammonium wird erst in Nitrat umgewandelt, geringere Auswaschungsgefahr.

Weiß-graues nadelförmiges Salz, gut wasserlöslich, wenig hygroskopisch.

Ammon(ium)nitrat

mind. 20 % N, auf chemischem Weg gewonnenes Erzeugnis

Ammonnitrat ist ein weißes, wasserlösliches, hygroskopisches Salz mit 35 % N.

Es zersetzt sich bei Erhitzung. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von organischen Substanzen (z. B. Schmiermittel, Holz, Papier) besteht Explosionsgefahr. Durch Zusatz von inerten Stoffen (v.a. Kalk, Dolomit, Gips) wird die Zersetzungsgefahr deutlich herabgesetzt.

Kalkammonsalpeter (KAS), Nitramoncal (NAC)

mind. 20 % N, in Ö 27 % N, auf chemischem Weg gewonnenes Erzeugnis, das als Hauptbestandteil Ammonnitrat sowie Zusätze wie gemahlene Kalkstein, Calciumsulfat und Dolomit enthalten kann (mind. 20 % in 90 %iger Reinheit).

Weißliches Granulat, Mischung aus Ammoniumnitrat und Kalk oder Dolomit.

Durch Kalkzusatz wird die Säurewirkung kompensiert.

Ammonsulfatsalpeter (ASS)

mind. 25 % N, auf chemischem Weg gewonnenes Erzeugnis, das als Hauptbestandteil Ammonnitrat und Ammonsulfat enthält, mind. 5 % Nitratstickstoff, 13 % Schwefel.

Ist wasserlöslich und schwach hygroskopisch, wird meist granuliert angeboten.

Wirkt stark bodenversauernd, N ist überwiegend mäßig schnell wirkend, Schwefel schnell wirkend. Als Startgabe im Frühjahr für Schwefel-Mangelstandorte geeignet.

Harnstoff (Carbamid)

mind. 44 % N, auf chemischem Weg gewonnenes Erzeugnis, enthält als Hauptbestandteil Carbamid.

Weiß organische Verbindung, gut wasserlöslich.

Fester Harnstoff kommt geprillt oder granuliert in den Handel.

Wirkung über den Boden langsam, bei Anwendung über das Blatt rasche Wirkung. Harnstoff sollte nach der Ausbringung umgehend eingearbeitet oder „eingeregnet“ werden, um gasförmige NH_3 -Verluste zu verhindern. Zu hohe Harnstoffgaben können zu Wurzelverätzungen führen.

Kalkstickstoff

mind. 18 % N, auf chemischem Weg gewonnenes Erzeugnis, Hauptbestandteil Calciumcyanamid.

Grau-schwarzes (Kohlenstoff), wasserunlösliches Pulver bis 22 % N.

Wirkt ätzend, giftig beim Einatmen. Langsame Stickstoffwirkung und starke Kalkwirkung.

Da Cyanamid für alle Pflanzen toxisch ist, muss vor dem Anbau von Kulturpflanzen eine Wartezeit eingehalten werden, um Keimschäden zu vermeiden (2–3 Tage pro dt/ha).

Cyanamid entsteht und verbleibt im Boden.

Herbizide Wirkung: gegen keimende und auflaufende Unkräuter ca. 2 Wochen vor der Saat 2–3 cm tief in den Boden einarbeiten.

Fungizide Wirkung: Dauersporen von Pilzen werden vernichtet bzw. am Auskeimen gehemmt (Kohlhernie, Sclerotinia, Phytophthora, etc).

Tierische Schädlinge: gewisse Wirkung gegen Schnecken und Drahtwürmer.

Ammonitratharnstofflösung (AHL)

mind. 26 % N, Flüssigmischung aus 50 % Harnstoff-N, 25 % Ammonium-N, 25 % Nitrat-N
Über den Boden entfaltet sich sowohl eine rasche (Nitrat-N) als auch eine langsame N-Wirkung (Harnstoff-N).

Nicht bei Hitze (>25 °C) und starker Sonne ausbringen, keine nassen Pflanzen behandeln, keine Messingdüsen einsetzen, keine Geräte mit verzinkten Eisenteilen, Geräte nach der Arbeit reinigen, großtropfig ausbringen (Druck < 1,5 bar), sonst Verätzungen (Verletzung der Wachsschicht) möglich.

Konzentration: Entweder unverdünnt anwenden oder mit mindestens 3 Teilen Wasser verdünnen, AHL Lagerstätten benötigen eine Baugenehmigung.

Langzeitdünger bzw. Depotdünger

Sie dienen einer längerfristigen N-Versorgung. Der Stickstoff wird in schwer abbaubare Ketten und Ringverbindungen eingebaut oder mit Harzen bzw. Folien umhüllt, die langsam porös werden.

Nitrifikationshemmstoffe

Hemmen die Umwandlung von Ammonium in Nitrat.

NH₄ ist energetisch für die Pflanze vorteilhafter, weil es direkt in Aminosäuren und Proteine eingebaut werden kann, die Auswaschungsgefahr ist geringer als bei NO₃.

Dicyandiamid (DCD, Didin): Alzon

3,4 Dimethylpyrazolphosphat (DMPP, Handelsname ENTEC)

Die Wirkung steigt mit höherem Wasserangebot

Gut für leichte, sandige Böden geeignet, reduzierte Nitratauswaschung

Phosphordünger

Tabelle 24: mineralische Phosphordünger (Beispiele)

Düngertyp	Chemische Bezeichnung	Löslichkeit	Einfluss auf pH-Wert	P ₂ O ₅ % (Mindestgehalte)
Superphosphat	Ca (H ₂ PO ₄) ₂ + CaSO ₄	wasserlösl. (93 %) ammoncitratlösl.	Schwach versauernd	16
Triple Superphosphat	Ca (H ₂ PO ₄) ₂	wasserlösl. (93 %) ammoncitratlösl.	Schwach versauernd	38
Teilaufgeschlossenes Phosphat (z. B. Novaphos)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ CaH ₂ P ₂ O ₇	wasserlösl. (>40 %) citronensäurelösl. (30 %) mineral säurelösl.	Schwach versauernd.	20
Weicherdiges Rohphosphat	Apatit	ameisensäurelösl. >55 %	alkalisch	25
Mono- und Diammoniumphosphat Zweinährstoffdünger	NH ₄ H ₂ PO ₄ (NH ₄) ₂ HPO ₄	wasserlösl.	Schwach basisch	48 46

Einfaches Superphosphat

mind. 16 % P₂O₅

Durch Aufschluss von gemahlenem Rohphosphat mit Schwefelsäure gewonnenes Erzeugnis, das als Hauptbestandteil Monocalciumphosphat sowie Calciumsulfat enthält.

Triple-Superphosphat

mind. 38 % P₂O₅

Durch Aufschluss von gemahlenem Rohphosphat mit Phosphorsäure gewonnenes Erzeugnis, das als Hauptbestandteil Monocalciumphosphat enthält.

Grau, grob granuliert.

Superphosphate wirken rasch und schwach versauernd. Sie sind meist granuliert und daher gut lager- und streubar.

(Weicherdiges) Rohphosphat (Hyperphosphat)

mind. 25 % P₂O₅

Durch Vermahlen weicherdiger Rohphosphate gewonnenes Erzeugnis, das als Hauptbestandteil Tricalciumphosphat sowie Calciumcarbonat enthält.

Rohphosphat ist umso besser verfügbar, je niedriger der pH-Wert des Bodens, je besser die Durchfeuchtung und je intensiver die biologische Aktivität ist. Es kommt daher bei einem pH-Wert < 6–6,5 zum Einsatz.

Rohphosphate wirken wegen des Gesamt CaO-Gehalts von 45–50 % pH-Wert erhöhend.

Kaliumdünger

Tabelle 25: mineralische Kaliumdünger (Beispiele)

Düngertyp	Formel des K-Anteils	Nebenbestandteile	Einfluss auf den pH-Wert	K ₂ O % (Mindestgehalte ¹)
Magnesia-Kainit Kalirohsalz	KCl	NaCl, MgCl ₂ , MgSO ₄ etc.	neutral	10
Kaliumchlorid 40er Kali 60er Kali	KCl	NaCl etc.	neutral	37 57
Patentkali	K ₂ SO ₄	MgSO ₄	neutral	22
Kaliumsulfat (schwefelsaures Kali)	K ₂ SO ₄	MgSO ₄ , KCl	neutral	47

Magnesia-Kainit Kalirohsalz (KCl)

mind 10 % K₂O, mind. 5 % MgO

Aus Kalirohsalzen gewonnenes Erzeugnis. Wasserlösliches, weißes oder leicht farbiges Salz, gekörnt.

Nebenbestandteile: NaCl, MgCl₂, MgSO₄

Spezielle Bedeutung für das Grünland und im Feldfutterbau. Die wesentliche Stärke dieses Düngers liegt in seinem Magnesiumgehalt (5 % MgO) und dem für die Tierernährung wichtigen Natrium (20 % Na).

Kaliumchlorid (KCl)

40er bzw. 60er Kali, mind. 37 % bzw. 57 % K₂O

¹ Laut EG-Verordnung 2003/2003

Durch Aufbereiten von Kalirohsalzen gewonnenes Erzeugnis, das als Hauptbestandteil Kaliumchlorid enthält.

KCl kann bei allen chloridverträglichen Kulturen verwendet werden, wobei bei der Düngungsplanung auf eine zusätzliche Versorgung mit Magnesium, Schwefel und allenfalls Natrium geachtet werden muss.

Patentkali ($K_2SO_4 \times MgSO_4$)

Kaliumsulfat mit Magnesiumsulfat, mind. 22 % K_2O , 8 % MgO

Auf chemischem Weg aus Kalisalzen gewonnenes Erzeugnis. Wasserlöslich, rund 17 % S (wasserlöslicher Schwefel), maximal 3 % Cl. Kristallin, feinkörnig.

Wirkt schnell und nachhaltig, physiologisch neutral, ist rasch pflanzenverfügbar.

Durch den geringen Chloridgehalt und den niedrigen Salzindex eignet sich Patentkali insbesondere zur Nährstoffversorgung chloridempfindlicher Kulturen. Keine Anwendung bei hohen Mg-Gehalten des Bodens!

Kaliumsulfat (K_2SO_4)

mind. 47 % K_2O

Auf chemischem Weg aus Kalisalzen gewonnenes Erzeugnis, das als Hauptbestandteil Schwefel (18 % S) enthält. Höchstgehalt an Chlor 3 %.

Ist nicht hygroskopisch und somit gut lagerfähig. Vollständig wasserlöslich, sodass die Nährstoffe Kalium und Schwefel direkt pflanzenverfügbar sind.

Hat im Vergleich zu anderen Kaliumdüngern einen niedrigen Salzindex und eignet sich daher besonders für die Düngung wertvoller Spezialkulturen in intensiven Anbausystemen.

Schwefel verbessert die Effizienz der N-Düngung.

Je nach Chloridempfindlichkeit der Kulturen sollten entsprechende Kaliumdünger gewählt werden (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26: Chloridempfindlichkeit gärtnerischer Kulturen

	Kulturen	Empfohlene K-Düngemittel
Chlorid verträglich Chlorid haltige Düngemittel einsetzbar	Spargel, Rote Rübe, Rhabarber, Sellerie, Mangold	Kaliumsulfat Kaliumchlorid (60er Kali)
bedingt Chlorid verträglich Chlorid haltige Düngemittel können rechtzeitig vor Vegetationsbeginn eingesetzt werden	Tomate, Radieschen, Kohlgemüse, Erbse, Spinat, Karotte, Porree, Rettich, Chicoree, Speisekürbis	Kaliumsulfat Kaliumchlorid Korn-Kali
Chlorid empfindlich ausschließlich sulfatische Düngemittel	Erdbeere, Buschbohne, Bohne, Gurke, Melone, Zwiebel, Salat, Frühgemüse, alle Unterglaskulturen sowie Keimlinge und Setzlinge der meisten Pflanzen	Patentkali Kaliumsulfat

Bedingt Chlorid verträgliche Kulturen können mit 50 bis 80 kg K₂O in Chloridform gedüngt werden. Chlorid empfindliche Kulturen bedürfen zum Anbau reiner Sulfat-Kali-Dünger oder die Kalidüngung wird entkoppelt und erfolgt bereits im vorherigen Herbst oder mehrere Wochen vor dem Anbau, sodass das Chlorid durch Niederschläge in tiefere Bodenschichten verlagert werden kann.

Magnesiumdünger

Dolomit (CaCO₃ + MgCO₃)

In Dolomit liegt Magnesium in Form von Carbonaten vor, diese sind langsam löslich, siehe auch „Kalke“. Ferner ist Magnesium als Begleitelement Bestandteil von Kalirohsalzen bzw. anderen Kalirohdüngern.

Kieserit (MgSO₄ x H₂O)

mind. 24 % MgO und 45 % SO₄

Bergbauprodukt, sofort pflanzenaufnehmbar, Wirkung schnell und nachhaltig.

Bittersalz (MgSO₄ x 7 H₂O)

mind. 15 % MgO und 28 % SO₄

Ist Wasser anziehend (hygroskopisch). Bei 90 % Luftfeuchtigkeit und ab 20°C beginnt Bittersalz zu zerfließen. Wegen seiner guten Wasserlöslichkeit eignet sich Bittersalz für eine gezielte Anwendung in flüssiger Form mit schneller Wirkung bei akutem Magnesiummangel.

Kalke

Mindestgehalte:

65 % $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ bzw. 30 % $\text{CaO} + \text{MgO}$

Siebdurchgang: 100 % bei 1 mm lichter Maschenweite, mindestens 80 % bei 0,3 mm

gekörnte Produkte: 97 % bei 8 mm

Kohlensaurer Kalk (Calciumcarbonat, CaCO_3)

Feinst vermahlene Kalkgestein, Dolomit oder Kreidemehl natürlichen Ursprungs mit einem Mindestcarbonatgehalt von 90 % $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$. Wirkt langsam aber nachhaltig. Feinkörnig und gut löslich.

Kohlensaurer Magnesiumkalk

Mindestgehalt: 15 % Magnesiumcarbonat. Wirkt langsam aber nachhaltig. Feinkörnig und gut löslich.

Branntkalk

Enthält mindestens 90 % CaO und MgO aus gebranntem Kalkstein, Dolomit oder Kreide, weniger als 10 % gebunden an CO_2 . Schnell wirkend. Wegen der Strukturwirkung v.a. für tonreiche, schwere Ackerböden.

Magnesiumbranntkalk

Der Gesamtgehalt beträgt rechnerisch mindestens 10 % MgO .

Mischkalk

Mischung aus kohlensaurem Kalk und Branntkalk mit einem rechnerischen Mindestgehalt an CaO und MgO von 60 %.

Magnesium Mischkalk: der rechnerische MgO -Gehalt beträgt mindestens 10 % MgO .

Schnell und nachhaltig wirkende Komponente.

Carbokalk

Fällt bei der Saftreinigung in der Zuckerfabrik an. Neben ca. 30 % CaO enthält Carbokalk noch rund 1,1 % P₂O₅, 0,4 % Stickstoff, 1,4 % MgO und 0,1 % K₂O.

Ist feinkörnig, gut löslich.

Konverterkalk

Gemisch aus Branntkalk und silikatischem Kalk. Neben rund 45 % CaO enthält er noch 3–5 % MgO, 1–2 % P₂O₅ und Spurennährstoffe. Umsetzung von Kalk erfolgt bei niedrigem pH-Wert schneller, mit abnehmenden Säuregrad langsamer.

Hüttenkalk

Fällt bei der Eisenerzverhüttung an, silikatisch gebundenes Calcium, langsam wirkend, rund 42 % CaO.

Spurenelementdünger

Tabelle 27: Spurennährstoffdünger (Beispiele)

Spurennährstoff	Typenbezeichnung	Nährstoffmindestgehalt (in Gewichtsprozenten) Angaben zur Nährstoffbewertung
Bor	Borsäure	14 % B, wasserlöslich
	Natriumborat	10 % B, wasserlöslich
	Calciumborat	7 % Gesamtbor, Mahlfineinheit: mindestens 98 % Siebdurchgang bei 0,063 mm lichter Maschenweite
	Borethanolamin	8 % B, wasserlöslich
	Bordüngerlösung	2 % B, wasserlöslich
	Bordüngersuspension	2 % B, wasserlöslich
Kupfer	Kupfersalz	20 % Cu, wasserlöslich
	Kupferoxid	70 % Gesamtkupfer, Mahlfineinheit: mindestens 98 % Siebdurchgang bei 0,063 mm lichter Maschenweite

Spurennährstoff	Typenbezeichnung	Nährstoffmindestgehalt (in Gewichtsprozenten) Angaben zur Nährstoffbewertung
	Kupferhydroxid	45 % Gesamtkupfer, Mahlfeinheit: mindestens 98 %iger Siebdurchgang bei 0,063 mm lichter Maschenweite
	Kupferchelat	9 % Cu, wasserlöslich, davon mindestens 8/10 des zugesicherten Gehalts in Chelatform
	Düngemittel auf Kupferbasis	5 % Gesamtkupfer
	Kupferdüngerlösung	3 % Cu, wasserlöslich
	Kupferoxychlorid	50 % Gesamtkupfer, Mahlfeinheit: mindestens 98 % Siebdurchgang bei 0,063 mm lichter Maschenweite
	Kupferoxychloridsuspension	17 % Gesamtkupfer
Eisen	Eisensalz	12 % Fe, wasserlöslich
	Eisenchelat	5 % wasserlösliches Eisen, dessen Anteil in Chelatform mindestens 80 % betragen muss
	Eisendüngerlösung	2 % Fe, wasserlöslich
Mangan	Mangansalz	17 % Mn, wasserlöslich
	Manganchelat	5 % Mn, wasserlöslich, davon mindestens 8/10 des zugesicherten Gehalts in Chelatform
	Manganoxid	40 % Gesamtmangan, Mahlfeinheit: mindestens 98 % Siebdurchgang bei 0,063 mm lichter Maschenweite
	Mangandünger	17 % Gesamtmangan
	Mangandüngerlösung	3 % Mn, wasserlöslich
Molybdän	Natriummolybdat	35 % Mo, wasserlöslich
	Ammoniummolybdat	50 % Mo, wasserlöslich
	Molybdändünger	35 % Mo, wasserlöslich
	Molybdändüngerlösung	3 % Mo, wasserlöslich
Zink	Zinksalz	15 % Zn, wasserlöslich
	Zinkchelat	5 % Zn, wasserlöslich, davon mindestens 8/10 des zugesicherten Gehalts in Chelatform
	Zinkoxid	70 % Gesamtzink, Mahlfeinheit: mindestens 98 % Siebdurchgang bei 0,063 mm lichter Maschenweite

Spurennährstoff	Typenbezeichnung	Nährstoffmindestgehalt (in Gewichtsprozenten) Angaben zur Nährstoffbewertung
	Zinkdünger	30 % Gesamtzink
	Zinkdüngerlösung	3 % Zn, wasserlöslich

Zusätzlich werden seit einiger Zeit auch Spurenelement-Mehrnährstoffdünger angeboten.

Oben wurde auf handelsübliche Mineraldünger im Garten- und Feldgemüsebau eingegangen. Da in diesem Kapitel die Wasserlöslichkeit der Dünger nicht berücksichtigt und einige Nährstoffe nicht erwähnt wurden, sind in Tabelle 28 nochmals die wichtigsten wasserlöslichen Einzel- und Mehrnährstoffdünger zusammengefasst.

Tabelle 28: Die wichtigsten wasserlöslichen Einzel- und Mehrnährstoffdünger

Makronährstoffe – Bezeichnung		Nährstoffgehalt*
Calciumnitrat, „Kalksalpeter“	Ca(NO ₃) ₂	17 % N, 24 % CaO
Ammoniumnitrat	NH ₄ NO ₃	35 % N
Kalkammonsalpeter (NAS, NAC)	NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃	27 % N
Ammoniumsulfat	(NH ₄) ₂ SO ₄	21 % N, 25 % S
Kaliumchlorid (40er bzw. 60er Kali)	KCl	37 % bzw. 57 % K ₂ O
Kaliumsulfat, „schwefelsaures Kali“	K ₂ SO ₄	54 % K ₂ O, 17 % S
Kaliumnitrat, Kalisalpeter	KNO ₃	14 % N, 47 % K ₂ O
Monokaliumphosphat	KH ₂ PO ₄	53 % P ₂ O ₅ , 35 % K ₂ O
Magnesiumsulfat, „Bittersalz“	MgSO ₄	33 % MgO, 13 % S
Patentkali	K ₂ SO ₄ · MgSO ₄	22 % K ₂ O, 8 % MgO
Magnesiumnitrat	Mg(NO ₃) ₂	15 % MgO, 10 % N
Harnstoff	<u>CH₄N₂O</u>	46 % N
Monoammoniumphosphat	NH ₄ H ₂ PO ₄	12 % N, 61 % P ₂ O ₅
Diammonphosphat (DAP)	(NH ₄) ₂ HPO ₄	18 % N, 46 % P ₂ O ₅
Eisenchelat	Fe-DTPA	11 % Eisen
Mangansulfat	MnSO ₄	25 % Mangan

Makronährstoffe – Bezeichnung		Nährstoffgehalt*
Manganoxid	MnO	40 % Mangan
Natriumborat (Borax)	NaB ₄ O ₇	11 % Bor
Kupfersulfat	CuSO ₄	25 % Kupfer
Zinksulfat	ZnSO ₄	22 % Zink
Natriummolybdat	Na ₂ MoO ₄	35 % Molybdat
Ammoniummolybdat	(NH ₄)MoO ₇ O ₄	55 % Molybdat

* Die Zusammensetzungen der Dünger stellen nur Richtwerte dar und können Schwankungen unterliegen.

Fertigationsdünger

Auch im Freiland kann mittels Fertigation eine dem Kulturverlauf angepasste Nährstoffversorgung erzielt werden.

Die Verwendung von Ein- oder Zweinährstoffdüngern ermöglicht große Flexibilität bei der Herstellung von Stammlösungen und wird daher zumeist bevorzugt. Darüber hinaus werden auch so genannte „Fertigationsdünger“ verwendet. Dabei handelt es sich um wasserlösliche oder flüssige Mehrnährstoffdünger, die auf den Bedarf bestimmter Kulturen zugeschnitten sind.

Es kann zwischen wasserlöslichen Mehrnährstoffdüngern, Flüssigdüngern und speziellen Spurenelementdüngern unterschieden werden. Vom Handel wird eine Fülle an Produkten angeboten, in den folgenden Tabellen sind exemplarisch einige angeführt. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Zusätzlich sind die angeführten Dünger in unterschiedlichen Formulierungen erhältlich (z. B.: Hakaphos grün, Hakaphos gelb). Es sind daher die Gehaltsspannen, mit denen der jeweilige Dünger angeboten wird, angeführt. Da Gewächshausböden oft einseitig mit bestimmten Nährstoffen gut versorgt sind, werden einige der Dünger auch mit nur zwei Hauptkomponenten angeboten (meist ohne Phosphor und/oder Magnesium). In diesem Fall ist der entsprechende Nährstoff in Klammern angeführt.

Tabelle 29: Beispiele für wasserlösliche Mehrnährstoffdünger

Gehalte bzw. Gehaltsspannen* der wasserlöslichen Mehrnährstoffdünger (Nährsalze)					
Handelsname (beispielhaft)	Hauptnährstoffe*	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)
Alkrisal	N, P, K, Mg	20	5	10	2
Basaplant	N, P, K, Mg	8–18	6–30	12–24	2
Ferticare	N, P, K, (Mg)	12–20	5–12	10–36	0–3
Hakaphos	N, (P), K, Mg, S	3–24	0–15	10–36	1–4
Kristallon	N, P, K, (Mg)	3–20	5–52	6–38	0–4
Manna LIN	N, (P), K, Mg	8–20	0–12	6–25	1–4
Planta aktiv	N, (P), K	15–20	0–11	10–25	2–4
Poly-Fertisal	N, P, K, Mg	8	14	18	4

* Die Zusammensetzungen der Dünger stellen nur Richtwerte dar und können Schwankungen unterliegen.

Die angeführten Dünger werden wie bereits erwähnt in unterschiedlicher Zusammensetzung angeboten. Die Spannen verdeutlichen die verfügbare Bandbreite an Nährstoffzusammensetzungen des jeweiligen Düngers. So wird zum Beispiel Hakaphos in folgenden Formulierungen angeboten: 3:15:36, 8:12:24, 20:5:10, 20:0:16, 15:10:15 und 24:6:12. Daraus ergibt sich bei Stickstoff die Bandbreite von 3 bis 24, bei Phosphor von 0 bis 25 und bei Kalium von 10 bis 36 Prozent.

Neben den Hauptnährstoffen sind in nahezu allen Düngern auch die Spurenelemente Fe, Cu, Mn, Bo, Zn und Mo enthalten.

Tabelle 30: Beispiele für Flüssigdünger und Suspensionen

	Hauptnährstoffe	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
Algospeed	N, P, K, (Mg), Ca	8–11	4–11	11–16	2–2,5	0,5–3
Basfoliar aktiv	N, P, K	3	27	18	k. A.	k.A.
Gabi plus	(N), (P), (K), (Mg), (Ca)	0–27	0–20	0–20	0–8	0–15

	Hauptnährstoffe	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
Kamasol	N, P, K, (Mg)	5–10	4–8	6–10	k. A.	0–0,2
Nutriphite	P, K	0	28	26	k. A.	k. A.
Phosphik	N, P, K	3	27	18	k. A.	k. A.
Terraflor	(N), (P), K	0–16	0–15	5–15	k. A.	k. A.
Wuxal	N, (P), (K),(Mg)	3–12	0–20	0–20	0–15	0–4

Tabelle 31: Beispiele für Spurennährstoffdünger

	Spurenelemente	Enthaltene Hauptnährstoffe
Gabi Mikro Fe	Fe (5 %)	
Gabi Mikro T	B, Cu, Mn, Fe, Zn	
Terraflor	Fe (9 bzw. 13 %)	
Ferroaktiv	Fe (5 %)	
Wuxal Eisen plus	Fe (5 %)	
Wuxal Microplant	B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn	5 % N, 10 % K ₂ O, 3 %MgO
Basafer	Fe (6 %)	
Nutribor	B (8 %), Mn, Zn, Mo,	6 % N, 5 % MgO
Basfoliar	B, Mn, (Cu), (Fe), (Mo), (Zn)	9–27 % N, 3 % MgO bzw. 11 % CaO

Grundsätze zur Düngung mittels Bewässerungssystemen

Düngung mit Tröpfchenbewässerung

Bei Kulturen mit Tröpfchenbewässerung kann auf eine mineralische Grunddüngung mit Stickstoff verzichtet werden, da je nach Bedarf sofort nach der Pflanzung mit der Flüssigdüngung begonnen werden kann. Lediglich Phosphor, Kalk und ein Teil des Kaliums können vorab eingearbeitet werden. Stickstoff sollte nur bei starker Unterversorgung der Böden vor Kulturbeginn eingesetzt werden. Die zu verabreichende Düngermenge wird in g/m^2 pro Woche berechnet. Sobald die berechnete Düngermenge in der laufenden Woche ausgebracht ist, wird an den verbleibenden Tagen nur noch bewässert (nur möglich bei variabler Zuschaltung). Die Tröpfchenbewässerung sollte etwa zwei Wochen vor Kulturrende eingestellt werden um eine für die Bodenbearbeitung vor der Folgekultur günstige Bodenfeuchte zu erreichen.

Die benötigte Düngermenge wird in einer entsprechenden Menge Wasser gelöst („Stammlösung“) und im Stammlösungsbehälter aufbewahrt. Werden Nährstoffe in Sulfatform verwendet (z. B. Kaliumsulfat), besteht eine Unverträglichkeit mit Calcium haltigen Düngemitteln (z. B. Kalksalpeter), die zu Ausfällungen führt. In diesem Fall sind die Stammlösungen in getrennten Behältern anzusetzen. So kann z. B. Stammlösung A vorwiegend Hauptnährstoffe und Stammlösung B zusätzlich verstärkt Spurenelemente enthalten.

Elektrische Leitfähigkeit – „EC-Wert“

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für die Menge an Salzen, die in der Nährlösung gelöst sind. Sie wird üblicherweise in mS/cm , manchmal auch in $\mu\text{S/cm}$ angegeben. Die in der Praxis übliche Bezeichnung „EC-Wert“ bezieht sich auf die elektrische Leitfähigkeit (im Englischen „Electric Conductivity“ = EC) in der Dimension mS/cm .

Bei der Düngung ist darauf zu achten, dass die Leitfähigkeit im pflanzenverträglichen Bereich liegt. Bei zu niedrigem Wert kann ein Nährstoffmangel, bei zu hohen Werten Salzstress auftreten, da die Wasseraufnahme und die Transpiration der Pflanze beeinträchtigt werden. Symptome eines zu hohen Salzgehaltes sind gehemmtes Wachstum, gedrungener Wuchs, kleine dunkle Blätter und schnellere Blütenbildung. Über gezielte Veränderung der Leitfähigkeit ist auch eine Steuerung der Kultur möglich. Je nach Pflanzensorte und Größe gelten unterschiedliche Werte als optimal. Es ist zu beachten, dass auch das Brauchwasser zur Erstellung der Stammlösungen und das Bewässerungswasser einen gewissen Salzgehalt

haben. Bei der Kultur in Erde sollte auch der Salzgehalt im Boden beachtet werden. Es ist somit schwierig, allgemein gültige Optimalwerte anzugeben, da diese je nach den vorherrschenden Bedingungen wie Entwicklungsstadium der Kultur, Witterung und Bodeneigenschaften unterschiedlich sind. Größere Bedeutung hat die Leitfähigkeit in der erdelosen Kultur, in der Erdkultur sind die Optimalwerte meist niedriger angesetzt.

Verwendung von Regenwasser

Liegt der Härtegrad von Brunnenwasser über 12 °dH, enthält es Calcium und Magnesium in ausreichender Menge. Werden dagegen Regenwasser oder sehr weiches Brunnenwasser verwendet, kann insbesondere auf leichten Böden eine Unterversorgung mit diesen Elementen auftreten. Dies ist bei der Düngung unbedingt zu berücksichtigen.

KNS+ -System: Zusammenfassung

Der Stickstoffbedarf der Kulturen wurde gemäß den Vorgaben des kulturbegleitenden Stickstoff-Sollwert-Systems (KNS) detailliert erfasst. Zunächst wurde die gesamte Kulturdauer in Perioden (Wochen, 14 Tage, Monate) unterteilt. Jeder Periode wurde ein spezifischer Stickstoffbedarf zugeordnet. Zusätzlich erfolgte die Angabe des notwendigen Stickstoff-Mindestvorrates im Boden und die jeweils durchwurzelte und damit genutzte Bodentiefe. Für die praxisüblichen Düngungstermine wurden die Stickstoff-Sollwerte berechnet. Sie errechnen sich aus dem Bedarf der Kultur bis zum nächsten vorgeschlagenen Düngungstermin und dem Mindestvorrat im Boden. Der Bedarf in der Periode, in der die Düngung erfolgen soll, ist in der Berechnung für den jeweils vorhergehenden Düngungstermin zu berücksichtigen. Die N_{\min} -Analyse hat idealerweise wenige Tage vor dem ersten Düngetermin zu erfolgen.

Beratungsstellen:

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES),

Abteilung für Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Spargelfeldstrasse 191, 1226 Wien

Tel: +43 50 555-34125

bodengesundheit@ages.at

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,

Stubenring 1, 1010 Wien

Tel: + 43 1 71100

office@bmnt.gv.at

Landwirtschaftskammer Burgenland,

Esterhazystraße 15, 7001 Eisenstadt

Tel: +43 2682 702-0

office@lk-bgld.at

Landwirtschaftskammer Steiermark,

Hamerlinggasse 3, 8010 Graz

Tel: +43 316 8050

office@lk-stmk.at

Landwirtschaftskammer Tirol,

Brixner Straße 1, 6021 Innsbruck

Tel: +43 5 92 92-1500

office@lk-tirol.at

Landwirtschaftskammer Oberösterreich,

Auf der Gugl 3, 4021 Linz

Tel: +43 50 6902

office@lk-ooe.at

Landwirtschaftskammer Vorarlberg,

Montfortstraße 9–11, 6901 Bregenz

Tel: +43 5574 400

office@lk-vbg.at

Landwirtschaftskammer Kärnten,

Museumgasse 5, 9011 Klagenfurt

Tel: +43 463 5850

office@lk-kaernten.at

Landwirtschaftskammer Salzburg,

Schwarzstraße 19, 5024 Salzburg

Tel: +43 662 870571

office@lk-salzburg.at

Landwirtschaftskammer Niederösterreich,

Wiener Straße 64, 3100 St. Pölten

Tel: +43 2742 259

office@lk-noe.at

Landwirtschaftskammer Wien,

Gumpendorfer Straße 15, 1060 Wien

Tel: +43 1 5879528

office@lk-wien.at

Landwirtschaftskammern Österreich,

Schauflergasse 6, 1015 Wien

Tel: +43 1 53441

office@lk-oe.at

Bio-Austria,

Theresianumgasse 11, 1040 Wien

BOKU-Universität, Institut für Gartenbau,

Gregor-Mendel-Str. 33, 1180 Wien

gartenbau@boku.ac.at

Akkreditierte Labors des Bundes oder der Länder:

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES),

Abteilung für Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Spargelfeldstrasse 191, 1226 Wien

Tel: +43 50 555-34125

bodengesundheit@ages.at

Amt der Steiermärkischen Landesregierung,

Abt 10, Referat für Boden- und Pflanzenanalytik, Ragnitzstrasse 193, 8047 Graz

Tel: +43 316 877-6651

gertrude.billiani@stmk.gv.at

Institut für Lebensmitteluntersuchung, Veterinärmedizin und Umwelt des Landes Kärnten,

Kirchengasse 43, 9021, Klagenfurt am Wörthersee

Tel: 050 536-15252, Fax: 050 536-15250

abt5.lua@ktn.gv.at

Umwelt Prüf- und Überwachungsstelle des Landes Oberösterreich,

Abteilung Umweltschutz (US), Goethestraße 86, 4021 Linz

Tel: +43 732 7720-13643

us-goethe.post@ooe.gv.at

Eine Zusammenstellung weiterer Labors finden sie auch **[hier](#)**.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtige Bodenuntersuchungsparameter und -verfahren	12
Tabelle 2: Einstufung der Bodenschwere nach dem Tongehalt oder der Bodenart.....	14
Tabelle 3: Kriterien der Fingerprobe	14
Tabelle 4: Einstufung des Humusgehaltes	15
Tabelle 5: Gegenüberstellung von Bodenschwere und anzustrebendem Humusgehalt für gemüsebaulich genutzte Flächen.....	16
Tabelle 6: Bewertung des Carbonatgehaltes	16
Tabelle 7: Anzustrebende pH-Werte in Abhängigkeit von der Bodenschwere	18
Tabelle 8: Standardwerte für die prognostizierte Nitratbildung (Standardwert) pro Monat in einem Boden mit einem Humusgehalt unter 3 % und einem Tongehalt unter 20 %.....	20
Tabelle 9: Zusätzliche Mineralisierung bei intensiver Bodenbearbeitung.....	20
Tabelle 10: Korrektur der N-Mineralisierung in Abhängigkeit des Ton- und Humusgehaltes des Bodens	21
Tabelle 11: Korrekturwerte für die Bodendichte	26
Tabelle 12: Einstufung der Phosphorgehalte im Boden.....	29
Tabelle 13: Einstufung der Kaliumgehalte im Boden unter Berücksichtigung der Bodenschwere	30
Tabelle 14: Einstufung der Magnesiumgehalte im Boden unter Berücksichtigung der Bodenschwere	30
Tabelle 15: Einstufung der Gehalte an Spurenelemente	32
Tabelle 16: Beispielhafte Auflistung von Nährstoffen, ihrer Zielfunktion in der Pflanze und Auswirkungen bei Mangel und Überschuss in Gemüsekulturen.	34
Tabelle 17: Ertragsbereich, Stickstoffbedarf, Stickstoff-Mindestvorrat und Sollwert für Gemüsekulturen unter Berücksichtigung der standörtlichen Nachlieferung aus dem Boden, Nachlieferung aus Ernterückständen	41
Tabelle 18: Umrechnung von Wasseruntersuchungsergebnissen.....	45
Tabelle 19: Bedarf an Phosphor, Kalium und Magnesium bei Vorliegen der Gehaltsklasse C für den mittleren Ertragsbereich.....	47
Tabelle 20: Faktoren zur Berechnung des Düngebedarfs für Phosphor, Kalium und Magnesium	50
Tabelle 21: Beispiele für Einzelnährstoffdünger	54
Tabelle 22: Beispiele für Mehrnährstoffdünger	55
Tabelle 23: Mineralische Stickstoffdüngerformen (Beispiele).....	55
Tabelle 24: mineralische Phosphordünger (Beispiele).....	59
Tabelle 25: mineralische Kaliumdünger (Beispiele)	60

Tabelle 26: Chloridempfindlichkeit gärtnerischer Kulturen.....	62
Tabelle 27: Spurennährstoffdünger (Beispiele)	64
Tabelle 28: Die wichtigsten wasserlöslichen Einzel- und Mehrnährstoffdünger.....	66
Tabelle 29: Beispiele für wasserlösliche Mehrnährstoffdünger	68
Tabelle 30: Beispiele für Flüssigdünger und Suspensionen	68
Tabelle 31: Beispiele für Spurennährstoffdünger	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele für die mögliche Verteilung von Probenahmestellen	10
Abbildung 2: Verfügbarkeit von Nährstoffen in Abhängigkeit vom pH-Wert.....	17
Abbildung 3: Gerätschaften zur Durchführung einer N_{\min} -Analyse	25
Abbildung 4: Entscheidungsbaum zur Zuordnung von Mangelerscheinungen	33
Abbildung 5: Schematischer Ablauf der Ermittlung des Düngebedarfs für Stickstoff.....	38
Abbildung 6: Stickstoffbedarf unterschiedlicher Gemüsearten im Kulturverlauf: Spinat (Blattgemüse, Kulturperiode: Woche) und Karotte (Wurzelgemüse, Kulturperiode: 2 Wochen)	39
Abbildung 7: Berechnung im Gemüsebau.....	44

Weiterführende Literatur

Walter Richner, Hans-Rudolf Oberholzer, Ruth Freiermuth Knuchel, Olivier Huguenin, Sandra Ott, Thomas Nemecek u. Ulrich Walther (2014): Modell zur Beurteilung der Nitratauswaschung von Ökobilanzen – SALCA-NO₃ – Unter Berücksichtigung der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, N-Düngung), der mikrobiellen Nitratbildung im Boden, der N-Aufnahme durch die Pflanzen und verschiedener Bodeneigenschaften. Version 2.0, Juni 2014; Agroscope Nr. 5, Juni 2014.

Anhang – Kulturdatenblätter

Werden aus dem EXCEL File generiert

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Stubenring 1, 1010 Wien

bml.gv.at