

Spezialpublikation
Agrarforschung Schweiz | Juni 2017



GRUD 2017

Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz

Koordinatoren

Walter Richner und Sokrat Sinaj

Hauptautoren

Christoph Carlen, René Flisch, Céline Gilli, Olivier Huguenin-Elie,
Thomas Kuster, Annett Latsch, Jochen Mayer, Reto Neuweiler,
Walter Richner, Sokrat Sinaj und Jean-Laurent Spring



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Impressum

Herausgeberin	Agroscope Schwarzenburgstrasse 161, Liebefeld 3003 Bern, Schweiz Telefon +41 58 463 84 18 www.agroscope.ch
Koordinatoren	Walter Richner und Sokrat Sinaj
Autorinnen und Autoren	André Ançay, Thomas Anken, Alice Baux, Guillaume Blanchet, Daniel Bretscher, Selma Cadot, Christoph Carlen, Claude-Alain Carron, Raphaël Charles, Brice Dupuis, Othmar Eicher, René Flisch, Céline Gilli, Jürg Hiltbrunner, Olivier Huguenin-Elie, Bernard Jeangros, Willy Kessler, Jürgen Krauss, Thomas Kuster, Annett Latsch, Lucie Leumann, Lilia Levy, Andreas Lüscher, Jochen Mayer, Harald Menzi, Eric Mosimann, Urs Müller, Reto Neuweiler, Hansrudolf Oberholzer, Didier Pellet, Josef Poffet, Jeanne Poulet, Volker Prasuhn, Walter Richner, Reto Rutishauser, Joachim Sauter, Patrick Schlegel, Sokrat Sinaj, Jean-Laurent Spring, Thibaut Verdenal, Hans Peter Wegmüller, Regula Wolz und Michael Zähler
Redaktion	Erika Meili, Andrea Leuenberger und Sibylle Willi
Übersetzungen	Regula Wolz und Daniel Weber
Grafik	Ursus Kaufmann und Blaise Demierre
Titelbild	Carole Parodi
Druck	Stämpfli AG, Bern
Preis	Druckversion: Fr. 21.–; elektronische Version: Fr. 11.–
Bezug	Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Bern www.bundespublikationen.ch
Internet	www.grud.ch
Zitierung	Gesamtausgabe Richner W. & Sinaj S., 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 8 (6), Spezialpublikation, 276 S. Einzelnes Modul Neuweiler R. & Krauss J., 2017. 10/ Düngung im Gemüsebau. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Ed. W. Richner & S. Sinaj). Agrarforschung Schweiz 8 (6), Spezialpublikation, 10/1–10/16.
Copyright	© Agroscope 2017

Die gezielte Düngung von landwirtschaftlichen Kulturen ist ein zentrales Element des Pflanzenbaus, das in nachhaltigen Anbausystemen wie der integrierten Produktion oder dem Biolandbau noch an zusätzlicher Bedeutung gewinnt. Die Bereitstellung von regelmässig aktualisierten Düngungsempfehlungen trägt zu einer optimalen Nährstoffversorgung der Kulturen bei und erlaubt die Erzeugung qualitativ hochwertiger Produkte bei einer nachhaltigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Schonung der Umwelt.

Die Forschungsanstalten veröffentlichen seit 1964 Grundlagenwerke, die den neuesten Kenntnisstand der Düngung unter schweizerischen Bedingungen abbilden, und aktualisieren diese Dokumente regelmässig. Die 2017 herausgegebenen «Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz» (GRUD 2017) stellen einen Meilenstein dar.



Erstmals enthält ein modular aufgebautes Gesamtwerk das aktuelle Düngungs- und Pflanzenernährungswissen für alle in der Schweiz angebauten Kulturen: Ackerbau, Futterbau und verschiedene Spezialkulturen. Die neue Publikationsform erlaubt, bisherige Doppelspurigkeiten zu eliminieren und Düngungskonzepte und Empfehlungen über Kulturen hinweg zu vereinheitlichen.

Nebst dem neuen Aufbau der GRUD 2017 sind auch in dieser Revision wieder relevante Inhalte aktualisiert worden. Dies betrifft u. a. die Anpassung einzelner Düngungsnormen, die Bereitstellung und Aktualisierung neuer Hilfsmittel für die

Düngungsbemessung, die Harmonisierung der Interpretation der Bodenuntersuchung in den verschiedenen Kulturen und die Anpassung von Nährstoffausscheidungs- und Grundfutterverzehrswerten verschiedener Tierkategorien.

Die GRUD 2017 werden auf Deutsch, Französisch und Italienisch in gedruckter Form veröffentlicht. Neu ist, dass die GRUD 2017 zusätzlich als elektronische Webversion erscheinen, die bei Bedarf effizienter und rascher aktualisiert werden kann als die Printausgabe.

Ich bin überzeugt, dass die landwirtschaftliche Beratung, die Landwirtinnen und Landwirte, Forschenden und Personen der Verwaltung mit den GRUD 2017 ein aktuelles und umfassendes Hilfsmittel für Aspekte der Düngung und der Ernährung von landwirtschaftlichen Kulturen erhalten. Den Fachleuten, die das neue Grundlagenwerk erarbeitet haben, spreche ich meinen herzlichen Dank aus: den Autorinnen und Autoren von Agroscope und weiteren Institutionen (Bildungs- und Beratungszentrum BBZ Arenenberg/TG, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Hauert HBG Dünger AG, JardinSuisse, Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg/AG, Ökohum GmbH, Union fruitière lémanique), den beteiligten Redaktions- und Übersetzungspersonen sowie den Vertreterinnen und Vertretern von verschiedenen Institutionen, die im Rahmen einer Vernehmlassung wertvolle Hinweise zur Verbesserung der GRUD 2017 gegeben haben.

Michael Gysi, CEO Agroscope



1/	Einleitung	1
2/	Bodeneigenschaften und Bodenanalysen	2
3/	Pflanzenanalysen	3
4/	Eigenschaften und Anwendung von Düngern	4
5/	Ausbringtechnik bei Hof-, Recycling- und Mineraldüngern	5
6/	Pflanzenernährung im biologischen Landbau	6
7/	Düngung und Umwelt	7
8/	Düngung von Ackerkulturen	8
9/	Düngung von Grasland	9
10/	Düngung im Gemüsebau	10
11/	Düngung von Gemüsekulturen auf Substrat	11
12/	Düngung im Weinbau	12
13/	Düngung im Obstbau	13
14/	Düngung von Beerenkulturen	14
15/	Düngung von Medizinal- und Aromapflanzen	15
16/	Düngung von Zierpflanzen und Gehölzen	16
17/	Anhänge	17



1/ Einleitung

Walter Richner¹, René Flisch¹ und Sokrat Sinaj²

¹ Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

² Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: walter.richner@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Zweck und Zielpublikum der «Grundlagen für die Düngung».....	1/3
2. Aufgaben und Ziele der Düngung.....	1/3
3. Literatur	1/5

Foto auf der Vorderseite: Carole Parodi, Agroscope.

1. Zweck und Zielpublikum der «Grundlagen für die Düngung»

Die «Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz» (GRUD) werden von Agroscope regelmässig überarbeitet. Damit wird neuen Forschungsergebnissen und der Notwendigkeit, bestimmte Normen und Richtwerte periodisch zu aktualisieren, Rechnung getragen. Als Grundlage dienen auch die Resultate früherer Versuchs- und Forschungstätigkeiten, die einer erneuten kritischen Auswertung unterzogen werden, sowie – bei Anwendbarkeit auf die Schweiz – ausländische Erkenntnisse.

Die GRUD dienen in erster Linie der landwirtschaftlichen Beratung, aber auch den Landwirtinnen und Landwirten zur Entscheidungsfindung bei praktischen Düngungsfragen. Darüber hinaus werden Inhalte der GRUD von Forschenden und Mitarbeitenden der kantonalen und eidgenössischen Verwaltung für ihre Arbeit genutzt.

Die immer raschere Weiterentwicklung von Produktionstechnik und -verfahren sowie die zunehmende Kulturenvielfalt in der Landwirtschaft führen dazu, dass mit Hilfe der GRUD nie alle Fragen beantwortet werden können. Bei offenen Fragen ist gemeinsam mit der Beratung und Agroscope nach Lösungen zu suchen.

Die Angaben in den GRUD basieren auf naturwissenschaftlichen Grundlagen. Sie haben daher für alle naturwissenschaftlich orientierten landwirtschaftlichen Produktionsrichtungen Gültigkeit.

2. Aufgaben und Ziele der Düngung

Nährstoffe werden von der Pflanze aus dem Boden aufgenommen. Bestimmte Nährstoffmengen werden auf diese Weise dem Boden entzogen und verlassen in Form von pflanzlichen und tierischen Produkten teilweise den landwirtschaftlichen Betrieb.

Die Hauptaufgabe der Düngung besteht darin, die betrieblichen Nährstoffkreisläufe (Abbildung 1) so weit als möglich zu schliessen und die pflanzliche Produktion zu optimieren, ohne den Nährstoffvorrat des Bodens auszubeuten oder ihn unnötig zu erhöhen.

Der Begriff der Düngung umfasst jegliche Zufuhr von unentbehrlichen Pflanzennährstoffen. Diese werden nach der Höhe ihres Anteils an der pflanzlichen Trockensubstanz als **Makronährstoffe bzw. Hauptelemente** (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Schwefel) oder **Mikronährstoffe bzw. Spurenelemente** (Eisen,

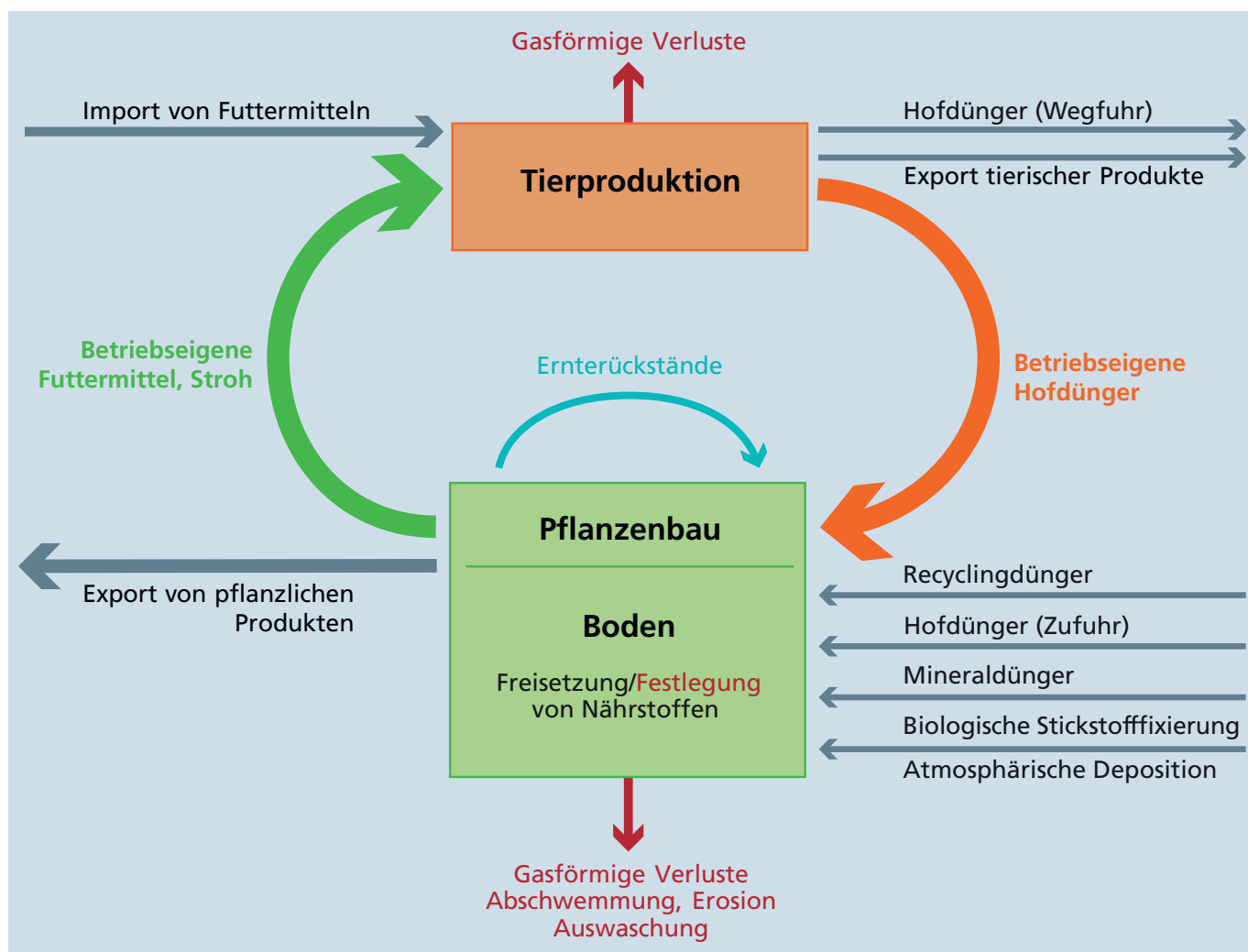


Abbildung 1 | Schematischer Nährstoffkreislauf eines landwirtschaftlichen Betriebes.

Grundlagen und Hilfsmittel	Pflanzen und Boden	Dünger
	<p>Nährstoffbedarf der Kulturen (Normdüngung)</p> <p>Bodenuntersuchungsergebnisse</p> <p>Bodenart (Humusgehalt und Körnung)</p> <p>Versuchsmässig geeichtes Schema zur Interpretation der Bodenuntersuchungsergebnisse</p>	<p>Anfall an Hofdüngern und Ernterückständen</p> <p>Nährstoffgehalte und Eigenschaften der:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ernterückstände und Hofdünger - Recycling- und Mineraldünger

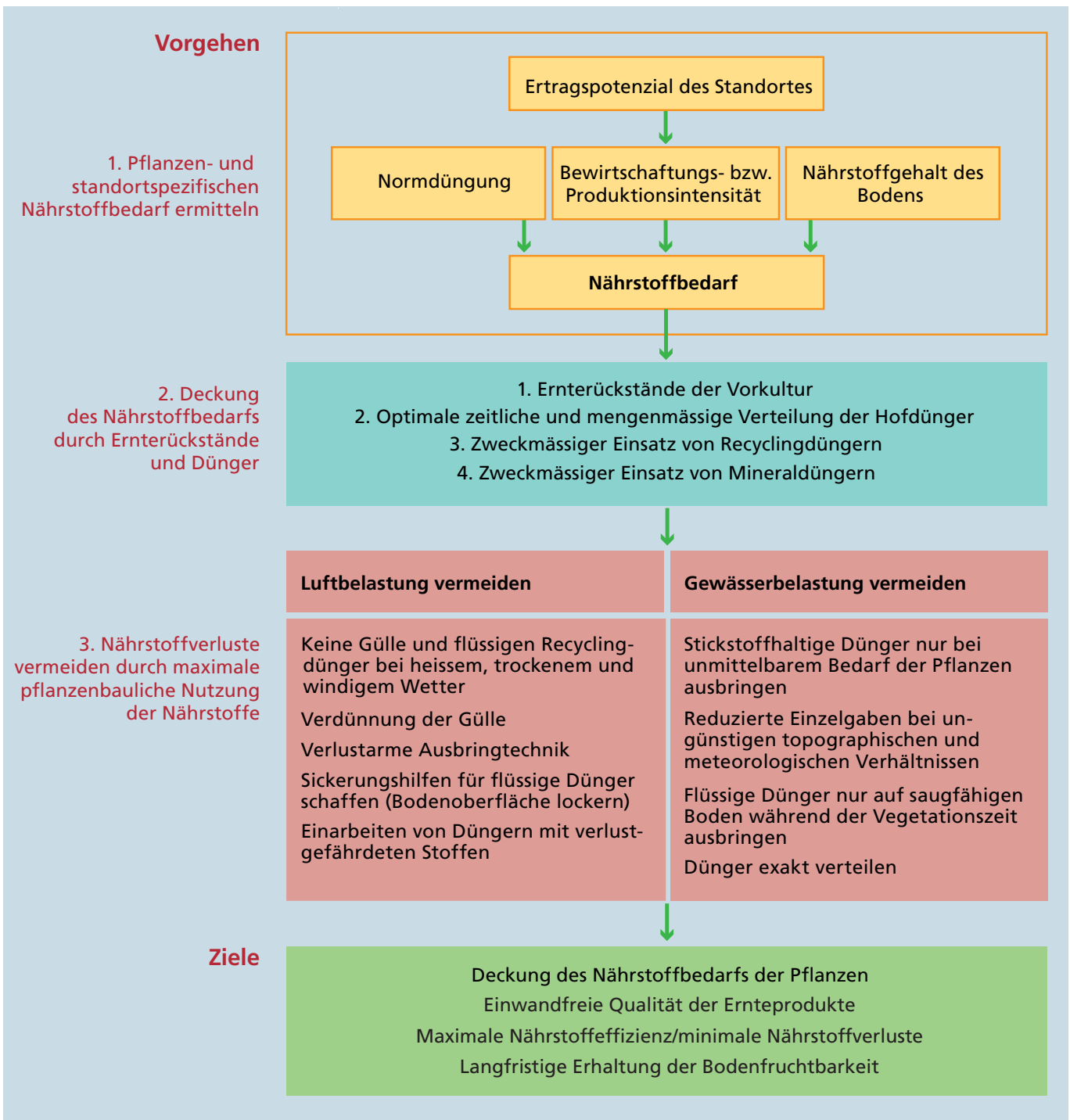


Abbildung 2 | Das landwirtschaftliche Düngungskonzept für eine nachhaltige Bodennutzung.

Mangan, Zink, Kupfer, Bor, Molybdän etc.) bezeichnet (Schilling 2000). Mit Hilfe der Düngung ist das Nährstoffangebot an die Pflanzen so zu gestalten, dass ein effizientes Wachstum zum Aufbau optimaler Erträge mit einwandfreier Qualität möglich ist. Die Produktionsziele sollen unter Berücksichtigung der Ansprüche der Kulturen bei gleichzeitig minimaler Belastung der Umwelt erreicht werden.

Die Anforderungen an eine pflanzen- und umweltgerechte Düngung sind im **landwirtschaftlichen Düngungskonzept** (Abbildung 2) dargestellt. Daraus geht hervor, dass für eine überlegte, sinnvolle und erfolgreiche Düngung folgende Aspekte in der aufgeführten Reihenfolge zu berücksichtigen sind:

- Nährstoffbedarf (bezüglich Menge und Bedarfszeitpunkt) der Pflanzen
- Nährstoffgehalt und -verfügbarkeit des Bodens
- Rückführung von Nährstoffen durch Ernterückstände
- Menge, Nährstoffgehalte und Eigenschaften von Hofdüngern, Recyclingdüngern und anderen organischen Düngern
- Menge, Nährstoffgehalte und Eigenschaften von Mineraldüngern
- Verhalten der Dünger im System Boden–Pflanze–Umwelt (Luft, Wasser)
- Wirtschaftlichkeit der Düngung

Es sind zwei Grundgesetze der pflanzlichen Produktion für die Düngung zu beachten:

1. **Gesetz des Minimums** (Liebig 1855). Der im Minimum vorhandene Wachstumsfaktor (Nährstoffe, Wasser, Licht, Temperatur) bestimmt den Ertrag und/oder die Qualität. Die Bodenuntersuchung kann Hinweise auf den im Boden limitierenden Faktor geben.
2. **Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs** (Mitscherlich 1909). Bei steigendem Nährstoffangebot wird der Ertragszuwachs mit jeder zusätzlichen Nährstoffeinheit immer kleiner und strebt gegen Null. Der optimale Ertrag ist erreicht, wenn der zusätzliche Ertrag pro Nährstoffeinheit (Grenzertrag) den zusätzlichen Kosten pro Nährstoffeinheit (Grenzkosten) entspricht.

Zusammenfassend ist das **Ziel der Düngung**, unter den gegebenen Rahmenbedingungen (Bodenqualität, Klima, genetisches Potenzial der Kulturen, betriebliche Rahmenbedingungen etc.) den bestmöglichen Ertrag bei guter Produktequalität und möglichst geringen Produktionskosten zu erzielen. Dies erlaubt eine effiziente Ressourcennutzung unter Berücksichtigung der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und einer minimalen Belastung der Umwelt.

3. Literatur

- Liebig J. von, 1855. Die Grundsätze der Agricultur-Chemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 107 S., Nachtrag 134 S.
- Mitscherlich E.A., 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. Landwirtsch. Jahrb. 38, 537–552.
- Schilling G., 2000. Pflanzenernährung und Düngung. UTB, Stuttgart. 464 S.



2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen

René Flisch¹, Reto Neuweiler², Thomas Kuster², Hansrudolf Oberholzer¹, Olivier Huguenin-Elie¹ und Walter Richner¹

¹ Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

² Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

Auskünfte: rene.flisch@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	2/3
2. Standorteigenschaften.....	2/3
2.1 Körnung und Bodenart.....	2/3
2.2 Humusgehalt.....	2/4
2.3 pH-Wert (Bodenreaktion).....	2/5
2.4 Kalkgehalt.....	2/5
3. Bodenanalysen und Interpretation der Resultate.....	2/6
3.1 Empfehlungen für die Bodenuntersuchung.....	2/6
3.2 Methoden zur Bodenuntersuchung.....	2/7
3.3 Wahl der Bodenanalysemethode für die Grunduntersuchung.....	2/7
3.4 Interpretation von P-, K- und Mg-Bodenanalysen zur Ermittlung des Düngebedarfs.....	2/9
4. Die Nährstoffversorgung des Bodens.....	2/11
4.1 Korrektur der P- und K-Düngung aufgrund der CO ₂ -Methode.....	2/11
4.2 Korrektur der Mg-Düngung aufgrund der CaCl ₂ -Methode.....	2/13
4.3 Korrektur der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund der H ₂ O ₁₀ -Methode.....	2/13
4.4 Korrektur der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund der AAE10-Methode.....	2/16
4.5 Die Ermittlung des Düngebedarfs an P, K und Mg.....	2/20
4.6 Spezielle Hinweise zum Einsatz von P-, K- und Mg-Düngern.....	2/20
4.7 Weitere Nährstoffe und Spurenelemente.....	2/21
5. Kalkung.....	2/24
5.1 Bemessung der Kalkgaben aufgrund des pH-Wertes.....	2/25
5.2 Bemessung der Kalkgaben aufgrund der Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung.....	2/26
5.3 Spezielle Hinweise zur Kalkung.....	2/26
6. Bodenfruchtbarkeit und Humusbewirtschaftung.....	2/28
6.1 Der Begriff Bodenfruchtbarkeit.....	2/28
6.2 Bodenfunktionen und Bodeneigenschaften.....	2/28
6.3 Langfristige Erhaltung des Humusgehaltes – Entscheidungshilfen und geeignete Massnahmen.....	2/29
7. Literatur.....	2/31
8. Tabellenverzeichnis.....	2/32
9. Abbildungsverzeichnis.....	2/33

Vorderseite: Profil eines landwirtschaftlich genutzten Bodens (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope).

1. Einleitung

Der Boden spielt als landwirtschaftlicher Produktionsfaktor zur Erzeugung hochwertiger Nahrungs- und Futtermittel eine grundlegende Rolle, denn Wasser und Nährstoffe werden von den Pflanzen vorwiegend aus dem Boden aufgenommen. Für das Pflanzenwachstum sind ein guter Bodenzustand und eine ausreichende sowie ausgewogene Menge an verfügbaren Nährstoffen wie Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Schwefel (S) und verschiedenen Spurenelementen nötig.

Durch die Düngung können optimale Bedingungen für das Wachstum und die Ertragsbildung der Kulturpflanzen geschaffen werden. Gleichzeitig ist aber auch darauf zu achten, dass möglichst geringe Nährstoffverluste entstehen, welche die Umwelt belasten. Um eine pflanzen- und umweltgerechte sowie effiziente Nutzung der Nährstoffe zu erreichen, sind nicht nur der Bedarf der Pflanzen, sondern auch die vorhandenen Nährstoffgehalte im Boden zwingend zu berücksichtigen (siehe Düngungskonzept in Modul 1/ Einleitung, Abbildung 2).

Mit Hilfe der Bodenuntersuchung können sowohl bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften als auch die Nährstoffversorgung eingeschätzt und beurteilt werden. Zur Ermittlung des Düngebedarfs sind geeignete Methoden zu wählen, welche Rückschlüsse auf die Pflanzenverfügbarkeit des betreffenden Nährstoffs und damit die Nährstoffversorgung des Bodens zulassen. Eine fundierte Bewertung der Analyseergebnisse hinsichtlich der gewünschten Zielgrösse (z.B. Ertrag, Qualität) muss zwingend möglich sein. Solche Zusammenhänge als Grundlage für eine Interpretation der Analyseergebnisse lassen sich meist nur in langjährigen Feldversuchen ermitteln. Analysenmethode und Interpretation der Resultate sind somit eine nicht trennbare Einheit. Denn verschiedene Analysemethoden liefern aufgrund ihrer Eigenschaften unterschiedliche Resultate, die nicht austauschbar sind und in der Regel in einer ungenügend korrelierten Beziehung zueinander stehen.

2. Standorteigenschaften

Die Entwicklung der angebauten Kulturen wird nicht nur durch chemische Eigenschaften des Bodens beeinflusst. Physikalische und andere Bodeneigenschaften wie die durchwurzelbare Bodentiefe (Gründigkeit), der Steinanteil (Skelettgehalt) oder die Bodenstruktur und Strukturstabilität spielen eine entscheidende Rolle. Letztere bestimmen den Wasser- und Lufthaushalt im Boden und haben daher einen massgeblichen indirekten Einfluss auf die Wurzelentwicklung. So ist das Wurzelwachstum in strukturschwachen und verdichteten Böden infolge Sauerstoffmangels gehemmt, und zeitweilige Bodenvernässung erhöht den Befallsdruck von Wurzelkrankheiten. Das Nährstoffaneignungsvermögen des dadurch geschwächten Wurzelwerkes ist stark vermindert, was sich auch durch eine erhöhte Nährstoffzufuhr über die Düngung nicht kompensieren lässt.

Insbesondere in Flächen, die neu mit mehrjährigen Kulturen bebaut werden, lohnt sich eine vorgängige Beurteilung des Bodenprofils (Abbildung 1). Dieses lässt wichtige Rückschlüsse auf die Anbaueignung eines Bodens zu und dient als Entscheidungsgrundlage hinsichtlich der Ergriffung von allfälligen Sanierungs- und Kulturmassnahmen wie der Notwendigkeit einer Drainage, der Bearbeitungstiefe und der Wahl der Unterlage in Obst- und Rebkulturen. Physikalische und chemische Untersuchungen der einzelnen Bodenhorizonte können zudem Aufschluss über die Strukturstabilität, die Dynamik der Nährstoffe im Unterboden und deren horizontale und vertikale Verlagerung geben.

Sämtliche im Boden ablaufenden biologischen Prozesse werden unter dem Begriff «biologische Bodenaktivität» zusammengefasst. Diese ist ein wichtiger Indikator für die Bodenfruchtbarkeit (siehe Kapitel 6).



Abbildung 1 | Beurteilung des Bodenprofils (Foto: Andreas Naef, Agroscope).

2.1 Körnung und Bodenart

Die Körnung der Feinerde (≤ 2 mm Durchmesser), auch als Bodentextur bezeichnet, wird durch die Anteile der unterschiedlich grossen mineralischen Bodenteilchen (Ton, Schluff und Sand) bestimmt. Von der Körnungszusammensetzung wird zusammen mit dem Humusgehalt (siehe Kapitel 2.2) die Bodenart abgeleitet (z.B. humoser sandiger Lehm). Die Bodenart beeinflusst:

- das potenzielle Nährstoffangebot
- die Dynamik der Nährstoffe im Boden
- die Verdichtungsanfälligkeit
- die Strukturstabilität (und damit die Erosions- und Verschlammungsanfälligkeit)
- die Wasserführung
- die Bodenbearbeitbarkeit

Die Körnung ist wichtig für das Verständnis vieler Bodenfunktionen und wird daher bei der Interpretation von

Tabelle 1 | Beziehung zwischen Tonklassen (Tonanteilen) und Bodeneigenschaften.

Eigenschaften	Schwellenwerte für die Interpretation der Nährstoffanalysen				
	Sandböden	sandig-lehmige Böden	Lehmböden	lehmig-tonige Böden	Tonböden
	< 10 % Ton	10–19,9 % Ton	20–29,9 % Ton	30–39,9 % Ton	≥ 40 % Ton
Wasserdurchlässigkeit	sehr gut	gut	gut	mittel	schlecht
Wasserspeicherung	gering	mittel	hoch	hoch	sehr hoch ¹
Durchlüftung	sehr gut	gut	gut	mittel	schlecht
Nährstoffspeicherung	gering	gering–mittel	mittel	gut	sehr gut ¹
Bearbeitbarkeit	leicht	leicht	mittel	mittel–schwer	schwer
Durchwurzelbarkeit	sehr gut	sehr gut	gut	mässig	schlecht

¹ Nur bedingt verfügbar für die Pflanzen.

zahlreichen Untersuchungswerten berücksichtigt. Sie verändert sich praktisch nicht im Laufe der Zeit, daher genügt eine einmalige repräsentative Bestimmung pro Parzelle. Die analytische Messung der Körnung kann durch eine Fühlprobe ersetzt werden, auch wenn deren Genauigkeit nicht derjenigen einer Messung entspricht. Die bei der Bodenuntersuchung verwendeten Tonklassen und Eigenschaften der Bodenarten sind in Tabelle 1 dargestellt.

2.2 Humusgehalt

Die Gesamtheit der Bodenbestandteile, die von pflanzlichen und tierischen Organismen stammen, wird unter dem Begriff «organische Bodensubstanz» zusammengefasst. Diese besteht zum kleineren Teil aus lebenden Organismen (Pflanzenwurzeln, Mikroorganismen und Bodentiere). Den Hauptanteil der organischen Bodensubstanz macht jedoch der Humus aus, der als Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz definiert ist. Diese Unterscheidung kann in den Bodenanalysen zur Standortbeurteilung und Düngeberatung nicht gemacht werden. Hier wird die in der Bodenprobe vorhandene organische Substanz dem Humusgehalt gleichgesetzt.

Die Menge und die Beschaffenheit der organischen Substanz haben einen entscheidenden Einfluss auf sehr viele Prozesse im Boden:

- In Umsetzungsprozessen, die unter dem Begriff Mineralisierung zusammengefasst werden, wird Humus abgebaut. Dabei werden neben Kohlendioxid und Wasser Pflanzennährstoffe, insbesondere N und in geringeren Mengen P und S, freigesetzt. Die Mineralisierungsvorgänge werden von verschiedenen Bodenfaktoren beeinflusst. Erhöhte Boden-

Tabelle 2 | Bodenkundliche Klassifizierung des Humusgehaltes (BGS 2010).

Humusgehalt ¹ in Gew.-%	Bezeichnung
< 2 %	humusarm
2–5 %	schwach humos
5–10 %	humos
10–30 %	humusreich
≥ 30 %	Humusboden

¹ Der Humusgehalt des Bodens entspricht dem organisch gebundenen Kohlenstoff (C_{org}), multipliziert mit 1,725.

Tabelle 3 | Agronomische Beurteilung des Humusgehaltes des Bodens zur Abschätzung der potenziellen N-Nachlieferung des Bodens.

Beurteilung des Humusgehaltes ¹ (%) des Bodens bei unterschiedlichen Tongehaltsklassen				Potenzielle N-Nachlieferung
< 10 % Ton	10–19,9 % Ton	20–29,9 % Ton	≥ 30 % Ton	
< 1,2	< 1,6	< 2,0	< 2,5	gering
1,2–2,9	1,6–3,4	2,0–3,9	2,5–5,9	ausreichend
3,0–4,9	3,5–6,9	4,0–7,9	6,0–9,9	gut
5,0–19,9	7,0–19,9	8,0–19,9	10,0–19,9	erhöht
≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	sehr hoch

¹ Der Humusgehalt des Bodens entspricht dem organisch gebundenen Kohlenstoff (C_{org}), multipliziert mit 1,725.

temperaturen und ein ausgewogener Wasser-/Lufthaushalt fördern den Humusabbau. Im Hinblick auf die längerfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist ein Gleichgewicht zwischen dem Humusaufbau (Humifizierung) und dem Humusabbau (Mineralisierung) anzustreben (siehe auch Kapitel 6).

- Der Humusgehalt beeinflusst die Bodenstruktur in hohem Masse. Durch die Bildung von Ton-Humus-Komplexen entstehen stabile Bodenkrümel. Diese erhöhen die Porosität und damit verbunden die Wasserdurchlässigkeit und die Durchlüftung des Bodens. Eine stabile Krümelstruktur vermindert zudem das Erosionsrisiko. Selbst bei hoher Niederschlagsintensität ist dann meist eine ausreichende Infiltration des Wassers gewährleistet. Böden mit einem mittleren bis hohen Humusgehalt sind für die Kulturpflanzen leichter durchwurzelbar.

Der Gehalt des Bodens an Humus wird in fünf Klassen eingeteilt und kann nach chemisch-physikalischen Eigenschaften (bodenkundlich; Tabelle 2) oder nach dessen Auswirkungen auf die N-Dynamik des Bodens (agronomisch; Tabelle 3) beurteilt werden. Aus agronomischer Sicht ist mit zuneh-

mendem Tongehalt des Bodens ein höherer Humusgehalt anzustreben. Der Humusgehalt des Bodens verändert sich bei gleichbleibender Bewirtschaftung längerfristig auch bei relativ hoher Zufuhr von organischem Material nur sehr langsam.

2.3 pH-Wert (Bodenreaktion)

Die Bodenreaktion charakterisiert die Böden nach ihrer Azidität und Alkalinität, ausgedrückt als pH-Wert. Er wird in wässriger Suspension als Gehalt an Wasserstoffionen gemessen und zur Beurteilung in 6 Klassen eingeteilt (Tabelle 4). Der pH-Wert variiert kurzfristig nur wenig; seine Messung wird in regelmässigen Abständen empfohlen, vor allem für saure und neutrale Böden.

Die Bodenreaktion beeinflusst einerseits die biologische Aktivität und andererseits die Pflanzenverfügbarkeit von einzelnen Nährstoffen, insbesondere von P und Mg sowie den meisten Spurenelementen (Abbildung 2). So ist P bei pH-Werten im schwach sauren bis neutralen Bereich am besten pflanzenverfügbar. In alkalischen Böden liegt ein erhöhter Anteil von P in Form von schwer löslichen Calciumphosphaten vor. Mit steigenden pH-Werten sinkt auch die Verfügbarkeit von Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn) und Bor (B), diejenige von Molybdän (Mo) hingegen steigt. Auf der anderen Seite ist eine Bodenversauerung mit einem deutlichen Anstieg der Löslichkeit von Mn und Aluminium (Al) verbunden. Zu hohe bzw. zu tiefe pH-Werte können folglich bei empfindlichen Kulturen zu Nährstoffmangel oder – vor allem bei einigen Gemüsearten – zu Phytotoxizität führen.

Der pH-Wert kann zur groben Beurteilung des Kalkzustandes und zur Wahl geeigneter Dünger (insbesondere P-Dünger) und Bodenverbesserungsmittel herangezogen werden. Angaben zur Beurteilung des Kalkzustandes des Bodens im Hinblick auf eine Kalkung sind in Kapitel 5 enthalten.

2.4 Kalkgehalt

Der Kalkzustand des Bodens ist ein wichtiger Faktor für die nachhaltige landwirtschaftliche Landnutzung. Er

Tabelle 4 | Beurteilung des pH-Wertes (Reaktion) und der Kalkbedürftigkeit des Bodens.

pH(H ₂ O)	Bezeichnung	Salzsäureprobe	Beurteilung	Kalkbedürftigkeit ¹
< 5,3	stark sauer	–	kalkfrei	Aufkalkung erforderlich
5,3–5,8	sauer	–	kalkfrei	Aufkalkung erforderlich
5,9–6,7	schwach sauer	–	kalkfrei	Erhaltungskalkung
6,8–7,2	neutral	–	kalkfrei	Erhaltungskalkung
		+	kalkhaltig	Erhaltungskalkung ²
7,3–7,6	schwach alkalisch	+	kalkhaltig	keine Kalkung
> 7,6	alkalisch	++	stark kalkhaltig	keine Kalkung

¹ Spezielle Anforderungen der Kulturen sind zu berücksichtigen. Im Futterbau sind Pflanzenbestand und an saure Standorte angepasste Pflanzenarten zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5.3.2).

² Nur wenn eine Abnahme des pH-Wertes beobachtet wird.

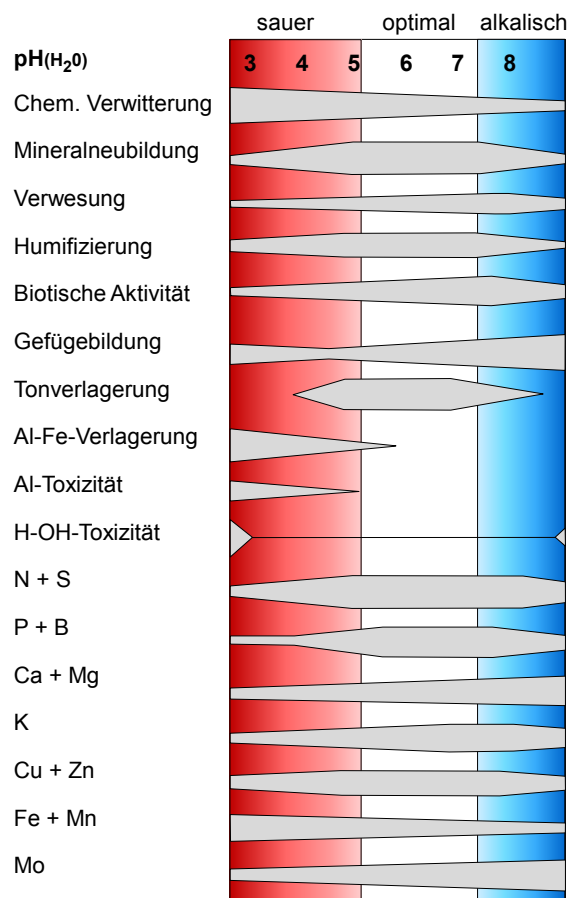


Abbildung 2 | Schema der Beziehung zwischen pH-Wert und pedogenetischen (bodenbürtigen) und ökologischen Faktoren (die Breite der Bänder gibt die Intensität der Vorgänge bzw. die Verfügbarkeit der Nährstoffe an; verändert nach Schroeder 1984).

wird entscheidend durch das Muttergestein, aus dem der Boden entstanden ist, durch die Niederschlagsverhältnisse sowie durch die Bewirtschaftungsweise beeinflusst.

Der Kalkgehalt (CaCO₃) im Boden spielt bei chemischen, physikalischen und biologischen Bodenprozessen eine wichtige Rolle. Die folgenden Prozesse werden durch den Abbau von Kalk in besonderem Masse beeinflusst:

- **Chemische Kalkwirkung:** Der Kalkgehalt beeinflusst den pH-Wert und damit direkt die Verfügbarkeit von Nährstoffen im Boden.
- **Physikalische Kalkwirkung:** Das bei der Zersetzung des Kalkes frei werdende Calcium (Ca²⁺) beeinflusst die Krümelbildung positiv (Brückenbildung zwischen Ton- und Humusteilchen) und trägt damit zur Erhaltung der Bodenstruktur bei. Auf schweren sowie verschlammungsgefährdeten Böden erfolgt die Kalkung vorwiegend im Hinblick auf die Verbesserung des Boden-

gefüges und begünstigt damit den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens und indirekt das Wurzelwachstum der Pflanzen.

- Die **bodenbiologische Kalkwirkung** ist eine indirekte Wirkung: Ein optimaler pH-Wert sowie ausgeglichene Luft- und Wasserverhältnisse begünstigen die Bodenlebewesen. Dadurch werden Abbau- und Umbauprozesse wie die Zersetzung von Ernteresten, der Aufbau stabiler Humusformen oder die Mineralisation von Nährstoffen gefördert.

Die Versorgung der Pflanzen mit Ca als essenziellem Nährstoff, der durch die Zersetzung des Kalks frei wird, ist von untergeordneter Bedeutung. Auch in sauren Böden ist für die meisten Pflanzen ausreichend Ca in gelöster oder austauschbarer Form vorhanden. Erst bei sehr calciumarmen Böden kann sich im Hinblick auf die Sicherstellung einer ausreichenden Ca-Versorgung der Kulturen eine Aufkalkung oder die Verwendung von kalkhaltigen Düngern als notwendig erweisen.

Kalkverluste treten vor allem durch Auswaschung, den Neutralisationsbedarf im Boden sowie den Entzug von Ca durch die Kulturen auf. Die jährlichen Kalkverluste können einige bis mehrere Hundert Kilogramm CaCO_3 pro Hektare betragen. Die Bestimmung des Gesamtkalkgehaltes genügt oft nicht zur Bemessung der Aufkalkung. In diesem Falle wird die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung empfohlen (siehe Kapitel 5).



Abbildung 3 | Vorbereitung der Bodenproben für die Laboranalysen: Sieb mit 2 mm Maschenweite zur Trennung von Skelett und Feinerde (Foto: René Flisch, Agroscope).

3. Bodenanalysen und Interpretation der Resultate

Eine Bodenuntersuchung ist Voraussetzung für die Erstellung eines Düngungsplanes zur bedarfsgerechten Düngung und die Schonung der Umwelt. Zu diesem Zwecke werden die Nährstoffgehalte im Boden in regelmässigen Zeitabständen (siehe Tabelle 5) bestimmt.

3.1 Empfehlungen für die Bodenuntersuchung

Für eine gezielte Düngung sind nebst den Nährstoffbedürfnissen der Pflanzen auch verschiedene Bodeneigenschaften zu berücksichtigen. Standorteigenschaften wie die Körnung müssen auf einer Parzelle in der Regel nur einmal bestimmt werden, falls keine bodenverbessernden Massnahmen durchgeführt wurden. Im Falle von langjährigen Kulturen wird eine solche Untersuchung vor der Neuanlage empfohlen.

Insbesondere bei ausdauernden Kulturen ist es wichtig, das durchwurzelte Bodenvolumen zu kennen; die Bodenuntersuchung wird daher bei Obst- und Rebkulturen vor der Erstellung der Anlage sowohl im Oberboden wie auch im Unterboden durchgeführt. Im weiteren Kulturverlauf werden nur noch Bodenproben aus dem Oberboden untersucht, ausser wenn Wachstums- oder Qualitätsschwierigkeiten festgestellt werden. Die bei den verschiedenen Kulturgruppen empfohlenen Probenahmetiefen sind in Tabelle 5 enthalten.

Die Untersuchung von Standorteigenschaften und Nährstoffgehalten in Bodenproben, wie sie für die Düngeberatung verwendet werden, basieren auf Mischproben einer repräsentativen Fläche. Die Güte der Untersuchungsergebnisse hängt wesentlich von der Probenahme ab, da Probenahmefehler die Summe aller Laborfehler um ein Mehrfaches übertreffen können. Um eine gute Mischprobe zu erhalten, kommt der Auswahl einer repräsentativen Fläche, dem Vorgehen bei der Beprobung (Einzeleinsteiche) sowie dem Beprobungszeitpunkt eine besondere Bedeutung zu.

3.1.1 Auswahl einer repräsentativen Fläche

Bei der Probenahme ist darauf zu achten, dass die Proben in einem Bereich der Parzelle gestochen werden, wo Bodeneigenschaften und Wachstum der Kulturen homogen sind. Ist die Parzelle von gleichmässiger Beschaffenheit, so genügt die Entnahme einer Mischprobe. Lässt die Bewirtschaftungsweise oder der Pflanzenbestand auf grössere Verschiedenheiten des Bodens schliessen, oder unterscheiden sich einzelne Probenausstiche durch ihre Farbe oder andere Merkmale, so ist es notwendig, aus jeder in sich einheitlichen Teilfläche separate Mischproben zu entnehmen.

3.1.2 Vorgehen bei der Beprobung der festgelegten Fläche

Für die Entnahme einer repräsentativen Bodenprobe sind 20–25 Einstiche nötig, die unabhängig von der Parzellengrösse gleichmässig auf die Parzelle verteilt werden müssen (siehe Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1, Agroscope 1996). Die so entnommene Probenmenge (ca. 1 kg) reicht für die vorschriftsgemässe Probenaufbereitung und Analyse im Labor aus (Abbildung 3). Es ist zu vermeiden, dass nur ein Teil der entnommenen Probe dem Labor zugestellt wird, da das Mischen und die Entnahme einer homogenen Teil-

Tabelle 5 | Empfehlungen zur Entnahme von Bodenproben in den verschiedenen Gruppen von landwirtschaftlichen Kulturen.

Der optimale Zeitpunkt der Probenahme ist abhängig von der Kulturgruppe. Der allgemein empfohlene Zeitpunkt ist nach der Ernte der Hauptkultur bzw. nach der letzten Mähnutzung (Futterbau) – in jedem Falle vor einer nachfolgenden Düngung. Siehe auch Kapitel 3.1.1 bis 3.1.4.

Kulturgruppe	Probenahme Tiefe (cm)	Zeitintervall ¹	Bemerkungen
Ackerbau	0–20	4–6 Jahre	vorzugsweise stets an der gleichen Stelle in der Fruchtfolge
Naturwiesen und Weiden	0–10	5–10 Jahre	Geilstellen, Weideeingänge, Liegeplätze und Bereich um feste Tränkeeinrichtungen nicht beproben
Gemüsebau Freiland	0–20	4–6 Jahre	vorzugsweise während der letzten Gemüsekultur im Jahresverlauf
Gemüsebau Gewächshaus	0–20	2 Jahre	vorzugsweise während der letzten Gemüsekultur im Jahresverlauf
Rebbau	2–25 (Obergrund)	5–10 Jahre	vor der Neuanlage/Remontierung und zur periodischen Kontrolle des Nährstoffgehalts. Nach grossen Düngungskorrekturen bei armen und überversorgten Böden alle 5 Jahre, sonst alle 10 Jahre
	25–50 (Untergrund)	einmalig	vor der Neuanlage/Remontierung und in Anlagen mit Kultur- und Qualitätsschwierigkeiten
Obstbau	2–25 (Obergrund)	5–10 Jahre	vor der Neuanlage/Remontierung und zur periodischen Kontrolle des Nährstoffgehalts. Probenahme an Dünge- und Anbautechniken anpassen
	25–50 (Unterboden)	einmalig	vor der Neuanlage/Remontierung und in Anlagen mit Kultur- und Qualitätsschwierigkeiten
Beerenbau	0–20	4–6 Jahre	einjährige Kulturen: vorzugsweise während der Vorkultur
	2–25	5–10 Jahre	mehnjährige Kulturen: vor der Neuanlage und zur periodischen Kontrolle des Nährstoffgehalts
Gewürz- und Medizinalpflanzen	0–20	4–6 Jahre	vorzugsweise während der Vorkultur
übrige Kulturen	0–20	ca. 5 Jahre	

¹ Bei grösseren Bodenverschiebungen, ungenügender Nährstoffversorgung bei der letzten Analyse oder bei Wachstumsstörungen ist die untere Grenze des Zeitintervalls zu verwenden.

probe ausgesprochen schwierig und aufwändig sind. Für spezielle Anbautechniken (z.B. begrünzte/offene Baumstreifen, gedüngte/ungedüngte Fahrgassen im Obstbau etc.) sind Hinweise in den Kulturmodulen zu beachten.

3.1.3 Häufigkeit der Bodenuntersuchungen

Die Häufigkeit von Bodenuntersuchungen richtet sich unter anderem nach den auf der betreffenden Fläche angebauten Kulturen (Tabelle 5). Periodisch durchgeführte Bodenuntersuchungen erlauben eine Optimierung der zukünftigen Düngung und eine Kontrolle des Effektes von Düngungsmassnahmen der vergangenen Jahre.

3.1.4 Allgemeine Hinweise zur Probenahme

Eine Aussage zur Entwicklung des Nährstoffgehaltes im Boden über längere Zeit und insbesondere der Vergleich mit zugeführten und von den Pflanzen entzogenen Nährstoffmengen ist nur sinnvoll, wenn die Randbedingungen einer korrekten Bodenprobenahme (Ort, Zeitpunkt in der Fruchtfolge, Entnahmetiefe usw.) genau eingehalten werden. In diesem Sinne wird empfohlen, die Bodenproben einer Parzelle jeweils während derselben Jahreszeit, nach derselben Kultur, nach der Ernte und in jedem Falle vor einer allfälligen Düngung zu entnehmen. Im Futterbau ist

ein geeigneter Zeitpunkt für die Entnahme von Bodenproben im Herbst unmittelbar nach der letzten Mähnutzung. Bei Weiden ist darauf zu achten, dass keine Einstiche in sichtbare Geilstellen gemacht werden.

Detaillierte Beschreibungen einer korrekten Probenahme bei verschiedenen Kulturgruppen – die für die Güte der Resultate entscheidend ist – sind in den Schweizerischen Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope (Agroscope 1996) enthalten. Untersuchungsstellen oder landwirtschaftliche Beratungsdienste stellen entsprechende Unterlagen ebenfalls zur Verfügung.

3.2 Methoden zur Bodenuntersuchung

Die wichtigsten zurzeit von Agroscope verwendeten Bodenuntersuchungsmethoden, die in zahlreichen Feldversuchen während Jahrzehnten geprüft wurden, sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

3.3 Wahl der Bodenanalysemethode für die Grunduntersuchung

Standorteigenschaften wie die Körnungszusammensetzung ändern sich bei üblicher Bewirtschaftung des Bodens kaum und müssen daher nicht regelmässig analysiert wer-

Tabelle 6 | Die wichtigsten Bodenuntersuchungsmethoden von Agroscope im Hinblick auf eine optimale Gestaltung der Düngung.

Die Methodenbeschreibungen sind in den Schweizerischen Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope (Agroscope 1996) enthalten.

Untersuchungs-kriterium (Nährstoffelement bzw. Bodeneigenschaft)	Extraktionsmittel bzw. Verfahren/Methode	Verhältnis Boden zu Extraktionsmittel	Schüttel- bzw. Extraktionszeit	Masseinheit der Berechnung
P (CO ₂ -Methode)	CO ₂ -gesättigtes Wasser	1 : 2,5	1 Std.	P-Testzahl 1 = 0,0356 mg P ₂ O ₅ pro 100 g Boden (bzw. 0,155 mg P pro kg Boden)
K (CO ₂ -Methode)	CO ₂ -gesättigtes Wasser	1 : 2,5	1 Std.	K-Testzahl 1 = 1 mg K ₂ O pro 100 g Boden (bzw. 8,3 mg K pro kg Boden)
Mg	0,0125 M CaCl ₂	1 : 10	2 Std.	Mg-Testzahl 1 = 1 mg Mg pro 100 g Boden (bzw. 10 mg Mg pro kg Boden)
Mn, austauschbar	1 M Ammoniumacetat	1 : 10	30 Min.	mg Mn pro kg Boden
Mn, reduzierbar	1 M Ammoniumacetat + Hydrochinon	1 : 10	30 Min.	mg Mn pro kg Boden
B	Heisswasser	1 : 5	5 Min. (Rückflusskühler)	mg B pro kg Boden
H ⁺	destilliertes Wasser	1 : 2,5	12 Std.	pH-Wert (pH _[H₂O])
CaCO ₃ (Gesamtkalk)	HCl konzentriert, 1 : 1 verdünnt (volumetrisch)			Vol.-% CaCO ₃ g CaCO ₃ pro 100 g Boden
P, K, Mg (H ₂ O ₁₀ -Methode)	destilliertes Wasser	1 : 10	1 Std.	mg P, K bzw. Mg pro kg Boden
P, K, Mg, Ca (AAE10-Methode)	0,5 M Ammoniumacetat + 0,5 M Essigsäure + 0,025 M Ethylendiamintetra- essigsäure	1 : 10	1 Std.	mg P, K, Mg bzw. Ca pro kg Boden
Körnung ¹				
- Ton	Sedimentation			g pro 100 g Boden
- Schluff	Sedimentation			g pro 100 g Boden
- Sand	Berechnung			g pro 100 g Boden
Humus ¹	nasschemische Oxidation mit K ₂ Cr ₂ O ₇ -Titration			% organischer C (C _{org}) % Humus = % C _{org} × 1,725
Humus, Ton und Schluff (geschätzt)	Fühlprobe			%
Kationenaustausch- kapazität (KAK)	in Böden mit pH _(H₂O) ≤ 5,9			KAK = (H ⁺ + K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺) cmol+ pro 100 g Boden (alte Einheit: mäs/100 g Boden)
K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺	0,05 M HCl + 0,0125 M H ₂ SO ₄	1 : 4	5 Min.	
H ⁺	pH-Differenz	1 : 1	5 Min.	
Kationenaustausch- kapazität (KAK)	in Böden mit pH _(H₂O) > 5,9			KAK = (H ⁺ + K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺) cmol+ pro 100 g Boden (alte Einheit: mäs/100 g Boden)
K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺	0,1 M Bariumchlorid + 2 M Triethanolamin	1 : 25	15 Std. bei 45 °C, dann 1 Std. schütteln	
H ⁺	Titration			
Basensättigung (BS)	Berechnung			BS (%) = (K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺) cmol+ × 100 / KAK
NO ₃ -N NH ₄ -N	0,0125 M CaCl ₂	1 : 4	1 Std.	kg N _{min} pro ha

¹ Körnung der Feinerde: Die Summe der prozentualen Anteile von Ton, Schluff, Sand und Humus ist 100 %.

den. Eine einmalige analytische Bestimmung genügt und ist einer Schätzung (Fühlprobe) vorzuziehen, da z.B. der Ton- oder Schluffgehalt wichtige Merkmale für die Interpretation der Nährstoffgehalte und das Nährstoffverhalten im Boden sind.

Für die Bestimmung der Gehalte an P, K und Mg im Boden stehen in der Schweiz verschiedene Bodenuntersuchungsmethoden für die Ermittlung der Düngebedürftigkeit zur Verfügung. Einerseits können diese Nährstoffe mit einem sogenannten milden Extraktionsmittel wie CO₂-gesättigtes Wasser für P und K (CO₂-Methode), Calciumchlorid für Mg (CaCl₂-Methode) oder Wassereextrakt für P, K und Mg (H₂O₁₀-Methode), andererseits mit der aggressiveren Substanz Ammoniumacetat+Ethylendiamintetraessigsäure, auch AAE10-Methode genannt, extrahiert werden.

Mit den milden Extraktionsmitteln werden vorwiegend die löslichen, den Pflanzen unmittelbar zur Verfügung stehenden Nährstoffe des Bodens erfasst; dies entspricht dem Faktor «Intensität», d.h. der Aktivität der Nährstoffionen in der Bodenlösung (Frossard *et al.* 2004). Im Fall eines aggressiven Extraktionsmittels geht man davon aus, dass die extrahierten Nährstoffe potenziell von den Pflanzen genutzt werden können (Nährstoffmenge, die im Boden irgendwann in Lösung gehen kann und somit pflanzenverfügbar wird); dies entspräche dem Faktor «Quantität» (Frossard *et al.* 2004).

Die mit der AAE10-Methode (Details in Kapitel 4.4) extrahierten Nährstoffe entsprechen nicht in jedem Falle dem Faktor «Quantität», da – abhängig von den Bodeneigenschaften – auch nicht pflanzenverfügbares P extrahiert wird (Demaria *et al.* 2005). So werden in kalkfreien, calci-

umarmen Böden nicht pflanzenverfügbare Metallphosphate (die sogenannte Reservefraktion) aufgelöst, wobei der Anteil von der mineralogischen Zusammensetzung des Bodens abhängig und daher keine abschätzbare Grösse im AAE10-Extrakt ist (Stünzi 2006b). In kalkhaltigen Böden hingegen wird CaCO₃ aufgelöst, d.h. es sind Ca²⁺-Ionen in grossem Überschuss in Lösung, und die Extraktionswirkung der im AAE10 enthaltenen EDTA geht für andere Elemente verloren (Zimmermann 1997; Stünzi 2006b). Die AAE10-Extraktion ist daher nur für kalkfreie Böden geeignet.

Die Wahl der Methode für die Nährstoffbestimmung richtet sich nach den Bedürfnissen des Auftraggebers und erfolgt in Abhängigkeit der Kulturen (Tabelle 7) sowie der Verfügbarkeit eines Interpretationsschemas für die betreffende Kulturgruppe.

3.4 Interpretation von P-, K- und Mg-Bodenanalysen zur Ermittlung des Düngebedarfs

Die Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen wird in der Regel von den Ergebnissen von mehrjährigen Feldversuchen an verschiedenen Standorten abgeleitet (Abbildung 6). Die Beziehungen zwischen den Nährstoffgehalten im Boden und jenen in den Pflanzen bzw. die Ertragsreaktion der Pflanzen auf die Düngung sind entscheidende Kriterien für eine zuverlässige Interpretation der Bodenuntersuchungsergebnisse.

Die Ermittlung des Düngebedarfs unter Berücksichtigung des Nährstoffgehaltes des Bodens erfolgt mit Hilfe sogenannter Korrekturfaktoren, mit denen die Normdüngung (in kg Nährstoff ha⁻¹ ausgedrückt) multipliziert wird. Der

Tabelle 7 | Wahl der Untersuchungsmethoden (Grundanalyse) bei verschiedenen Kulturgruppen.

Kulturgruppe	Analysierte Merkmale bzw. Elemente und Referenzmethode ¹ [Methoden-Code]						
	Bodeneigenschaften				Nährstoffe (P, K, Mg, Ca) ²		
	pH(H ₂ O) [pHH]	Kalk [CaCO ₃]	Humus [C _{org}]	Körnung [KOF]	P, K, Mg [CO ₂ /CCMg]	P, K, Mg, Ca [AAE10] ³	P, K, Mg [H ₂ O ₁₀] ⁴
Ackerbau und Kunstwiesen	x	x	x	x	x	x	
Naturwiesen und Weiden	x	x	x	x	x	x	
Gemüsebau (Freiland/Gewächshaus)	x	x	x	x		x	x
Weinbau ⁵	x	x	x	x		x	x
Obstbau	x	x	x	x		x	x
Beerenanbau	x	x	x	x		x	x
Gewürz- und Medizinalpflanzen	x	x	x	x			x
übrige Kulturen	x	x	x	x	x	x	x

¹ Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1: Bodenuntersuchung zur Düngeberatung (Agroscope 1996).

² Bei speziellen Verhältnissen kann es erforderlich sein, weitere Nährstoffe zu untersuchen (z. B. B und Mn in Humusböden oder in alkalischen Böden). Methoden siehe Tabelle 6.

³ P- und Mg-Bestimmung nur in kalkfreien Böden.

⁴ P kann nur in Böden mit pH-Werten zwischen 5 und 7,8 interpretiert werden (Gysi *et al.* 1993; Gysi *et al.* 1997).

⁵ Für die K-Vorratsdüngung bei Neuanlagen kann der K-Gehalt der KAK-Methode (Tabelle 6) herangezogen werden (siehe Modul 12/ Düngung im Weinbau).



Abbildung 4 | Filtration von Boden-Extrakten (Foto: Diane Bürge, Agroscope).



Abbildung 5 | Bestimmung verschiedener Elemente mittels Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie AAS (Foto: Diane Bürge, Agroscope).



Abbildung 6 | Langzeitversuch (Versuchsbeginn 1989) mit unterschiedlicher P-, K- und Mg-Düngung als Grundlage für die Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen (Foto: René Flisch, Agroscope).

Tabelle 8 | Allgemeine Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens aufgrund der in Tabelle 10 bis Tabelle 18 ermittelten Korrekturfaktoren.

Korrekturfaktor	Beurteilung	Versorgungs-klasse
> 1,4	arm	A
1,2–1,4	mässig	B
0,9–1,1	genügend	C
0,4–0,8	Vorrat	D
< 0,4	angereichert	E

allgemeine Nährstoffzustand des Bodens für P, K und Mg kann abhängig von den Korrekturfaktoren in fünf Klassen eingeteilt werden (Tabelle 8).

Das erforderliche Nährstoffniveau des Bodens für ein optimales Wachstum der Pflanzen ist für die verschiedenen Kulturen nicht identisch. Im Acker- und Futterbau sind die Interpretationsschemata auf Kulturen mit mittlerem bis gutem Aneignungsvermögen (z. B. Sommergetreide, Raps, Sonnenblume, Erbsen) abgestimmt. In der Versorgungs-klasse C (genügend) ist bei diesen Kulturen – auch ohne Düngung im aktuellen Jahr – mit keinen negativen Auswirkungen auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte zu rechnen. Eine Düngung in der Höhe des Pflanzenentzuges ist ausreichend, um das Gehaltsniveau im Boden zu erhalten. Bei Kulturen, die ein gutes Nährstoffaneignungsvermögen (z. B. Wintergetreide, Rüben) oder ein schlechtes Nährstoffaneignungsvermögen (Kartoffeln, Klee) haben, ist dieses Düngungsniveau nicht optimal (siehe auch Kapitel 4.6). Die Normdüngung wird daher angepasst und entspricht nicht mehr dem Entzug. Dies kann langfristig zu Abweichungen der angestrebten Bodenversorgung führen. Durch regelmässig durchgeführte Bodenuntersuchungen können Veränderungen der Bodenversorgung jedoch erkannt und korrigiert werden.

Für die Interpretation der P-, K- und Mg-Gehalte des Bodens ist die Kationenaustauschkapazität (Nährstoffspeicherungskapazität) von entscheidender Bedeutung. Zwischen der Kationenaustauschkapazität und dem Tongehalt des Bodens besteht eine enge Beziehung. Eine hohe Belegung mit mehrwertigen Kationen im Boden führt zu einer stärkeren positiven Ladung der Phosphatadsorbenten und damit zu einer elektrostatisch bedingten höheren Adsorption von Phosphat (Anion). Es ist daher sinnvoll, die P-, K- und Mg-Gehalte des Bodens in Abhängigkeit des analytisch bestimmten oder geschätzten Tongehaltes in der Feinerde (≤ 2 mm gesiebter Boden) zu beurteilen. Bei Böden mit mehr als 10 % Humus wird der Humusgehalt bei der Interpretation der Nährstoffgehalte ebenfalls berücksichtigt.

Die jeweils ermittelten Korrekturfaktoren (Kapitel 4.1 bis Kapitel 4.4) sind bei der Düngung jeder Kultur bis zur nächsten Untersuchung des Bodens zu verwenden.

4. Die Nährstoffversorgung des Bodens

Die Bemessung der P-, K- und Mg-Düngung basiert auf dem Prinzip des Ersatzes der durch die Pflanzen entzogenen Nährstoffmengen bei optimal mit diesen Nährstoffen versorgten Böden. Die Anpassung der Düngung an den Nährstoffgehalt des Bodens erfolgt mit sogenannten Korrekturfaktoren, die pro Analysenmethode und Nährstoff aus den Interpretationstabellen (Kapitel 4.1 bis 4.4) abgelesen werden können.

Die tabellarisch aufgeführten Korrekturfaktoren sind in Abhängigkeit des Analysenergebnisses und des Tongehaltes angegeben und gelten für Böden mit einem Humusgehalt bis zu 10 %. Da der Humusgehalt die Nährstoffverfügbarkeit

ebenfalls beeinflusst, ist für Böden mit einem Humusgehalt über 10 % eine Korrektur in Abhängigkeit des Raumgewichts des Bodens (Dichte des Bodens bei natürlicher Lagerung) vorzunehmen. Letztere steht in einem engen Zusammenhang mit dem meist bekannten Humusgehalt des Bodens (Gysi *et al.* 1993). Die Faktoren können aus Tabelle 9 abgelesen oder berechnet werden.

4.1 Korrektur der P- und K-Düngung aufgrund der CO₂-Methode

Die in der Schweiz seit Jahrzehnten eingesetzte CO₂-Methode (Dirks und Scheffer 1930) eignet sich zur Bestimmung der löslichen, pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte im Boden. Die Beurteilung der gemessenen Gehalte

Tabelle 9 | Korrektur der Analysenwerte für Böden mit einem Humusgehalt von mehr als 10 %.

Die Korrektur ist vor der Bestimmung der Korrekturfaktoren für die Düngung (Tabelle 10 bis Tabelle 18) vorzunehmen.

Humusgehalt des Bodens (%)	Raumgewicht des Bodens	Faktor zur Korrektur des Analysenergebnisses	Humusgehalt des Bodens (%)	Raumgewicht des Bodens	Faktor zur Korrektur des Analysenergebnisses
(h)	(d _h) ¹	(f) ¹	(h)	(d _h) ¹	(f) ¹
10,0	1,1005	1,000	25,0	0,7000	0,636
11,0	1,0678	0,970	30,0	0,6020	0,547
12,0	1,0361	0,941	35,0	0,5177	0,470
13,0	1,0053	0,913	40,0	0,4452	0,405
14,0	0,9754	0,886	45,0	0,3829	0,348
15,0	0,9465	0,860	50,0	0,3293	0,299
16,0	0,9183	0,834
17,0	0,8911	0,810			
18,0	0,8646	0,786			
19,0	0,8389	0,762			
20,0	0,8140	0,740			

Berechnung des Raumgewichts:

$$d_h = 1,488 \cdot 10^{-0,0131 \cdot h}$$

Berechnung der Korrektur nach Humusgehalt (f):

$$f = d_h / d_{h=10,0}$$

¹ Werte zwischen den angegebenen Humusgehalten (h) müssen berechnet werden.

Beispiel: Analysenergebnis 110,5 bei einem Boden mit 12,0 % Humus
 korrigierter Analysenwert: $110,5 \cdot 0,941 = 104,0$ oder $110,5 \cdot (1,0361/1,1005) = 104,0$



Abbildung 7 | Phosphormangel bei Zuckerrüben. Links: lückiger Bestand mit kleinen Pflanzen bei ungenügender P-Versorgung des Bodens. Rechts: normaler Bestand bei genügender Bodenversorgung zum selben Zeitpunkt (Foto: René Flisch, Agroscope).

Tabelle 10 | Korrekturfaktoren der P-Düngung in Abhängigkeit der P-Gehalte (CO₂-Methode) und des Tongehaltes des Bodens (P-Testzahl 1 = 0,155 mg P/kg Boden).

Bei Humusgehalten $\geq 10\%$ ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.
Bei wenig intensiv genutzten Wiesen ist ein Korrekturfaktor von höchstens 1,0 zu verwenden.

Acker- und Futterbau

mg P/kg Boden	P-Testzahl	Tongehalt der Feinerde (%)					Spezielle schluffige Böden ¹	Spezielle sandige Böden ²
		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40		
0,000–0,309	0,0–1,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	1,5	1,4
0,310–0,619	2,0–3,9	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,2
0,620–0,930	4,0–5,9	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,4	1,0
0,931–1,241	6,0–7,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,4	1,0
1,242–1,551	8,0–9,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	1,2	1,0
1,552–1,862	10,0–11,9	1,0	1,0	0,8	0,6	0,0	1,2	0,8
1,863–2,172	12,0–13,9	1,0	0,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,6
2,173–2,482	14,0–15,9	0,8	0,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,4
2,483–2,793	16,0–17,9	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	1,0	0,4
2,794–3,103	18,0–19,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
3,104–3,414	20,0–21,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
3,415–3,724	22,0–23,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
3,725–4,035	24,0–25,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
4,036–4,345	26,0–27,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
4,346–4,655	28,0–29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
$\geq 4,656$	$\geq 30,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Schluffige Böden aus Bündner-Schiefer-Verwitterung mit einem Tongehalt der Feinerde < 25 % und einem Schluffgehalt der Feinerde > 40 %.

² Sandige, saure Böden im Kanton Tessin mit einem Tongehalt der Feinerde < 10 %, einem Sandgehalt der Feinerde > 40 % und einem pH-Wert < 5,9.

konnte mithilfe einer grossen Anzahl von Feldversuchen (Abbildung 7 und Abbildung 8) abgeleitet werden. In den meisten Fällen kann eine gute Beziehung zwischen den Bodengehalten einerseits und den Erträgen und Pflanzengehalten andererseits festgestellt werden (Peyer 1970; Ryser 1982; Gallet *et al.* 2001).

In Böden mit einem Tongehalt von über 40 % werden trotz erhöhter Düngung während längerer Zeit und normaler Entwicklung und Ertragsbildung der Kulturen mit der CO₂-Methode oft nur sehr geringe Gehalte an P und/oder K ausgewiesen. Die Differenz zwischen den gedüngten und den durch die Kulturen entzogenen Nährstoffmengen steht nur in schwacher Beziehung zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung. Dieses Verhalten der Methode wird mit der Berücksichtigung des Tongehaltes bei der Interpretation berücksichtigt.

Die Anpassung der Düngung an den parzellenspezifischen Nährstoffgehalt des Bodens erfolgt für die CO₂-Methode mit Hilfe der in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgeführten Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der P- beziehungsweise K-Gehalte sowie des Tongehaltes des Bodens. Diese Korrekturfaktoren gelten für die meisten Böden des schweizerischen Mittellandes, der Voralpen und des Juras mit einem Humusgehalt bis 10 %. Für Böden mit einem Humusgehalt über 10 % ist dieser gemäss Tabelle 9 zu berücksichtigen.



Abbildung 8 | Einfluss der Nährstoffversorgung des Bodens auf das Pflanzenwachstum (Foto: René Flisch, Agroscope).

Tabelle 11 | Korrekturfaktoren der K-Düngung in Abhängigkeit der K-Gehalte (CO₂-Methode) und des Tongehaltes des Bodens (K-Testzahl 1 = 8,3 mg K/kg Boden).

Bei Humusgehalten $\geq 10\%$ ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.

Für intensive und mittelintensive Wiesen wird von Korrekturfaktoren von mehr als 1,2 ohne Analyse der K-Gehalte im Futter dringend abgeraten. Bei K-Gehalten des Futters über 25 g K/kg Trockensubstanz ist ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden.

Für wenig intensive Wiesen ist ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden.

Acker- und Futterbau

mg K/kg Boden	K-Testzahl	Tongehalt der Feinerde (%)				
		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,00–4,14	0,0–0,4	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2
4,15–8,29	0,5–0,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,0
8,30–12,44	1,0–1,4	1,4	1,4	1,2	1,0	1,0
12,45–16,59	1,5–1,9	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0
16,60–20,74	2,0–2,4	1,2	1,2	1,0	1,0	0,8
20,75–24,89	2,5–2,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,6
24,90–29,04	3,0–3,4	1,0	1,0	1,0	0,8	0,4
29,05–33,19	3,5–3,9	1,0	1,0	0,8	0,6	0,4
33,20–37,34	4,0–4,4	1,0	0,8	0,8	0,6	0,0
37,35–41,49	4,5–4,9	1,0	0,8	0,6	0,4	0,0
41,50–45,64	5,0–5,4	0,8	0,8	0,6	0,4	0,0
45,65–49,79	5,5–5,9	0,8	0,6	0,4	0,0	0,0
49,80–53,94	6,0–6,4	0,8	0,6	0,4	0,0	0,0
53,95–58,09	6,5–6,9	0,6	0,6	0,4	0,0	0,0
58,10–62,24	7,0–7,4	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
62,25–66,39	7,5–7,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
66,40–70,54	8,0–8,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0
70,55–74,69	8,5–8,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
74,70–78,84	9,0–9,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
78,85–82,99	9,5–9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$\geq 83,00$	$\geq 10,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Schluffige Böden aus Verwitterung von Bündner Schiefer sowie saure, sandige Böden im Kanton Tessin benötigen für P eine spezielle Beurteilung. Die entsprechenden Korrekturfaktoren für die P-Düngung sind in Tabelle 10 enthalten.

4.2 Korrektur der Mg-Düngung aufgrund der CaCl₂-Methode

Die Interpretation der Analysenergebnisse beziehungsweise die Korrektur der Düngung ist ähnlich wie beim K vom Tongehalt des Bodens abhängig (Tabelle 12). Aufgrund der Eigenschaften des Extraktionsmittels (Austauschlösung) steigt der Bodengehalt für die optimale Versorgung (Korrekturfaktor 1,0) mit zunehmendem Tongehalt an.

Die Mg-Bestimmung mit der CaCl₂-Methode ist in vielen Ländern Europas weit verbreitet. Falls bei anderen Methoden die Analysenergebnisse schwierig zu deuten sind, kann diese Methode wertvolle Hinweise geben, da zusätzliche Informationen aus der Literatur herangezogen werden können.

4.3 Korrektur der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund der H₂O10-Methode

Bei der Wasserextraktionsmethode (Dirks und Scheffer 1930; Van der Paauw 1956) werden die Bodenproben mit Wasser 1:10, bezogen auf das Gewicht, extrahiert. Im Wasserextrakt werden lösliche, sofort pflanzenverfügbare Nährstoffe gemessen. Die Nährstoffgehalte im Wasserextrakt entsprechen angenähert dem Nährstoffgehalt der Bodenlösung. Bei Böden mit hohen pH-Werten (pH > 7,8) kann wegen der reduzierten P-Löslichkeit, insbesondere bei grossem Ca-Überschuss, die tatsächliche P-Verfügbarkeit besser sein, als dies Resultate der Messung im H₂O10-Extrakt wiedergeben. Für die P-Bestimmung wird die Methode nur in Böden mit einem pH-Wert ≥ 5 und $\leq 7,8$ eingesetzt (Gysi et al. 1993; Gysi et al. 1997). Für Böden mit pH-Werten < 5,0 und > 7,8 liegt kein P-Interpretationschema vor. Die Resultate dieser Bodenanalysen sind allenfalls mit Blattanalysen zu verifizieren. Für die Interpretation der Analysenergebnisse dieser – in der Schweiz eher selten auftretenden – Fälle sollten Kulturspezialisten von Agroscope beigezogen werden.

Tabelle 12 | Korrekturfaktoren der Mg-Düngung in Abhängigkeit des Mg-Gehaltes (CaCl₂-Methode) und des Tongehaltes des Bodens (Mg-Testzahl 1 = 10 mg Mg/kg Boden).Bei Humusgehalten $\geq 10\%$ ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.

Bei wenig intensiv genutzten Wiesen ist ein Korrekturfaktor von höchstens 1,0 zu verwenden.

Acker- und Futterbau

mg Mg/kg Boden	Mg-Testzahl	Tongehalt der Feinerde (%)				
		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,0–19,9	0,0–1,9	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
20,0–39,9	2,0–3,9	1,2	1,4	1,6	1,6	1,6
40,0–59,9	4,0–5,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,6
60,0–79,9	6,0–7,9	1,0	1,0	1,2	1,4	1,6
80,0–99,9	8,0–9,9	0,8	1,0	1,0	1,2	1,4
100,0–119,9	10,0–11,9	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2
120,0–139,9	12,0–13,9	0,4	0,6	1,0	1,0	1,0
140,0–159,9	14,0–15,9	0,0	0,4	0,8	1,0	1,0
160,0–179,9	16,0–17,9	0,0	0,4	0,6	0,8	1,0
180,0–199,9	18,0–19,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,8
200,0–219,9	20,0–21,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,6
220,0–239,9	22,0–23,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6
240,0–259,9	24,0–25,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
260,0–279,9	26,0–27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
280,0–299,9	28,0–29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$\geq 300,0$	$\geq 30,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 13 | Korrekturfaktoren der P-Düngung in Abhängigkeit der P-Gehaltes (mg P/kg Boden, H₂O₁₀-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.Bei Humusgehalten $\geq 10\%$ ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.Gilt für Böden mit einem pH-Wert von $\geq 5,0$ und $\leq 7,8$.

Gemüsebau, Obstbau, Beeren, Gewürz- und Medizinalpflanzen						Rebbau ¹					
H ₂ O ₁₀ -P mg P/kg	Tongehalt der Feinerde (%) bei einem pH-Wert $\geq 5,0$ und $\leq 7,8$					H ₂ O ₁₀ -P mg P/kg	Tongehalt der Feinerde (%) bei einem pH-Wert $\geq 5,0$ und $\leq 7,8$				
	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,0–1,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	0,0–1,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
2,0–3,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	2,0–3,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
4,0–5,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0	4,0–5,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
6,0–7,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8	6,0–7,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8
8,0–9,9	1,2	0,8	0,8	0,4	0,4	8,0–9,9	1,2	0,8	0,8	0,0	0,0
10,0–11,9	1,0	0,6	0,6	0,0	0,0	10,0–11,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0–13,9	0,8	0,4	0,4	0,0	0,0	12,0–13,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
14,0–15,9	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	$\geq 14,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16,0–17,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0						
18,0–19,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0						
20,0–21,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0						
22,0–23,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0						
$\geq 24,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						

¹ Die Korrekturfaktoren wurden unverändert aus den Grundlagen für die Düngung der Reben (Spring et al. 2003) übernommen.

Tabelle 14 | Korrekturfaktoren der K-Düngung in Abhängigkeit der K-Gehaltes (mg K/kg Boden, H₂O₁₀-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.Bei Humusgehalten ≥ 10 % ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.

Gemüsebau, Obstbau, Beeren, Gewürz- und Medizinalpflanzen						Rebbau ¹					
H ₂ O ₁₀ -K	Tongehalt der Feinerde (%)					H ₂ O ₁₀ -K	Tongehalt der Feinerde (%)				
mg K/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	mg K/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5,0–9,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	5,0–9,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
10,0–14,9	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	10,0–14,9	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2
15,0–19,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	15,0–19,9	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0
20,0–24,9	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8	20,0–24,9	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8
25,0–29,9	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	25,0–29,9	1,1	1,1	1,1	0,0	0,0
30,0–34,9	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4	30,0–34,9	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
35,0–39,9	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4	35,0–39,9	0,9	0,9	0,9	0,0	0,0
40,0–44,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	40,0–44,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0
45,0–49,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	$\geq 45,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50,0–54,9	0,6	0,6	0,6	0,0	0,0						
55,0–59,9	0,6	0,6	0,6	0,0	0,0						
60,0–64,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0						
65,0–69,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0						
70,0–74,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0						
$\geq 75,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						

¹ Die Korrekturfaktoren wurden unverändert aus den Grundlagen für die Düngung der Reben (Spring et al. 2003) übernommen.**Tabelle 15 | Korrekturfaktoren der Mg-Düngung in Abhängigkeit des Mg-Gehaltes (mg Mg/kg Boden, H₂O₁₀-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.**Bei Humusgehalten ≥ 10 % ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.

Gemüsebau, Obstbau, Beeren, Gewürz- und Medizinalpflanzen						Rebbau ¹					
H ₂ O ₁₀ -Mg	Tongehalt der Feinerde (%)					H ₂ O ₁₀ -Mg	Tongehalt der Feinerde (%)				
mg Mg/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	mg Mg/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5,0–9,9	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	5,0–9,9	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
10,0–14,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	10,0–14,9	1,1	1,2	1,2	1,4	1,4
15,0–19,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	15,0–19,9	0,8	1,1	1,1	1,2	1,2
20,0–24,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	20,0–24,9	0,0	1,0	1,0	1,1	1,1
25,0–29,9	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	25,0–29,9	0,0	0,8	0,8	0,9	0,9
30,0–34,9	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	30,0–34,9	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8
35,0–39,9	0,0	0,6	0,6	0,8	0,8	$\geq 35,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40,0–44,9	0,0	0,4	0,4	0,6	0,6						
45,0–49,9	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4						
50,0–54,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4						
55,0–59,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4						
$\geq 60,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						

¹ Die Korrekturfaktoren wurden unverändert aus den Grundlagen für die Düngung der Reben (Spring et al. 2003) übernommen.

Die Wasserextraktionsmethode kommt bislang vor allem bei landwirtschaftlichen Spezialkulturen wie dem Gemüsebau, Obstbau, Weinbau und Beerenanbau sowie in Kulturen von Medizinal- und Zierpflanzen zur Anwendung. Für den Acker- und Futterbau wurde die H₂O₁₀-Methode im Feldversuch noch nicht kalibriert. Die Anpassung der P-,

K- und Mg-Düngung erfolgt mit Hilfe der in Tabelle 13 bis Tabelle 15 aufgeführten Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der parzellenspezifischen Nährstoffgehalte sowie des Tongehaltes des Bodens. Für Böden mit einem Humusgehalt ≥ 10 % ist dieser gemäss Tabelle 9 zu berücksichtigen.

4.4 Korrektur der P-, K- und Mg-Düngung aufgrund der AAE10-Methode

Zahlreiche Untersuchungen über die chemischen Prozesse bei der Extraktion mit Ammoniumacetat+EDTA (Hons et al. 1990; Zbíral 2000) im Verhältnis 1 : 10 (AAE10) haben gezeigt, dass sich das Extraktionsverhalten dieser Methode in kalkfreien, calciumarmen Böden grundsätzlich von demjenigen in kalkhaltigen, calciumreichen Böden unterscheidet. Dies macht sich vor allem bei der Bestimmung von P bemerkbar (Stünzi 2006b; siehe auch Kapitel 3.3). In kalkfreien Böden wird die kleine Menge Ca^{2+} durch die Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) komplexiert, womit eine Ausfällung von Calciumphosphat unterbunden wird, und das Phosphat in Lösung bleibt. Ist die Ca^{2+} -Konzentration sehr tief, können durch die freie EDTA zusätzlich Metallphosphate (Reservefraktion) aufgelöst werden. Dieser Anteil ist zudem von der mineralogischen Zusammensetzung des Bodens abhängig und daher keine abschätzbare Grösse im AAE10-Extrakt.

Bei der AAE10-Extraktion in kalkhaltigen Böden wird CaCO_3 aufgelöst, d. h. es sind Ca^{2+} -Ionen in grossem Überschuss in Lösung, wodurch die Extraktionswirkung der EDTA für andere Elemente verloren geht (Zimmermann 1997). Bei steigendem Kalkgehalt sinkt die Löslichkeit von P im AAE10-Extrakt graduell, wobei je nach Probe die P-Löslichkeit durch Kalk geringfügig bis drastisch (auf $1/20$) reduziert wird.

Die beschriebenen chemischen Prozesse erklären die mangelhafte Übereinstimmung der Interpretationen von P-Bestimmungen mit der CO_2 - und der AAE10-Methode (Walther et al., 2001; Flisch et al., 2009). Parallel zur CO_2 -Methode wurde die AAE10-Methode in Feldversuchen geprüft (Abbildung 9). In kalkfreien Böden ergeben sich für die beiden Methoden ähnliche Beziehungen zwischen Bodengehalt und Ertrag bzw. Pflanzengehalt. Beim P bestehen bei sauren Böden mit einem erhöhten Gehalt an Fe- und Al-Phosphaten gewisse Unsicherheiten bei der Interpretation der P-Gehalte im AAE10-Extrakt, da nicht ab-



Abbildung 9 | Die K-Versorgung von Chicorée-Wurzeln im Feld ist entscheidend für die Qualität der Chicorée-Zapfen. Sowohl bei unter- (links) als auch bei überversorgtem Boden (rechts) ist der Anteil an offenen, nicht vermarktungsfähigen Zapfen erhöht, verglichen mit Zapfen bei genügend versorgtem Boden (Mitte, Versorgungsklasse C) (Fotos: René Flisch, Agroscope).

geschätzt werden kann, ob und wie viele Metallphosphate während der Extraktion gelöst wurden. In solchen Böden gibt die AAE10-Extraktion manchmal nicht reproduzierbare P-Gehalte. In kalkhaltigen Böden sind die Beziehungen der mit den beiden Methoden bestimmten Bodengehalte zur Reaktion der Pflanzen teilweise ähnlich (Abbildung 10), teilweise jedoch stark unterschiedlich. Mit AAE10 kann der Gehalt an pflanzenverfügbarem P sowohl unterschätzt als auch überschätzt werden. Da nicht abschätzbar ist, an welchem Standort welche chemischen Prozesse während der Extraktion hauptsächlich zum Tragen kommen, sind mit der AAE10-Methode in kalkhaltigen Böden keine zuverlässige Aussagen über die P-Bedürftigkeit möglich.

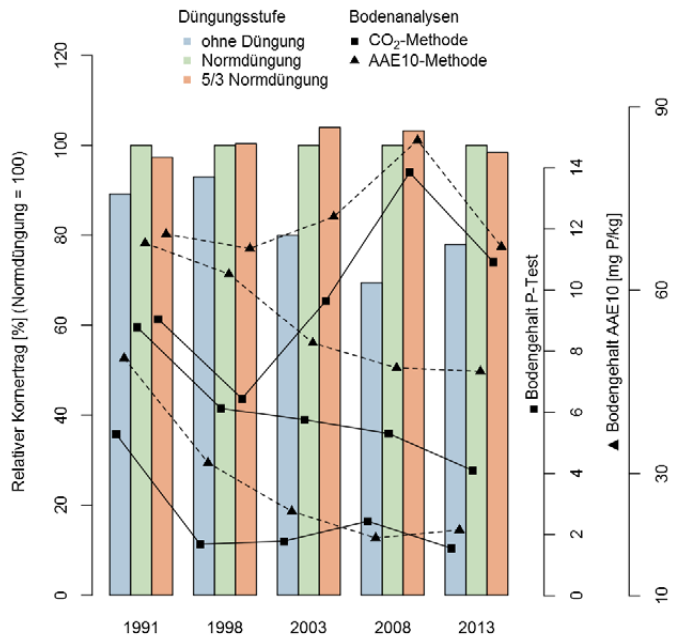


Abbildung 10 | Entwicklung der P-Gehalte (CO_2 - und AAE10-Methode) im Boden bei unterschiedlicher P-Düngung (ohne P, Normdüngung, $5/3$ Normdüngung) und Einfluss auf die Kornträge von Weizen. Der Langzeitversuch von Agroscope in Zürich-Reckenholz wurde 1989 in einem Boden mit 2% Humus und 22% Ton gestartet. Die Düngung erfolgte seit Versuchsbeginn in mineralischer Form (Grafik: René Flisch, Agroscope).

Ähnliches dürfte für das Mg zutreffen, wobei für eine gesicherte Aussage zu wenige Daten verfügbar sind. Vergleiche mit der in vielen Ländern eingesetzten CaCl_2 -Methode zeigen, dass gerade in kalkhaltigen Böden oft grosse Abweichungen der im AAE10-Extrakt bestimmten Mg-Gehalte vorhanden sind, die mit der Düngungspraxis der vergangenen Jahre, der Betriebsstruktur und den Mg-Gehalten der Pflanzen nicht erklärbar sind. Die Methoden unterscheiden sich bezüglich Mg prinzipiell, weil bei AAE10 die hohe Essigsäurekonzentration Mg aus Dolomit lösen kann, während bei der CaCl_2 -Extraktion ein reiner Ionenaustausch stattfindet.

Die Anpassung der Düngung an den parzellenspezifischen Nährstoffgehalt des Bodens erfolgt für P, K und Mg mit Hilfe der in Tabellen 16 bis 18 aufgeführten Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der P-, K- und Mg-Gehalte sowie des Tongehaltes des Bodens. Für Böden mit einem Humusgehalt $\geq 10\%$ sind die Angaben in Tabelle 9 zu beachten.

Tabelle 16 | Korrekturfaktoren der P-Düngung in Abhängigkeit der P-Gehalte (mg P/kg Boden, AAE10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens für kalkfreie Böden
(Kalkvorprobe negativ oder pH < 6,8 oder AAE10-Ca < 4000 mg Ca/kg Boden).

Bei Humusgehalten $\geq 10\%$ ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.

Für kalkhaltige Böden (Kalkvorprobe positiv oder pH $\geq 6,8$ oder AAE10-Ca ≥ 4000 mg Ca/kg Boden) sind die Korrekturfaktoren für die Bemessung der P-Düngung nicht gültig.

Bei wenig intensiv genutzten Wiesen ist ein Korrekturfaktor von höchstens 1,0 zu verwenden.

Acker- und Futterbau		Tongehalt der Feinerde (%): kalkfreie Böden			Gemüse-, Obstbau, Gewürz- und Medizinalpflanzen		Rebbau ¹				
AAE10-P	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	AAE10-P	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
mg P/kg						mg P/kg					
0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
5,0–9,9	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	5,0–9,9	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
10,0–14,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	10,0–14,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4
15,0–19,9	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	15,0–19,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2
20,0–24,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	20,0–24,9	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2
25,0–29,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	25,0–29,9	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2
30,0–34,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	30,0–34,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2
35,0–39,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	35,0–39,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0
40,0–44,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	40,0–44,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
45,0–49,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	45,0–49,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
50,0–54,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	50,0–54,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
55,0–59,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	55,0–59,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
60,0–64,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	60,0–64,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
65,0–69,9	1,0	0,8	0,8	0,6	0,6	65,0–69,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
70,0–74,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	70,0–74,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
75,0–79,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	75,0–79,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8
80,0–84,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	80,0–84,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
85,0–89,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	85,0–89,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,4
90,0–94,9	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	90,0–94,9	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4
95,0–99,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,0	95,0–99,9	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4
100,0–104,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	100,0–104,9	0,8	0,4	0,4	0,4	0,0
105,0–109,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	105,0–109,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0
110,0–114,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	110,0–114,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0
115,0–119,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,0–119,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
120,0–124,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	120,0–124,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
≥ 125,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	≥ 125,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Die Korrekturfaktoren wurden unverändert aus den Grundlagen für die Düngung der Reben (Spring et al. 2003) übernommen.

Tabelle 17 | Korrekturfaktoren der K-Düngung in Abhängigkeit des K-Gehaltes (mg K/kg Boden, AAE10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.

Bei Humusgehalten $\geq 10\%$ ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.

Für intensive und mittlintensive Wiesen wird von Korrekturfaktoren von mehr als 1,2 ohne Analyse der K-Gehalte im Futter dringend abgeraten.

Bei K-Gehalten des Futters über 25 g K/kg Trockensubstanz ist ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden.

Für wenig intensive Wiesen ist ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden.

Acker- und Futterbau		Tongehalt der Feinerde (%)				Gemüse-, Obstbau, Gewürz- und Medizinalpflanzen		Tongehalt der Feinerde (%)				Rebbau								
AAE10-K	mg K/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	AAE10-K	mg K/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	AAE10-K	mg K/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
	0–19,9	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2		0–19,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2		0–19,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
	20–39,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2		20–39,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2		20–39,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
	40–59,9	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0		40–59,9	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2		40–59,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
	60–79,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0		60–79,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0		60–79,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
	80–99,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0		80–99,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0		80–99,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
	100–119,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0		100–119,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0		100–119,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
	120–139,9	1,2	1,0	1,0	1,0	0,8		120–139,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0		120–139,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	140–159,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8		140–159,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8		140–159,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8
	160–179,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8		160–179,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8		160–179,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
	180–199,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6		180–199,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8		180–199,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
	200–219,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6		200–219,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8		200–219,9	1,0	0,8	0,8	0,0	0,0
	220–239,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6		220–239,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		220–239,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0
	240–259,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4		240–259,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6		240–259,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	260–279,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4		260–279,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6		260–279,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	280–299,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,0		280–299,9	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4		280–299,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	300–319,9	0,6	0,6	0,4	0,4	0,0		300–319,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4		300–319,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	320–339,9	0,6	0,4	0,4	0,0	0,0		320–339,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,0		320–339,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	340–359,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0		340–359,9	0,6	0,4	0,4	0,0	0,0		340–359,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	360–379,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0		360–379,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0		360–379,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	380–399,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		380–399,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0		380–399,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	400–419,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		400–419,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		400–419,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	≥ 420	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		≥ 420	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		≥ 420	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 18 | Korrekturfaktoren der Mg-Düngung in Abhängigkeit des Mg-Gehaltes (mg Mg/kg Boden, AAE10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens für kalkfreie Böden
(Kalkvorprobe negativ oder pH < 6,8 oder AAE10-Ca < 4000 mg Ca/kg Boden).

Bei Humusgehalten $\geq 10\%$ ist eine Humuskorrektur gemäss Tabelle 9 vorzunehmen.

Für kalkhaltige Böden (Kalkvorprobe positiv oder pH $\geq 6,8$ oder AAE10-Ca ≥ 4000 mg Ca/kg Boden) sind die Korrekturfaktoren für die Bemessung der Mg-Düngung nicht gültig.

Bei wenig intensiv genutzten Wiesen ist ein Korrekturfaktor von höchstens 1,0 zu verwenden.

Acker- und Futterbau				Gemüse-, Obstbau, Gewürz- und Medizinalpflanzen				Rebbau ¹			
AAE10-Mg		Tongehalt der Feinerde (%); kalkfreie Böden		AAE10-Mg		Tongehalt der Feinerde (%); kalkfreie Böden		AAE10-Mg		Tongehalt der Feinerde (%); kalkfreie Böden	
mg Mg/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	mg Mg/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0–24,9	1,2	1,2	1,4	1,5	1,5	0–24,9	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5
25–49,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,5	25–49,9	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5
50–74,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	50–74,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,5
75–99,9	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	75–99,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4
100–124,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	100–124,9	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4
125–149,9	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	125–149,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4
150–174,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	150–174,9	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2
175–199,9	0,4	0,8	1,0	1,0	1,2	175–199,9	0,6	1,0	1,0	1,0	1,2
200–224,9	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0	200–224,9	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2
225–249,9	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0	225–249,9	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0
250–274,9	0,0	0,6	0,6	0,8	1,0	250–274,9	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0
275–299,9	0,0	0,4	0,6	0,8	1,0	275–299,9	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0
300–324,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,8	300–324,9	0,4	0,4	0,6	0,8	1,0
325–349,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,8	325–349,9	0,0	0,4	0,6	0,6	0,8
350–374,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	350–374,9	0,0	0,4	0,4	0,6	0,8
375–399,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	375–399,9	0,0	0,0	0,4	0,4	0,6
400–424,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	400–424,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6
425–449,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	425–449,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
≥ 450	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	≥ 450	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Die Korrekturfaktoren wurden unverändert aus den Grundlagen für die Düngung der Reben (Spring et al. 2003) übernommen.

4.5 Die Ermittlung des Düngebedarfs an P, K und Mg

Die Grundlage zur Ermittlung des Düngebedarfes an P, K und Mg ist die Bodenuntersuchung, die eine Einschätzung der Bodenversorgung zulässt. Sie dient insbesondere dazu, die Bodengehalte auf das gewünschte Niveau (Versorgungsklasse C) einzustellen. Das Vorgehen zur Ermittlung des Düngebedarfs kann Abbildung 11 entnommen werden:

Der Nährstoffentzug entspricht dem Entzug der gesamten Pflanze (Bruttoentzug durch Pflanzenteile, die potenziell das Feld verlassen können), da für ein optimales Pflanzenwachstum alle Pflanzenteile mit Nährstoffen aus dem Boden versorgt werden müssen. Der Bedarf der Pflanzenwurzeln, die auf dem Feld bleiben, wird nicht berücksichtigt. Die Werte, die für die Ermittlung des Düngebedarfs bei den einzelnen Kulturen einzusetzen sind, können aus den Kulturmodulen entnommen werden. Sie sind mit Normdüngung bezeichnet.

4.6 Spezielle Hinweise zum Einsatz von P-, K- und Mg-Düngern

Das **Nährstoffaneignungsvermögen** der verschiedenen Kulturpflanzen ist unterschiedlich. Es hängt stark von der Form und der Länge des Wurzelsystems ab. Der optimale Nährstoffgehalt, der in enger Beziehung zur Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung steht, ist daher je nach Kulturart verschieden.

Der **optimale Nährstoffgehalt des Bodens** bezüglich P, K und Mg wurde auf Pflanzenarten mit einem mittleren bis guten Nährstoffaneignungsvermögen abgestimmt. Bei diesen Kulturen entspricht die Düngung dem Entzug der Pflanzen. Wintergetreide und Gräser haben mit ihrem sehr feinen und weit verzweigten Wurzelsystem ein sehr gutes Nährstoffaneignungsvermögen. Dies gilt auch für tiefwurzelnende Kulturen (z. B. Rüben), die einen grossen Teil des K tieferen Bodenschichten entnehmen. In diesen Fällen kann die Düngung in einem genügend versorgten Boden (Ver-

Düngebedarf	=	Normdüngung der Kultur ¹	*	Korrekturfaktor
(kg P/ha, kg K/ha, kg Mg/ha)		(kg P/ha, kg K/ha, kg Mg/ha)		(gemäss Kapitel 4.1 bis 4.4)
Wird gedeckt durch: - Ernterückstände Vorkultur - Hofdünger - Recyclingdünger - Mineraldünger		Entspricht dem gesamten Entzug und wird berechnet aus dem Ertrag (standortkorrigiert) und dem Nährstoffgehalt der Pflanze (ohne auf dem Feld verbleibende Wurzeln), korrigiert mit kulturspezifischen Eigenschaften. (siehe Module der Kulturgruppen)		Korrektur zur Erreichung bzw. Erhaltung der gewünschten Bodenversorgung (Versorgungsklasse C), abhängig von: - Analysenmethode - Kulturgruppe

¹ Die Normdüngung der Kulturen ist in den Kulturmodulen aufgeführt.

Abbildung 11 | Schema zur Ermittlung des Düngebedarfs an P, K und Mg.



Abbildung 12 | Phosphormangel bei jungen Maispflanzen. Rotfärbung der Blätter und Rückstand in der Entwicklung (links) im Vergleich zu ausreichend versorgten Pflanzen bei Versorgungsklasse C (rechts) zum selben Zeitpunkt (Foto: René Flisch, Agroscope).



Abbildung 13 | Kaliummangel bei Kartoffeln. Gelbfärbung mit anschliessender Nekrose beginnend beim Blattrand auf älteren Blättern (Foto: René Flisch, Agroscope).

sorgungsklasse C) geringer als der Nährstoffentzug sein, ohne dass negative Auswirkungen zu erwarten sind. Im Gegensatz dazu benötigen Pflanzen mit einem schwächer ausgebildeten Wurzelsystem (z.B. Kartoffeln oder flachwurzeln Gemüsesorten) eine höhere Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung. Damit auch diese Pflanzen ihren Nährstoffbedarf decken können, ist die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung zeitlich befristet zu erhöhen: Eine allfällig erhöhte Düngermenge ist im Düngungsplan bei den Folgekulturen zu berücksichtigen.

Mineralische P-Dünger werden in der Regel vor der Grundboden- oder vor der Saatbettbereitung ausgebracht. Bezüglich Wahl der P-Form sind die Angaben im Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Kapitel 4.2.2, zu beachten.

Um **K-Luxuskonsum** durch einige Futterpflanzen zu verhindern, der meist den Mg-Gehalt in der Pflanze verringert, sind mineralische K-Gaben von mehr als etwa 200 kg K_2O/ha in zwei Teilgaben auszubringen (z.B. bei Vegetationsbeginn und nach der zweiten Nutzung). Im Acker- und Gemüsebau sind mögliche Salzsäuren bei empfindlichen Kulturpflanzen und/oder ein K-Überschuss in den Pflanzen zu verhindern, indem K-Gaben in mineralischer Form auf 300 kg K_2O/ha beschränkt werden. Höhere K-Gaben sind mit Vorteil teilweise in Form von Hofdünger oder zu einer Gründüngung zu verabreichen. Auf sandigen Böden ist die K-Düngung im Spätwinter oder Frühjahr durchzuführen; dadurch können nennenswerte K-Verlagerungen in tiefere, nicht durchwurzelbare Bodenschichten verhindert werden. Bei der Wahl der mineralischen Dünger sind ihre Zusammensetzung und Eigenschaften zu beachten, insbesondere bei chloempfindlichen Kulturen (siehe Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Kapitel 4.2).

Mg ist im Boden relativ mobil. Daher ist Folgendes zu beachten, um **Mg-Auswaschungsverluste** zu vermeiden: Wasserlösliche Mg-Dünger (Magnesiumsulfat) sind – äh-

lich wie N-Dünger – kurz vor einem grösseren Bedarf der Kulturen einzusetzen. Zur Verbesserung der mittel- und langfristigen Mg-Versorgung des Bodens sind mindestens teilweise weniger lösliche Mg-Formen wie Magnesiumoxid (MgO) oder Magnesiumkarbonat (z.B. $MgCO_3$ in Dolomitmalk) zu wählen (siehe Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Kapitel 4.2.4).

Bei **Betrieben mit überversorgten Böden**, kombiniert mit Tierhaltung, fallen unter Umständen Nährstoffmengen in Hofdüngern an, die den Düngebedarf deutlich übersteigen. Grundsätzlich müssten auf solchen Betrieben die überflüssigen Nährstoffe weggeführt werden. Eine konsequente Wegfuhr überschüssiger Nährstoffe in Hofdüngern (z.B. P bei phosphorübersorgten Böden) kann jedoch dazu führen, dass dadurch ein Defizit bei einem anderen Nährstoff (z.B. N) entsteht. In solchen Fällen ist ein agronomisch und ökologisch vertretbarer Kompromiss für die Hofdüngerverteilung innerhalb des Betriebes und der Hofdüngerverfuhr zu finden. Eine Düngung über 80 % des Pflanzenbedarfs (Korrekturfaktor 0,8) soll bei ausschliesslicher Fütterung mit betriebseigenen Futtermitteln nicht überschritten werden. Erfolgt die Fütterung auch mit betriebsfremden Futtermitteln (inkl. Kraftfutter!), ist aus der Sicht einer optimalen Ernährung der Pflanzen und aus ökologischen Gründen mit dem aufgrund des Bodengehaltes korrigierten Düngebedarf zu rechnen, d.h. die überschüssigen Nährstoffe bzw. Hofdünger sind vom Betrieb wegzuführen.

Ein geeignetes Hilfsmittel für Hofdüngerverschiebungen ist das im Landwirtschaftsgesetz verankerte Informationssystem HODUFLU (BLW 2012).

4.7 Weitere Nährstoffe und Spurenelemente

4.7.1 Stickstoff

Die Bestimmung des mineralischen N-Gehaltes des Bodens (N_{min}) dient der Optimierung der N-Düngung, insbesondere im Acker- und Gemüsebau. Die kultur- und zeitbezogene Berücksichtigung des N_{min} -Gehaltes des Bodens bei der Bemessung der N-Gaben ist in den Modulen zu den einzelnen Kulturgruppen dargestellt. Die N_{min} -Methode kann auch zur Untersuchung ökologischer Fragestellungen gute Dienste leisten, z.B. zur Beurteilung des im Herbst nach der Ernte im Boden verbleibenden und auswaschungsgefährdeten mineralischen N. Sie ist jedoch nicht geeignet, um nach der Düngung oder nach der Ernte einer Kultur nachträglich die Zweckmässigkeit der verabreichten N-Düngung zu beurteilen.

4.7.2 Schwefel

Im Zuge der Umstellung auf fossile Brennstoffe mit reduziertem S-Gehalt hat in Westeuropa der Ausstoss von S in die Atmosphäre deutlich abgenommen. Bis in die Achtzigerjahre konnte die mit dem Niederschlagswasser eingetragene S-Menge (30–50 kg S/ha, teilweise bis zu 100 kg S/ha) selbst bei schwefelbedürftigen Kulturarten einen hohen Anteil des S-Bedarfes decken. Verschiedenen Infor-



Abbildung 14 | Schwefelmangel bei Kohlrabi (schwefelfreie Düngung in der Bildmitte): Die Anwendung von sulfathaltigen P-, K- und Mg-Düngern trägt zur Verhinderung von S-Mangel bei (Foto: Hanspeter Buser, Agroscope).

mationsquellen zufolge liegt der jährliche S-Eintrag aus der Luft heute in vielen Regionen unter 10 kg S/ha.

Die organische Substanz des Bodens ist gegenwärtig die wichtigste natürliche S-Quelle. Mit Ernterückständen, Hof- und Recyclingdüngern wird dem Boden wieder organisch gebundener S zugeführt.

Nicht selten treten heute bei schwefelbedürftigen Kulturarten wie Raps, verschiedenen Kohlgewächsen, Leguminosen und Liliengewächsen wie Zwiebeln und Lauch Symptome von S-Mangel in Erscheinung, da der weitaus grösste Teil des S-Vorrates im Boden in organischer Form vorliegt (Humus, organische Dünger) und vor der Aufnahme durch die Pflanzen mineralisiert werden muss. Die Mineralisierung läuft parallel zur N-Mineralisierung. Das dabei entstehende Sulfat (SO_4^{2-}) verhält sich im Boden sehr ähnlich dem Nitrat; es ist ebenso auswaschungsgefährdet wie das Nitrat.

Erfahrungsgemäss treten Engpässe in der S-Versorgung bei schwefelbedürftigen Kulturen vor allem im Frühjahr auf. In niederschlagsreichen Gebieten, wie sie in der Schweiz vorherrschend sind, wird ein grosser Teil des im Spätherbst im Oberboden noch vorhandenen pflanzenverfügbaren Sulfates in tiefere Bodenschichten verlagert. Dort ist es für die Wurzeln der meisten Kulturarten im darauf folgenden Frühjahr nicht mehr erreichbar. Bei den zu Vegetationsbeginn noch tiefen Bodentemperaturen setzt die Mineralisierung von S aus der organischen Substanz erst verzögert ein.

Abgesehen von humusarmen Böden ist S-Mangel während der Sommer- und Herbstmonate selbst bei schwefelbedürftigen Arten eher selten, da bei den erhöhten Bodentemperaturen aus der organischen Bodensubstanz fortlaufend Sulfat durch Mineralisierung freigesetzt wird. Während sehr niederschlagsreicher Perioden und unmit-

Tabelle 19 | Kriterien zur Beurteilung des S-Angebots des Bodens mit Hilfe einer Punkteskala.

Kriterien	Ausprägung des Kriteriums	Punkte zur S-Versorgung
Humusgehalt des Bodens (%)	< 2	1
	2–5	3
	> 5	5
Tongehalt des Bodens (%)	< 10	1
	10–20	2
	20–30	3
	> 30	5
Skelettgehalt des Bodens (Volumen-%)	> 30	1
	10–30	3
	< 10	5
pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens (cm)	10–30	1
	31–70	5
	> 70	7
Niederschläge von Oktober (Vorjahr) bis März (mm)	> 540	1
	370–540	3
	< 370	5
Hofdüngereinsatz	nie	1
	weniger als einmal in drei Jahren	3
	mindestens einmal in drei Jahren	5
Abweichung der gedüngten von der vorgesehenen N-Menge ¹	Erhöhung > 40 kg N/ha	1
	Abweichung +/- 40 kg N/ha	3
	Reduktion > 40 kg N/ha	5

¹ N-Düngermenge abgeleitet mit Hilfe der Schätz- oder der N_{\min} -Methode (siehe Kulturmodule).

Tabelle 20 | Korrekturfaktoren der S-Düngung nach S-Angebot des Bodens und S-Entzug der Kulturen.

S-Bedarf der Kultur ¹	Punktzahl für das S-Angebot des Bodens (Tabelle 19)	Korrekturfaktor für den S-Bedarf der Kultur ¹
Starkbedürftige Kulturen: > 60 kg S/ha		
z. B. Raps, Leguminosen, Kohlkopffarten, Sellerie	< 15	0,75
	15–23	0,50
	> 23	0,25 ²
Mittelbedürftige Kulturen: 25–60 kg S/ha		
z. B. Getreide, Zucker- und Futterrüben, Mais, Erbsen, Bohnen, Grünland, Spargeln, Zwiebeln	< 14	0,70
	14–20	0,50
	> 20	0
Wenigbedürftige Kulturen: < 25 kg S/ha		
z. B. Kartoffel, Kopf- und Feldsalat	< 13	0,5
	13–18	0
	> 18	0

¹ Der S-Bedarf (S-Entzug, Normdüngung) der Kulturen ist in den Kulturmodulen enthalten oder kann bei den Kulturverantwortlichen von Agroscope nachgefragt werden.

² Korrekturfaktor = 0, nur falls mehr als einmal in drei Jahren schwefelhaltige, organische Dünger (z. B. Hofdünger) eingesetzt werden.

telbar anschliessend können dennoch Engpässe in der S-Versorgung eintreten.

Verschiedene Düngungsversuche haben gezeigt, dass sich S-Mangel in kritischen Phasen durch die Anwendung der Hauptnährstoffe P, K und Mg in der Sulfatform (Superphosphat, Kaliumsulfat, Patentkali etc.) wirksam verhindern lässt (Abbildung 14). Auch N-Gaben in Form von Ammonsulfat leisten einen zusätzlichen Beitrag zur Deckung des S-Bedarfes.

Die Pflanze nimmt den S in Form von Sulfat auf. Es ist daher naheliegend, das Sulfat im Extrakt von N_{\min} -Proben zu bestimmen (S_{\min} -Methode). Das Ergebnis wird in der Regel als S_{\min} -Wert bezeichnet. Die Interpretation der S_{\min} -Werte scheint jedoch aufgrund der Erfahrungen in Deutschland deutlich weniger sicher als diejenige der N_{\min} -Werte zu sein.

Als Alternative zu S_{\min} kann durch die Kombination von Eigenschaften verschiedener Einflussfaktoren des Standorts und der Bewirtschaftung das Potenzial zur Deckung des S-Bedarfs der Kulturpflanzen ausreichend genau abgeschätzt werden. Als Grundlage dienen dabei der Humus-, Ton- und Skelettgehalt sowie die Gründigkeit des Bodens, die Winter- und Frühjahrsniederschläge, die Häufigkeit des Hofdüngereinsatzes und die gedüngte N-Menge (Tabelle 19). Der S-Düngebedarf kann in Abhängigkeit des geschätzten S-Angebots aus dem Boden und dem S-Bedarf der Kulturen (siehe Kulturmodule) abgeleitet werden (Tabelle 20; Pellet *et al.* 2003a und 2003b).

4.7.3 Spurenelemente (Mikronährstoffe)

Bei hohen Erträgen und speziellen Boden- und Bewirtschaftungsbedingungen können auch Spurennährstoffe ins Minimum geraten. In Ausnahmefällen (anspruchsvolle Kulturen, erhöhtes Mangelrisiko) ist es notwendig, den Gehalt an Spurenelementen, insbesondere B und Mn, im Boden zu bestimmen.

Spurenelemente werden im Vergleich zu den Hauptnährstoffen in geringen Mengen aufgenommen. Der Bedarf variiert zwischen den einzelnen Spurenelementen deutlich. Bezüglich der Feldabfuhr mit den Ernteprodukten nimmt Fe mit bis zu 1 kg/ha eine Spitzenstellung ein, gefolgt von Mn, B, Zn und Mo, die von den meisten Kulturarten in Mengen von wenigen Gramm je Hektare aufgenommen werden. Es sei angemerkt, dass es sich bei diesen Angaben um Grössenordnungen handelt und dass die Aufnahme von Spurenelementen stark kulturabhängig ist.

Sand- und Moorböden weisen von Natur aus niedrige Gehalte an Spurenelementen auf. Die meisten übrigen acker- und gemüsebaulich genutzten Böden enthalten ausreichende Reserven an Spurenelementen. Ungünstige pH-Werte, Bodenverdichtung, Bodenvernässung oder Trockenheit schränken jedoch deren Löslichkeit im Boden und die Pflanzenverfügbarkeit stark ein.

Die Pflanzenverfügbarkeit von Spurenelementen lässt sich durch eine schonende Bodenbearbeitung, eine bedarfsge-

rechte Bewässerung und die Steuerung des pH-Wertes durch gezielte Düngungsmassnahmen verbessern. Durch eine standortangepasste Auswahl der Düngerformen sowie eine gezielte Kalkung muss der pH-Wert so weit wie möglich im optimalen Bereich stabilisiert werden (siehe Kapitel 5).

In kurzfristigen Mangelsituationen steht die Anwendung von Spurenelementen durch Blattdüngung im Vordergrund. Dabei ist zu beachten, dass die Spanne zwischen Mangel und Überversorgung bei Spurenelementen sehr eng ist. Bei ungezielter Anwendung von spurenelementhaltigen Düngern können leicht Überschusssituationen eintreten, die bei empfindlichen Kulturen oftmals mit Pflanzenschäden verbunden sind.

Bewässerte, sandige oder sehr saure, respektive sehr alkalische und humusreiche Böden neigen wegen Auswaschung, respektive Festlegung, zu B- und Mn-Mangel. Viele der verwendeten Mehrnährstoffdünger enthalten B; beim Verzicht auf die Düngung mit borhaltigen Düngern erhöht sich die Gefahr von B-Mangel (Abbildung 15).

Unter speziellen Bedingungen ist eine Düngung mit B oder Mn notwendig. Zu borbedürftigen Kulturen (Rüben, Raps, Sonnenblumen, Reben) ist eine B-Gabe in der Grössenordnung von 1,5–2 kg B pro Hektare empfehlenswert. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass unsachgemässe Kalkgaben zu ernsthaften Schwierigkeiten bezüglich der B- und Mn-Versorgung der Pflanzen führen können. Tabelle 21 gibt Auskunft über die Interpretation der Bodenuntersuchungsergebnisse und die Bemessung allfälliger B- oder Mn-Gaben aufgrund einer Bodenanalyse in Abhängigkeit des Humusgehaltes, der Bodenreaktion und der Bedürftigkeit der Kulturen.



Abbildung 15 | Bormangel (z. B. nach zu hohen Kalkgaben) führt bei Zuckerrüben zu Herzfäule (Foto: René Flisch, Agroscope).

Nebst B und Mn ist eine Düngung mit Spurenelementen nur unter ganz speziellen Standort- oder Produktionsbedingungen notwendig. Die Untersuchung des Bodens auf weitere Spurenelemente ist nur ausnahmsweise nach Rücksprache mit Beratungsdiensten oder Agroscope angezeigt.

Tabelle 21 | Bemessung der B- und Mn-Düngung aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen, der Bodeneigenschaften und der Bedürftigkeit der Kulturen (Analysemethoden siehe Tabelle 6).

Nährstoff	Gehalt des Bodens (mg/kg)		Bezeichnung	Versorgungs-kategorie	Humusgehalt des Bodens < 10 %		Humusgehalt des Bodens ≥ 10 %			
					Wenig bedürftige Kulturen	Bedürftige Kulturen ¹	Saure und schwach saure Böden		Neutrale und alkalische Böden	
							Wenig bedürftige Kulturen	Bedürftige Kulturen ¹	Wenig bedürftige Kulturen	Bedürftige Kulturen ¹
Bor (B)	< 0,6		arm	A	1,5–2,0 kg B/ha*	2,5–3,0 kg B/ha*	1,5–2,0 kg B/ha*	2,5–3,0 kg B/ha*	1,5–2,0 kg B/ha*	2,5–3,0 kg B/ha*
	0,6–1,5		mässig	B	–	1,5–2,0 kg B/ha*	–	2,0–2,5 kg B/ha*	–	2,0–2,5 kg B/ha*
	1,6–2,0		genügend	C	–	1,0 kg B/ha*	–	1,0 kg B/ha*	–	1,0 kg B/ha*
	2,1–5,0		Vorrat	D	–	–	–	–	–	–
	> 5,0		angereichert	E	–	–	–	–	–	–
Mangan (Mn)	austauschbar	leicht reduzierbar								
	< 2		arm	A	20–40 kg Mn/ha*	30–50 kg Mn/ha*	30–50 kg Mn/ha*	40–60 kg Mn/ha*	10–15 kg/ha Mangansulfat ²	
	> 2	< 50	mässig	B	20–40 kg Mn/ha*	20–40 kg Mn/ha*	20–40 kg Mn/ha*	20–40 kg Mn/ha*	10–15 kg/ha Mangansulfat ²	
> 2	> 50	genügend	C	–	–	–	–	–	–	

¹ B: Rüben, Raps, Sonnenblumen, Sellerie, Reben, Kernobst, Steinobst; Mn: Getreide, Leguminosen, Spinat, Rüben, Kernobst, Steinobst.

² Eine Bodendüngung ist unter diesen Bodenverhältnissen meistens wirkungslos. → Blattdüngung (in 600–1000 l Wasser). Oft ist eine mehrmalige Anwendung dieser Mengen notwendig. Anstelle von Mangansulfat können auch andere für die Blattdüngung geeignete Mn-Dünger eingesetzt werden (Gehalte und Anwendungsvorschriften beachten).

* Bodendüngung: B kann als Borax gestreut, als Borsäure gespritzt (auf den Boden!) oder in Form von ausreichend borhaltigen Mehrnährstoffdüngern ausgebracht werden.

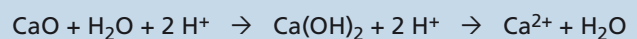
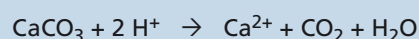
5. Kalkung

Der Kalkzustand des Bodens ist ein wichtiger Faktor für die nachhaltige landwirtschaftliche Landnutzung. Er wird entscheidend durch das Muttergestein, aus dem der Boden entstanden ist, durch die Niederschlagsverhältnisse sowie durch die Bewirtschaftungsweise bestimmt, und er beeinflusst verschiedene für das Pflanzenwachstum wichtige Bodenprozesse (siehe Kapitel 2.4).

Kalkverluste treten vor allem durch Auswaschung, den Neutralisationsbedarf im Boden sowie den Entzug von Ca durch die Kulturen auf. Die jährlichen Kalkverluste können einige bis mehrere Hundert Kilogramm CaCO₃ pro Hektare betragen und werden meist durch den Einsatz von Hof- und Recyclingdüngern, kalkhaltigen Mineraldüngern oder sporadischen kleinen Kalkgaben (Erhaltungskalkung) kompensiert. Zur Verbesserung des Kalkzustandes mehr oder weniger saurer Böden ist eine gezielte Kalkdüngung notwendig (Aufkalkung). Die Höhe und Häufigkeit der Kalkgaben ist vom pH-Wert, der Basensättigung und der Bodenart abhängig. Es ist zu beachten, dass durch Kalkgaben der pH-Wert des Bodens erhöht wird und damit die Verfügbarkeit gewisser Nährstoffe verändert werden kann.

Kalkdünger sind basisch wirksame Stoffe, die sowohl die Konzentration der Wasserstoff-Ionen (H⁺) verringern und damit den pH-Wert steigen lassen als auch die Sorption der Ca²⁺- bzw. Mg²⁺-Ionen erhöhen. Diese Eigenschaften besitzen Calciumoxide (CaO), Calciumhydroxide (Ca(OH)₂) oder Calcium- bzw. Magnesiumkarbonate (CaCO₃, MgCO₃). Die Kalkmengen sind gemäss internationaler Usanz in der Form CaO (Calciumoxid) angegeben. Die neutralisierende Wirkung erfolgt durch die Verbindungen Calciumkarbonat (CaCO₃) und Calciumhydroxid (Ca(OH)₂), das im Boden aus CaO entstehen kann.

Summenformeln für die Neutralisationswirkung von Kalkdüngern:



Beim Gips (CaSO₄ · 2 H₂O) handelt es sich nicht um einen Kalkdünger, da er den pH-Wert des Bodens nicht verändert, sondern um einen Ca-/S-Dünger.

5.1 Bemessung der Kalkgaben aufgrund des pH-Wertes

Wird eine Verbesserung des Kalkzustandes angestrebt, kann eine grobe Bemessung der notwendigen Kalkgabe aufgrund des $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ -Wertes des Bodens vorgenommen werden (Tabelle 22). Es ist zu beachten, dass der Kalkbedarf mit steigendem Tongehalt zunimmt, mit steigendem Humusgehalt hingegen abnimmt.

Tabelle 22 | Grobe Bemessung von Kalkgaben aufgrund des pH-Wertes und des Tongehaltes des Bodens sowie der Bodennutzung.

Ton-, Humusgehalt	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ des Bodens	Aufkalkung ¹		Erhaltungskalkung	
		dt CaO/ha		dt CaO/ha alle 4–5 Jahre	dt CaO pro Hektare und Jahr
		Ackerbau Feldgemüse Rebbau Obstbau	Naturwiesen	Naturwiesen	Obstbau
< 10 % Ton	< 5,3	20	10	–	2,5–3,0
	5,3–5,8	15	7,5 ²	5–7 ³	1,0–2,5
	5,9–6,2	10	5 ²	5–7 ³	0,5–1,0
	> 6,2	0	0	–	0–0,75
10–20 % Ton	< 5,3	25	12,5	–	3,0–4,0
	5,3–5,8	20	10	6–9 ³	1,5–2,5
	5,9–6,2	15	7,5	6–9 ³	0,75–1,25
	> 6,2	0	0	–	0–1,0
20–30 % Ton	< 5,3	30	15	–	3,5–4,25
	5,3–5,8	25	12,5 ²	8–10 ³	2,5–3,5
	5,9–6,2	20	10 ²	8–10 ³	1,0–1,5
	> 6,2	0	0	–	0–1,25
> 30 % Ton	< 5,3	35	20	–	5–6
	5,3–5,8	30	17,5 ²	9–12 ²	2–5
	5,9–6,7	25	15 ²	9–12 ²	1–2
	> 6,7	0	0	–	0–1,5
≥ 10 % Humus		0	0	–	

¹ Im Futterbau sind Pflanzenbestand und an den Standort angepasste Pflanzenarten zu berücksichtigen. Im Obstbau wird der Ca-Gehalt des AAE10-Extraktes für die Kalkung nicht mehr berücksichtigt (Bertschinger *et al.* 2003). Das Ziel der Kalkung ist die Veränderung des pH-Wertes (H^+ -Ionen) und nicht des Ca-Gehaltes im Boden.

² In der Regel genügt eine Erhaltungskalkung alle vier bis fünf Jahre.

³ Die Erhaltungskalkung wird empfohlen, falls eine fortschreitende Versauerung beobachtet wird.

Als Hilfsmittel zur Bemessung der Erhaltungskalkung kann nebst dem Bedarf der Kulturen die Wirkung der eingesetzten Mineraldünger abgeschätzt werden. Die theoretische saure bzw. alkalische Wirkung eines Düngers – ausgedrückt in Kilogramm CaO – kann mit der Formel nach Sluijsmans (1970) wie folgt berechnet werden:

$$E \text{ (kg CaO)} = 1,0 \times \text{CaO} + 1,4 \times \text{MgO} + 0,6 \times \text{K}_2\text{O} + 0,9 \times \text{Na}_2\text{O} - 0,4 \times \text{P}_2\text{O}_5 - 0,7 \times \text{SO}_3 - 0,8 \times \text{Cl} - n \times \text{N}$$

($n = 0,8$ für Wiesen und $1,0$ für offenes Ackerland)

Bei positivem E ist eine basische und bei negativem E eine saure Wirkung vorhanden.

5.2 Bemessung der Kalkgaben aufgrund der Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung

Tonkolloide und die organische Substanz adsorbieren an ihrer negativ geladenen Oberfläche Kationen aus der Bodenlösung. Sinkt die Konzentration der Kationen in der Bodenlösung ab, tauschen die Ton-Humus-Komplexe die Nährstoffe wieder mit der Bodenlösung; die Nährstoffe können dann von den Wurzeln aufgenommen werden.

Die Basensättigung (BS) gibt den Prozentanteil der Austauschplätze gemäss Kationenaustauschkapazität (KAK) an, die mit den Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) belegt sind. Je geringer die BS, desto grösser ist die Wasserstoffionenkonzentration in der Bodenlösung respektive der Säuregrad des Bodens, was bei der Bestimmung des Kalkbedarfes zu berücksichtigen ist.

Für eine gezieltere Bemessung der Kalkgaben dient die KAK bzw. die daraus errechnete BS des Bodens als Grundlage. Die Beurteilung des Kalkzustandes in Abhängigkeit dieser beiden Bodeneigenschaften sowie der Bewirtschaftung ist in Tabelle 23 und Tabelle 24 (Walther *et al.* 1987; Collaud *et al.* 1990) dargestellt. Es ist zu beachten, dass bei futterbaulicher Nutzung des Bodens in der Regel bei einer BS unter 50 % eine Kalkdüngung notwendig sein kann. Bei den übrigen Kulturen liegt der entsprechende Wert bei 60 %.

Tabelle 23 | Beurteilung des Kalkzustandes des Bodens aufgrund der Basensättigung.

Basensättigung (%)			Bezeichnung des Kalkzustandes des Bodens	Versorgungs-kategorie
Offenes Ackerland und Kunstwiesen	Naturwiesen	Rebbau Obstbau		
< 40	< 30	< 40	sehr arm	A
40–49	30–39	40–49	arm	A
50–59	40–49	50–59	mässig	B
60–79	50–79	60–79	genügend	C
≥ 80	≥ 80	≥ 80	Vorrat	D

Tabelle 24 | Bemessung von Kalkgaben aufgrund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität des Bodens.

Die Gaben wurden für die Bodenschicht von 0–20 cm Tiefe berechnet. Werden tiefere Bodenschichten aufgekalkt (z. B. bei Neuanlagen im Reb- und Obstbau), sind die angegebenen Mengen entsprechend anzupassen. Die Umrechnungsfaktoren für verschiedene Kalkformen sind im Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Tabelle 14, enthalten.

Basensättigung (%)			Kalkgabe (dt CaO/ha) je nach Kationenaustauschkapazität (cmol+/100 g Boden) ¹			
Offenes Ackerland und Kunstwiesen	Naturwiesen	Rebbau Obstbau	< 10	10–14,9	15–19,9	≥ 20
≥ 60	≥ 50	≥ 60	0	0	0	0
50–59	40–49	50–59	7,3	12,5	15,5	20,0 ²
40–49	30–39	40–49	10,0	19,0	21,5 ²	28,0 ²
< 40	< 30	< 40	13,0	24,5 ²	27,5 ²	36,0 ²

¹ Früher wurde anstelle von cmol+/100 g die Einheit mäg/100 g verwendet. Die Werte bleiben dieselben.

² Aufteilung auf zwei bis drei Gaben im Abstand von zwei bis vier Jahren. Vor dem Ausbringen der zweiten bzw. dritten Gabe ist eine erneute Bestimmung des pH-Wertes des Bodens empfehlenswert.

5.3 Spezielle Hinweise zur Kalkung

5.3.1 Ackerbau

Der optimale pH-Bereich unserer landwirtschaftlichen Kulturen liegt in einem relativ weiten Bereich zwischen sauer und schwach alkalisch. Ist eine Kalkung nötig, wird sie innerhalb der Fruchtfolge vorzugsweise zu kalkliebenden oder kalkverträglichen Kulturen durchgeführt. Häufigere, kleinere Gaben sind hohen Einzelgaben vorzuziehen, um das Risiko der Immobilisierung von Spurenelementen oder einen «Kalkschock» bei empfindlichen Kulturen zu vermeiden.

Kulturspezifische Kalkgaben bei einem pH-Wert des Bodens über 6,2 sind mit einigen Risiken behaftet und daher nur ausnahmsweise (maximal 10–15 dt CaO/ha) zu verabreichen. Insbesondere in Fruchtfolgen mit Kartoffeln ist auf kulturspezifische Kalkgaben zu verzichten, um wesentliche Ertragseinbussen bei der genannten Kultur – ohne sichtbare Mängel am wachsenden Bestand – zu vermeiden.

5.3.2 Futterbau

Die optimalen pH-Werte liegen für die Naturwiesen meist unter denjenigen für den Ackerbau. Die meisten futterbaulich wertvollen Wiesenpflanzen gedeihen am besten bei schwach saurer bis saurer Bodenreaktion (pH_[H₂O] 5,5–6,7). In diesem pH-Bereich sind auch die meisten Nährstoffe gut pflanzenverfügbar. Unter unseren Klimabedingungen neigen die Böden zu einer langsam fortschreitenden Versauerung. Die Geschwindigkeit dieser Versauerung hängt von den Standortverhältnissen sowie von der Art der Düngung ab. Dies gilt auch für futterbaulich genutzte Böden (Jeangros 2008), weshalb eine regelmässige Kontrolle des pH-Wertes wichtig ist. Sinkt der Boden-pH unter ca. 5,5 (Luzerne: 6,5), nimmt das Wachstum der Leguminosen und ihre symbiontische N-Fixierung ab, was zu einer Ertragsreduktion führen kann. Um dieser natürlichen Versauerung entgegenzuwirken, ist der regelmässige Einsatz kalkhaltiger bzw. basisch wirkender N-, P- und Mg-Dünger und/oder kleinerer Kalkgaben (Erhaltungskalkung) empfehlenswert (Tabelle 22).

Bei pH-Werten unter etwa 5,5 und einer nicht optimalen botanischen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes (z. B. einem zu geringen Leguminosenanteil) ist unter Berücksichtigung der Basensättigung eine gezielte Aufkalkung ins Auge zu fassen (Tabelle 24). Unter solchen Bedingungen kann die Korrektur des pH-Wertes einen positiven Effekt auf den Leguminosenanteil und/oder den Anteil guter Futtergräser haben. Allgemein ist darauf zu achten, dass Kalkmengen von mehr als 15 dt CaO/ha auf mehrere Gaben im Abstand von jeweils zwei Jahren aufgeteilt werden. Der Ca-Gehalt im Futter erlaubt keine gesicherte Aussage über den Säuregrad des Bodens oder den Kalkbedarf, da der Ca-Gehalt des Futters sehr stark von der botanischen Zusammensetzung beeinflusst wird.

Eine Aufkalkung wird im Futterbau bei Böden mit einem pH-Wert über 5,5 oder bei tieferen pH-Werten und ausgeglichener Pflanzenbestand nicht empfohlen. Verschiedene Versuchsreihen haben gezeigt, dass bei pH-Werten über etwa 5,5 nur sehr selten ein positiver Effekt der Kalkdüngung auf den Ertrag der Wiesen beobachtet werden kann (Schechtner 1993; Fabre und Kockmann 2006; Huguenin-Elie *et al.* 2015). Zu hohe Kalkmengen führen sogar zu einer Verschlechterung der Nährstoffverfügbarkeit (ab einem pH über ca. 7,0).

Bevor eine Aufkalkung auf Futterbauflächen durchgeführt wird, empfiehlt es sich, die zu erwartenden Vorteile in Abhängigkeit der vorliegenden Situation abzuschätzen:

- In Regionen mit weniger futterwüchsigem Klima, wo die intensiv nutzbaren Gräser fehlen, wird die Futterproduktion durch die Temperatur, Niederschlagsmenge, Vegetationsdauer und die Dauer der Schneedeckung stark eingeschränkt. Gräser, die unter weniger günstigen Bedingungen noch vorkommen, sind weniger intensiv nutzbar, ertragsschwächer und haben deshalb einen kleineren Nährstoffbedarf. Je schlechter die klimatischen Voraussetzungen für das Wachstum sind, desto kritischer sind die Erfolgsaussichten einer Aufkalkung zu beurteilen.
- Degenerierte Pflanzenbestände als Folge von Nährstoffüberschüssen, nicht standortgerechter Nutzung oder Bodenverdichtungen können mit Kalk nicht verbessert werden. Bei intensiv genutzten Naturwiesen auf schwach sauren bis sauren Standorten eignet sich die Kalkung alleine nicht, um etablierte Bestandeselemente von scharfem oder kriechendem Hahnenfuss zurückzudrängen (Huguenin-Elie *et al.* 2015).

5.3.3 Gemüsebau, einjährige Beerenkulturen, Gewürz- und Medizinalpflanzen

Bei diesen Kulturgruppen spielt die Versorgung mit P und Spurenelementen eine entscheidende Rolle. Die Verfügbarkeit dieser Elemente ist gesamthaft betrachtet bei pH-Werten zwischen 6,0 und 7,0 optimal (Abbildung 2).

In basischen Böden liegt ein erhöhter Anteil des P in Form von schwer löslichen Calciumphosphaten vor. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Verfügbarkeit der Spurenele-

mente Fe, Mn, B, Zn und Cu ab, diejenige von Mo nimmt zu. Eine Bodenversauerung ist mit einem deutlichen Anstieg der Löslichkeit von Mn und Al verbunden, was in vernässten Böden bei empfindlichen Gemüsearten, zum Beispiel bei Salaten, Symptome von Toxizität auslösen kann (Neuweiler 2011).

Die Erhaltungskalkung hat möglichst in kleine Einzeldosen, unterteilt vor dem Anlegen von Zwischenbegrünungen bzw. kalkliebenden Kulturen wie gepflanzten Kohlarten, zu erfolgen, um allfällige negative Auswirkungen eines kurzfristigen Anstieges des pH-Wertes bei empfindlicheren Kulturen zu vermeiden.

Beerenkulturen sowie Gewürz- und Medizinalpflanzen haben je nach Art sehr unterschiedliche Bedürfnisse bezüglich pH-Wert und Kalkzustand des Bodens (Carlen 2007) für eine qualitativ und quantitativ zufriedenstellende Produktion. Die Wahl eines geeigneten Standortes kann unter Umständen sinnvoller sein als die Korrektur des pH-Wertes.

5.3.4 Rebbau

Im Rebbau wird bei pH-Werten unter 5,9 eine Aufkalkung empfohlen. Liegt der pH-Wert zwischen 5,9 und 6,5, kann eine Aufkalkung in Frage kommen, meist genügt aber die Verwendung eines kalkhaltigen Düngers im Rahmen der jährlichen Düngung (Erhaltungskalkung). Die Verwendung kalkhaltiger Dünger wird auch bei pH-Werten zwischen 6,5 und 7,0 empfohlen, insbesondere wenn die regelmässigen Bodenanalysen eine Tendenz zur Abnahme des pH-Wertes zeigen. Viele Schweizerische Rebbauböden nördlich der Alpen haben pH-Werte über 7,0. In diesen Fällen wird eine Kalkung oder die Verwendung kalkhaltiger Dünger nicht empfohlen.

Bei einer Remontierung ist die Aufkalkung auch in tieferen Bodenschichten möglich. Hohe Kalkmengen können dabei notwendig werden, wobei grobe Ausmahlungsformen bevorzugt werden. Die Kalkdünger sind in mindestens 30–40 cm Tiefe einzuarbeiten. Wenn immer möglich sollte die Aufkalkung während der Remontierung vorgenommen werden, um Nährstoffungleichgewichte bei bestehenden Kulturen in den obersten Zentimetern des Bodens zu vermeiden. Wenn dennoch eine höhere Kalkgabe unverzichtbar ist, soll diese auf höchstens 20 dt CaO/ha mit grober Ausmahlung des Kalkdüngers beschränkt und auf zwei bis vier Jahre verteilt in den Boden eingearbeitet werden.

Die Aufkalkung kann auch nur unter Berücksichtigung des pH-Wertes erfolgen, obwohl dieses Vorgehen weniger genau, dafür aber einfacher ist (Tabelle 22). Die Wahl der Düngerform ist die gleiche wie oben beschrieben.

Besonders wichtig ist die Kenntnis des Kalkgehaltes im Hinblick auf die Wahl von Rebuterlagen. Bei diesen ist die Kalkverträglichkeit sehr unterschiedlich, weshalb sie gezielt aufgrund der vorliegenden Bodenverhältnisse ausgewählt werden müssen. Alternativ zum Gesamtkalkgehalt

wird im Ausland teilweise der Aktivkalk in der Ton- und Schlufffraktion bestimmt.

5.3.5 Obstbau

Im Obstbau ist ein pH-Wert zwischen 6,0 und 7,5 ideal. Von der Bodenreaktion sind wiederum die biologische Aktivität und die Verfügbarkeit der meisten Nährstoffe abhängig. Eine Erhöhung des pH-Wertes kann über eine Kalkung erfolgen, während eine Absenkung des pH-Wertes, zum Beispiel durch Mulchen oder konsequente Verwendung sauer wirkender Dünger, schwierig ist.

Die in Tabelle 22 angegebenen, jährlichen Kalkmengen entsprechen einer Erhaltungskalkung. Für Aufkalkungen sind grössere Kalkmengen erforderlich, die aufgrund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität berechnet werden. Für die Berechnung einer Aufkalkung sollte ein Experte beigezogen werden.

Da eine Kalkung die Verfügbarkeit von Spurenelementen negativ beeinflussen oder zu Aufnahmekonkurrenz (Antagonismus) mit anderen Nährstoffen führen kann, ist die Notwendigkeit einer Kalkgabe für jeden Standort abzuwägen. Eine übermässige Kalkgabe ist in jedem Fall zu vermeiden.

5.3.6 Beerenkulturen

Für die meisten Beerenkulturen ist ein pH-Wert zwischen 6,0 und 7,5 ideal. Bei höherem pH ist mit Chlorose zu rechnen, bedingt durch die schlechtere Aufnahme von Fe und Mn. Einen abweichenden pH-Optimalbereich haben die Heidelbeeren. Für einen erfolgreichen Anbau von Heidelbeeren braucht es Böden mit einem pH zwischen 4 bis 5, die reich an organischer Substanz sind. Allerdings können Heidelbeeren auch in Böden mit pH-Werten von 6 bis 6,5 angebaut werden, sofern diese kalkfrei sind. In der Schweiz sind solche Böden ausser im Tessin selten zu finden. Falls der pH-Wert nicht angepasst ist, werden für den Anbau von Heidelbeeren aufwändige Bodenzubereitungen notwendig.

6. Bodenfruchtbarkeit und Humusbewirtschaftung

6.1 Der Begriff Bodenfruchtbarkeit

Die Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit ist ein wichtiges Ziel der Düngung. Deshalb wird in diesem Kapitel der Zusammenhang zwischen Düngung und Bodenfruchtbarkeit erläutert und speziell die Humusbewirtschaftung behandelt. Grundlage für die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit bildet die Definition in der schweizerischen Gesetzgebung (VBBo 1998). Boden gilt als fruchtbar, wenn:

- er eine für seinen Standort typische artenreiche, biologisch aktive Lebensgemeinschaft und typische Bodenstruktur sowie eine ungestörte Abbaufähigkeit aufweist

- natürliche und vom Menschen beeinflusste Pflanzen und Pflanzengesellschaften ungestört wachsen und sich entwickeln können und ihre charakteristischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt werden
- die pflanzlichen Erzeugnisse eine gute Qualität aufweisen und die Gesundheit von Menschen und Tieren nicht gefährden
- Menschen und Tiere, die ihn direkt aufnehmen, nicht gefährdet werden

Die Definition ist weit gefasst und bezieht sich deshalb nicht nur auf bewirtschaftete Böden, sondern auch auf Böden natürlicher Biotope.

Für die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit werden in der Regel die verschiedenen Bodenfunktionen beurteilt. Kurz gesagt: Ein Boden gilt dann als fruchtbar, wenn er seine Funktionen den Standortverhältnissen entsprechend erfüllt.

6.2 Bodenfunktionen und Bodeneigenschaften

Im Bodenkonzept für die Landwirtschaft in der Schweiz (Candinas *et al.* 2002), das die notwendigen Grundlagen für die Beurteilung der nachhaltigen Bodennutzung vorstellt, werden sowohl die Funktionen als auch die Eigenschaften von Böden beschrieben.

Mit Ausnahme der Landschaftsvielfalt und des Baugrundes sind Bodenfunktionen (Wasserspeicher, Wärmespeicher, Stoffspeicher, Filterwirkung, CO₂-Senke etc.) an eine oder mehrere chemische, physikalische bzw. biologische Bodeneigenschaften gekoppelt. Veränderungen einer einzelnen Bodeneigenschaft können einen direkten oder indirekten Einfluss auf die Bodenfunktionen haben und sich unterschiedlich stark auswirken. Aus diesem Grund ist die Kenntnis der Beziehungen zwischen den Eigenschaften und den Funktionen eines Bodens eine unabdingbare Voraussetzung für alle Arbeiten zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Bodenqualität. Die im Zusammenhang mit der Düngung wichtigen Bodenfunktionen Stoffumsatz und -abbau sowie Biomasseproduktion von Pflanzen werden von den meisten Bodeneigenschaften beeinflusst. Neben den physikalischen Bodeneigenschaften Gefügebau und Gefügestabilität beeinflusst die Menge und Qualität der organischen Substanz im Boden (vereinfacht: Humusgehalt) die meisten Bodenfunktionen. Während die physikalischen Bodeneigenschaften lediglich indirekt durch Düngungsmassnahmen verändert werden können, lässt sich der Humusgehalt durch Düngung auf vielfältige Weise und teilweise sehr direkt beeinflussen. Die organische Substanz im Boden beeinflusst nicht nur die Speicherkapazität für Nährstoffe und den Stoffumsatz, sondern stellt selbst einen Pool an Nährstoffen – insbesondere N – dar, der durch Mineralisierung pflanzenverfügbar wird. Die N-Wirkung der organischen Bodensubstanz wird in Tabelle 3 und in den Kulturmodulen auch quantitativ berücksichtigt. Im Folgenden wird auf Faktoren zur Förderung und Erhaltung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz fokussiert.

6.3 Langfristige Erhaltung des Humusgehaltes – Entscheidungshilfen und geeignete Massnahmen

6.3.1 Kontrolle des Humusgehaltes über regelmässige Messungen

Für die Beurteilung der Bewirtschaftungswirkungen auf die Veränderung des Humusgehaltes wird im ÖLN auf Ackerflächen eine regelmässige Bestimmung des Humusgehaltes mindestens alle zehn Jahre vorgeschrieben (bei Spezialkulturen gemäss Vorschriften der Organisationen). In den Schweizer Dauerversuchen wurden zwischen den geprüften Bewirtschaftungsverfahren (ohne Berücksichtigung der ungedüngten Kontrollverfahren) relative Veränderungen des Humusgehaltes von bis zu 20 % festgestellt. Mit jährlichen Messungen in Kleinparzellen konnten viele dieser Veränderungen als statistisch signifikant nachgewiesen werden. Wären allerdings nur alle fünf Jahre Messungen gemacht worden, hätten diese Unterschiede meistens auch nach 20 Jahren nicht statistisch signifikant nachgewiesen werden können. Dazu muss auch berücksichtigt werden, dass bei der Untersuchung einer einzelnen Probe, die repräsentativ für eine ganze Praxisparzelle (mit u. U. hoher Bodenvariabilität) entnommen wird, die Nachweis-

genauigkeit eher noch verschlechtert wird. Deshalb geben die vorgeschriebenen regelmässigen Messungen zwar einen nützlichen Hinweis für den Landwirt, sind aber nicht ausreichend, um die Wirkung von Bewirtschaftungseffekten auf die Entwicklung des Humusgehaltes von Böden rechtzeitig und zuverlässig erkennen zu können.

6.3.2 Abschätzung des Einflusses der Bewirtschaftung mittels Humusbilanzierung

Mit dem Ziel, unabhängig von Messungen abschätzen zu können, wie sich Fruchtfolgegestaltung und Bewirtschaftungsweise längerfristig auf den Gehalt von Böden an organischer Substanz auswirken werden (Abbildung 16), wurden verschiedenste, unterschiedlich aufwändige Schätzmethode (Humusbilanzierungsmethoden) entwickelt.

In der Schweiz wurde bereits im Jahre 1997 eine Humusbilanzierungsmethode publiziert (Neyroud *et al.* 1997) und für die Beurteilung der Bodenqualität in Ökobilanzen weiterentwickelt (Oberholzer *et al.* 2006), die nur wenige und leicht verfügbare Informationen zur Bewirtschaftung und zu grundlegenden Bodeneigenschaften benötigt. Bei dieser Methode wird das Ausmass der einzelnen Boden- und

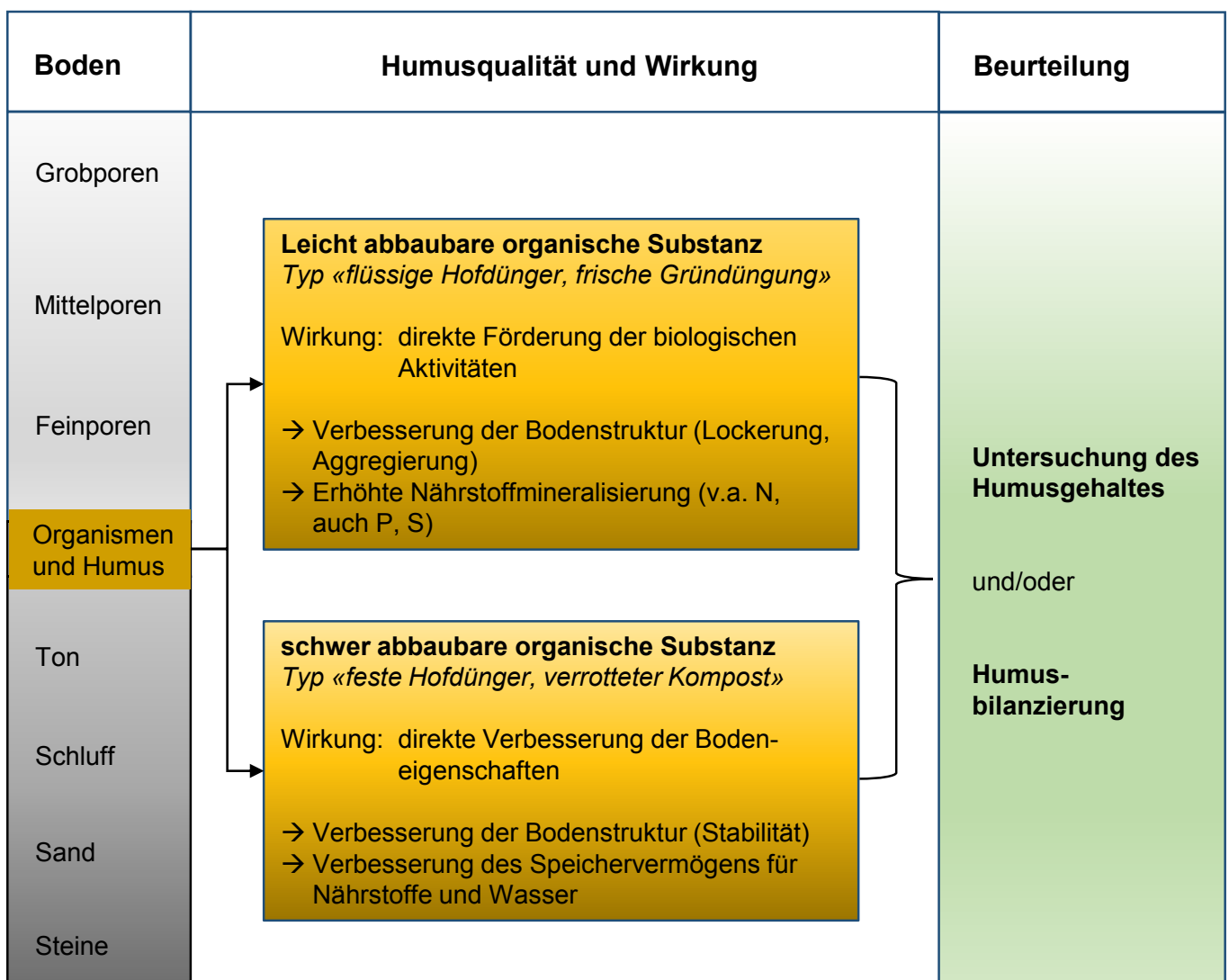


Abbildung 16 | Wirkungen der Zugabe organischer Substanzen auf Humusgehalt und -qualität.

Bewirtschaftungsfaktoren, die zum Humusabbau bzw. zum Humusaufbau beitragen, für jede Parzelle separat abgeschätzt. Damit stellt diese Methode im Prinzip eine Bilanzierung der pro Parzelle zu erwartenden Humusgewinne und -verluste dar. Konkret wird der zu erwartende Humusverlust über die von den Bodeneigenschaften und der Bodenbearbeitungsintensität abhängige Mineralisierungsrate abgeschätzt, die zu erwartenden Humusgewinne über die ober- und unterirdischen Rückstände der angebauten Kulturen sowie die Art und Menge der eingesetzten organischen Dünger ermittelt.

Um die Bewirtschaftung im Hinblick auf die Erhaltung des Humusgehaltes der Böden beurteilen zu können, ist eine regelmässige und vor allem bei Bewirtschaftungsanpassungen wiederholte Berechnung der Humusbilanz des Betriebes zu empfehlen. Falls die geplante Bewirtschaftungsänderung ungünstige Entwicklungen aufzeigt oder die Humusbilanz insgesamt ein negatives Ergebnis aufweist, können mit der Humusbilanzmethode Verbesserungsmaßnahmen geprüft und eingeplant werden.

6.3.3 Ergebnisse und Empfehlungen

Für generelle Aussagen zur Humusentwicklung können Ergebnisse von Humusbilanzrechnungen im Rahmen des schweizerischen Agrarumweltmonitorings auf über 300 Betrieben verwendet werden. Sie zeigen grosse und signifikante Unterschiede zwischen den Betriebstypen. Reine Ackerbaubetriebe weisen im Durchschnitt negative Humusbilanzen auf; bei tierhaltenden Ackerbaubetrieben sind sie hingegen durchweg positiv. Verursacht werden negative Humusbilanzen vor allem durch Fruchtfolgen mit hohem Hackfruchtanteil und wenig Kunstwiesen. Das führt einerseits zu einem geringeren unterirdischen Kohlenstoffeintrag durch die Kulturen, andererseits erhöht die intensivere Bodenbearbeitung den Humusabbau (Mineralisierung). Zusätzlich sind die Mengen an zugeführten organischen Düngern auf Ackerbaubetrieben meist geringer, was selbst durch grössere Mengen an oberirdischen Ernteresten (Stroh, Gründüngungen) nicht kompensiert werden kann. Daraus können einige Grundsätze abgeleitet werden:

- Die Erhaltung eines standorttypisch ausreichenden Humusgehaltes, d. h. einer ausreichenden Menge an abgestorbener organischer Substanz, die verschiedene Bodeneigenschaften unmittelbar durch ihre Eigenschaften oder durch die Bildung von organomineralischen Komplexen verbessert, steht meist im Zentrum der Betrachtungen. Mindestens ebenso wichtig ist allerdings auch, dass mit dem Eintrag an organischer Substanz (inkl. den Ausscheidungen der Wurzeln während der Wachstumsperiode der Kulturen) auch die Bodenorganismen mit Energie und Nährstoffen versorgt (gefüttert) werden, damit sie ihre Wirkung entfalten können.
- Bei einer bestimmten Bewirtschaftungsweise wird sich ein für den Standort (d. h. für bestimmte Klima- und Bodeneigenschaften) typischer Humusgehalt einstellen. Er wird bestimmt durch den Humusumsatz, d. h. das Ausmass des Humusabbaus und die Rückführung organi-

scher Substanz durch Dünger und Pflanzenreste in den Boden.

- Durch die auf den Betriebstyp angepasste Fruchtfolge und die Bodeneigenschaften ist die Humusversorgung eines Bodens zu einem grossen Teil bereits bestimmt. Viehhaltende Betriebe haben meistens einen ausreichenden Anteil an Kunstwiese in der Fruchtfolge, und aus der Tierhaltung fallen Hofdünger an.
- Durch die Wahl der Kulturen wird hauptsächlich die Menge und Qualität des organischen Materials, das über Wurzeln und Ernterückstände in den Boden gelangt, vorgegeben. Von den Ackerkulturen tragen neben den Kunstwiesen Körnermais und Sonnenblumen durch die auf dem Feld verbleibenden Stängel und Blätter am meisten zur Zufuhr von organischer Substanz bei, Zuckerrüben und Kartoffeln am wenigsten, da das Kraut sehr leicht abbaubar ist. Getreide, wenn das Stroh geerntet wird, und Raps liegen dazwischen. Grundsätzlich positiv wirken sich Zwischenkulturen auf die Humusversorgung aus.
- Von den Bewirtschaftungsmaßnahmen ist die Bodenbearbeitung der wichtigste Einflussfaktor: Durch die Bearbeitung wird der Boden einerseits gelockert, was ein erhöhtes Porenvolumen und eine bessere Durchlüftung zur Folge hat; andererseits werden die organischen Substanzen in den Boden eingemischt, freigesetzt oder umverteilt. Beides zusammen macht die organische Bodensubstanz für die Bodenorganismen leichter zugänglich, so dass sie intensiver abgebaut werden kann. Die Bodenbearbeitungsintensität wird teilweise von der angebauten Kultur vorgegeben: So lassen sich z. B. Kartoffeln nicht anbauen, ohne dass beim Pflanzen und bei der Ernte der Boden intensiv bearbeitet wird.
- Organische Substanz wird dem Boden auch mit Hofdüngern und organischen Recyclingdüngern wie Kompost zugeführt (Abbildung 16). Auch bei diesen bestimmen Zusammensetzung und Qualität darüber, wie viel organische Substanz kurzfristig in pflanzenverfügbare Nährstoffe abgebaut werden kann, bzw. welcher Anteil schwer abbaubar ist und damit länger als organisches Material im Boden verbleibt. Grundsätzlich tragen feste organische Dünger stärker zur Humusbildung bei als flüssige, und bereits verrottete Dünger wie Kompost oder Mistkompost erhöhen den Humusgehalt relativ stärker als frische Dünger.

7. Literatur

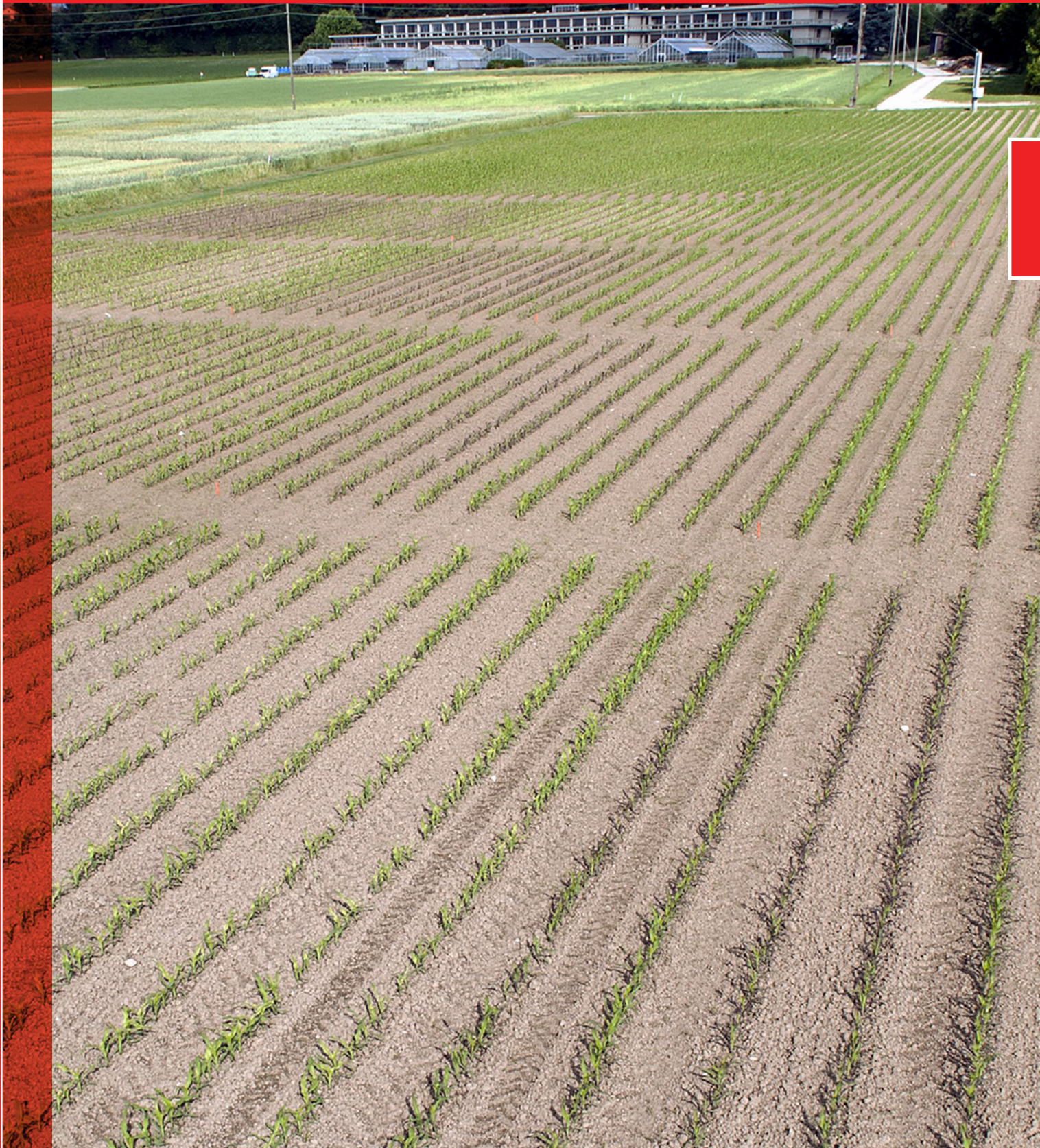
- Agroscope, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1: Bodenuntersuchungen zur Düngeberatung, Ausgabe 2015. Agroscope, Zürich.
- Bertschinger L., Gysi Ch., Häseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Ryser J.-P., Schmid A. & Weibel F., 2003. Grundlagen für die Düngung der Obstkulturen, Flugschrift Nr. 15. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil FAW, Wädenswil.
- BLW, 2012. HODUFLU – Verwaltung der Hofdüngerflüsse. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern. Zugang: <https://www.agate.ch/portal/web/agate/hofdungerflusse> [11. 10. 2016].
- BGS, 2010. Klassifikation der Böden der Schweiz. 3. Auflage. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Luzern. 86 S.
- Candinas T., Neyroud J.-A., Oberholzer H.-R. & Weisskopf P., 2002. Ein Bodenkonzept für die Landwirtschaft in der Schweiz: Grundlagen für die Beurteilung der nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodennutzung. *Bodenschutz* 3/02, 90–98.
- Carlen Ch. & Carron C.-A., 2007. Grundlagen für die Düngung der Gewürz- und Medizinalpflanzen. *Agrarforschung* 14 (1), 1–8.
- Collaud G., Ryser J.-P. & Schwarz J.-J., 1990. Capacité d'échange des cations. *Revue suisse d'agriculture* 22 (5), 285–289.
- Demaria P., Flisch R., Frossard E. & Sinaj S., 2005. Exchangeability of phosphate extracted by four chemical methods. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 68, 89–93.
- Dirks B. & Scheffer H., 1930. Der Kohlensäure-Bikarbonatauszug und der Wasserauszug als Grundlage zur Ermittlung der Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden. *Landwirtschaftliche Jahrbücher* 71, 73–99.
- Fabre B. & Kockmann F., 2006. Les effets du chaulage sur les prairies permanentes ou de longue durée. *Synthèse bibliographique. Fourrages* 185, 103–122.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung* 16 (2), 1–100.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Phosphor in Böden – Standortbestimmung Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 368. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 174 S.
- Gysi Ch., Ryser J.-P., Heller W. & Arbeitsgruppe Bodenuntersuchungen in Spezialkulturen, 1993. Flugschrift 129. Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil. 18 S.
- Gysi Ch., Ryser J.-P. & Heller W., 1997. Bodenuntersuchung im Gemüsebau. Flugschrift Nr. 112, 2. Auflage. Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil. 24 S.
- Hons F. M., Larson-Vollmer L. A. & Locke M. A., 1990. NH_4OAc -EDTA-extractable phosphorus as a soil test procedure. *Soil Science* 149 (5), 249–256.
- Huguenin-Elie O., Stutz C. J., Gago R. & Lüscher A., 2015. Wirkung der Kalkdüngung auf mit Hahnenfuss verunkrauteten Wiesen. Tagungsband der 59. Jahrestagung der AGGF in Aulendorf, S. 110–113. Hrsg. Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW), Aulendorf.
- Jeanros B. & Troxler J., 2008. Effet à long terme d'une gestion différenciée sur les prairies et les pâturages d'une exploitation de montagne. *Revue suisse d'agriculture* 40 (3), 123–130.
- Neuweiler R., 2011. Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Wädenswil. 29 S.
- Neyroud J.-A., Supcik P. & Magnollay F., 1997. La part du sol dans la production intégrée. 1. Gestion de la matière organique et bilan humique. *Revue Suisse Agriculture* 29, 45–51.
- Oberholzer H.-R., Weisskopf P., Gaillard G., Weiss F. & Freiermuth Knuchel R., 2006. Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen. Agroscope, Zürich.
- Pellet D., Mercier E., Balestra U., Lavanchy J. C., Pfeifer H. R., Keiser A. & Bezençon N., 2003a. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. I. Colza d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 35, 161–167.
- Pellet D., Mercier E. & Balestra U., 2003b. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. II. Blé d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 35 (4), 181–186.
- Peyer K., 1970. Phosphatversorgung der Pflanzen und Kennwerte des Bodenphosphats, untersucht an einigen Böden der Schweiz. ETH Diss. Nr. 4501, Zürich. Zugang: <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-000085418> [14. 10. 2016].
- Ryser J.-P., 1982. Etude du potassium assimilable pour les cultures sur quelques sols du canton de Vaud. ETH Diss. Nr. 7095, Zürich. Zugang: <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-000278617> [14. 10. 2016].
- Schroeder D., 1984. *Bodenkunde in Stichworten*. 4. Auflage. Verlag Ferdinand Hirt, Unterägeri. 160 S.
- Schechtner G., 1993. Wirksamkeit der Kalkdüngung auf Grünland. *Die Bodenkultur* 44 (2), 135–152.
- Spring J.-L., Ryser J.-P., Schwarz J.-J., Basler P., Bertschinger L. & Häseli A., 2003. Grundlagen für die Düngung der Reben. AMTRA, Nyon. 24 S.
- Stünzi H., 2006a. Die P-Bodenextraktionsmethoden mit Wasser und CO_2 -Wasser. *Agrarforschung* 13 (7), 284–289.
- Stünzi H., 2006b. Zur P-Bodenextraktion mit Ammoniumacetat-EDTA (AAE10). *Agrarforschung* 13 (11–12), 488–493.
- VBBö, 1998. Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998. Systematische Sammlung des Bundesrechts der Schweiz, SR 814.12, Bern.
- Van der Paauf F., 1956. Calibration of soil test methods for the determination of phosphate and potash status. *Plant and Soil* 8, 105–125.
- Walther U., Ryser J.-P., Flisch R. & Siegenthaler A., 1987. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Eidg. Forschungsanstalten FAP, Zürich, FAC, Bern, & RAC, Changins.
- Walther U., Ryser J.-P. & Flisch R., 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung* 8 (6), 1–80.
- Zbiral J., 2000. Determination of phosphorus in calcareous soils by Mehlich, CAL and Egner extractants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31 (19/20), 3037–3048.
- Zimmermann K. S., 1997. Wirkung einer gepufferten Ammonium-Acetat-EDTA-Extraktion auf ausgewählte Bodenbestandteile und natürliche Bodenproben. ETH Diss Nr. 12134, Zürich. Zugang: <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-001763309> [14. 10. 2016].

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beziehung zwischen Tonklassen (Tonanteilen) und Bodeneigenschaften.	2/4
Tabelle 2 Bodenkundliche Klassifizierung des Humusgehaltes (BGS 2010).	2/4
Tabelle 3 Agronomische Beurteilung des Humusgehaltes des Bodens zur Abschätzung der potenziellen N-Nachlieferung des Bodens.	2/4
Tabelle 4 Beurteilung des pH-Wertes (Reaktion) und der Kalkbedürftigkeit des Bodens.	2/5
Tabelle 5 Empfehlungen zur Entnahme von Bodenproben in den verschiedenen Gruppen von landwirtschaftlichen Kulturen.	2/7
Tabelle 6 Die wichtigsten Bodenuntersuchungsmethoden von Agroscope im Hinblick auf eine optimale Gestaltung der Düngung.	2/8
Tabelle 7 Wahl der Untersuchungsmethoden (Grundanalyse) bei verschiedenen Kulturgruppen.	2/9
Tabelle 8 Allgemeine Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens aufgrund der in Tabelle 10 bis Tabelle 18 ermittelten Korrekturfaktoren.	2/10
Tabelle 9 Korrektur der Analysenwerte für Böden mit einem Humusgehalt von mehr als 10 %.	2/11
Tabelle 10 Korrekturfaktoren der P-Düngung in Abhängigkeit der P-Gehalte (CO ₂ -Methode) und des Tongehaltes des Bodens. (P-Testzahl 1 = 0,155 mg P/kg Boden).	2/12
Tabelle 11 Korrekturfaktoren der K-Düngung in Abhängigkeit der K-Gehalte (CO ₂ -Methode) und des Tongehaltes des Bodens. (K-Testzahl 1 = 8,3 mg K/kg Boden).	2/13
Tabelle 12 Korrekturfaktoren der Mg-Düngung in Abhängigkeit des Mg-Gehaltes (CaCl ₂ -Methode) und des Tongehaltes des Bodens. (Mg-Testzahl 1 = 10 mg Mg/kg Boden).	2/14
Tabelle 13 Korrekturfaktoren der P-Düngung in Abhängigkeit der P-Gehaltes (mg P/kg Boden, H ₂ O10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.	2/14
Tabelle 14 Korrekturfaktoren der K-Düngung in Abhängigkeit der K-Gehaltes (mg K/kg Boden, H ₂ O10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.	2/15
Tabelle 15 Korrekturfaktoren der Mg-Düngung in Abhängigkeit des Mg-Gehaltes (mg Mg/kg Boden, H ₂ O10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.	2/15
Tabelle 16 Korrekturfaktoren der P-Düngung in Abhängigkeit der P-Gehalte (mg P/kg Boden, AAE10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens für kalkfreie Böden (Kalkvorprobe negativ oder pH < 6,8 oder AAE10-Ca < 4000 mg Ca/kg Boden).	2/17
Tabelle 17 Korrekturfaktoren der K-Düngung in Abhängigkeit des K-Gehaltes (mg K/kg Boden, AAE10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens.	2/18
Tabelle 18 Korrekturfaktoren der Mg-Düngung in Abhängigkeit des Mg-Gehaltes (mg Mg/kg Boden, AAE10-Methode) und des Tongehaltes des Bodens für kalkfreie Böden (Kalkvorprobe negativ oder pH < 6,8 oder AAE10-Ca < 4000 mg Ca/kg Boden).	2/19
Tabelle 19 Kriterien zur Beurteilung des S-Angebots des Bodens mit Hilfe einer Punkteskala.	2/22
Tabelle 20 Korrekturfaktoren der S-Düngung nach S-Angebot des Bodens und S-Entzug der Kulturen.	2/22
Tabelle 21 Bemessung der B- und Mn-Düngung aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen, der Bodeneigenschaften und der Bedürftigkeit der Kulturen (Analysemethoden siehe Tabelle 6).	2/24
Tabelle 22 Grobe Bemessung von Kalkgaben aufgrund des pH-Wertes und des Tongehaltes des Bodens sowie der Bodennutzung.	2/25
Tabelle 23 Beurteilung des Kalkzustandes des Bodens aufgrund der Basensättigung.	2/26
Tabelle 24 Bemessung von Kalkgaben aufgrund der Basensättigung und der Kationen-austauschkapazität des Bodens.	2/26

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beurteilung des Bodenprofils.	2/3
Abbildung 2 Schema der Beziehung zwischen pH-Wert und pedogenetischen (bodenbürtigen) und ökologischen Faktoren.	2/5
Abbildung 3 Vorbereitung der Bodenproben für die Laboranalysen: Sieb mit 2 mm Maschenweite zur Trennung von Skelett und Feinerde.	2/6
Abbildung 4 Filtration von Boden-Extrakten.	2/10
Abbildung 5 Bestimmung verschiedener Elemente mittels Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie (AAS).	2/10
Abbildung 6 Langzeit-Versuch (Versuchsbeginn 1989) mit unterschiedlicher P-, K- und Mg-Düngung als Grundlage für die Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen.	2/10
Abbildung 7 Phosphormangel bei Zuckerrüben.	2/11
Abbildung 8 Einfluss der Nährstoffversorgung des Bodens auf das Pflanzenwachstum.	2/12
Abbildung 9 Die K-Versorgung von Chicorée-Wurzeln im Feld ist entscheidend für die Qualität der Chicorée-Zapfen.	2/16
Abbildung 10 Entwicklung der P-Gehalte (CO ₂ - und AAE10-Methode) im Boden bei unterschiedlicher P-Düngung (ohne P, Normdüngung, ⁵ / ₃ der Normdüngung) und Einfluss auf die Kornerträge von Weizen.	2/16
Abbildung 11 Schema zur Ermittlung des Düngedarfs an P, K und Mg.	2/20
Abbildung 12 Phosphormangel bei jungen Maispflanzen.	2/20
Abbildung 13 Kaliummangel bei Kartoffeln.	2/21
Abbildung 14 Schwefelmangel bei Kohlrabi.	2/22
Abbildung 15 Bormangel (z. B. nach zu hohen Kalkgaben) führt bei Zuckerrüben zu Herzfäule.	2/23
Abbildung 16 Wirkungen der Zugabe organischer Substanzen auf Humusgehalt und -qualität.	2/29



3/ Pflanzenanalysen

Sokrat Sinaj¹, Guillaume Blanchet¹, Selma Cadot¹, Thomas Kuster²,
Raphaël Charles¹ und Bernard Jeangros¹

¹ Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

² Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

Auskünfte: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einführung.....	3/3
2. Allgemeine Grundsätze der Pflanzenernährung.....	3/3
3. Analysen der Pflanzenproben und Methoden der Probennahme.....	3/4
4. Interpretation der Ergebnisse der Pflanzenanalysen.....	3/5
5. Gegenseitige Ergänzung von Pflanzen- und Bodenanalysen.....	3/7
6. Literatur	3/8
7. Tabellenverzeichnis	3/10
8. Abbildungsverzeichnis.....	3/10

Vorderseite: junge Maispflanzen mit Mangelsymptomen in einem PK-Düngungsversuch in Changins
(Foto: Carole Parodi, Agroscope).

1. Einführung

Als Ergänzung zur Bodenanalyse kann eine Analyse von Pflanzenmaterial während der Vegetationsperiode vorgenommen werden. Mit einer Pflanzenanalyse lässt sich der Ernährungszustand der Kulturen überprüfen, während mit der Bodenanalyse nur die Reserven der potenziell verfügbaren Nährstoffe bestimmt werden. Die Pflanzenanalyse gehört zu den zusätzlichen Mitteln, mit denen sich die Düngung der landwirtschaftlichen Kulturen während des Wachstums dynamisch anpassen lässt. Ausserdem kann sie für eine gezielte Diagnose bei einem auftretenden Düngungsproblem eingesetzt werden. Auf Ebene der Fruchtfolge können durch eine Pflanzenanalyse die für eine bestimmte Kultur erforderlichen Nährstoffmengen im Hinblick auf einen optimalen Ertrag und eine optimale Qualität präzise bestimmt werden. Indem sie die Verwertung der ausgebrachten Nährstoffe optimiert, trägt die Pflanzenanalyse dazu bei, die Auswirkungen der Düngung auf die Umwelt zu minimieren.

Wie bei der Bodenanalyse ist auch bei der Pflanzenanalyse die Interpretation der Ergebnisse komplex, da der Gehalt der einzelnen Nährstoffe stark von den Bedingungen der Probenahme abhängt (Zeitpunkt, entnommene Pflanzenteile). Es ist deshalb entscheidend, die Ernährungsmechanismen der Pflanzen zu verstehen, um an die verschiedenen Kulturen angepasste Analysen durchführen und zuverlässige und präzise Informationen zu ihrem Ernährungszustand gewinnen zu können.

2. Allgemeine Grundsätze der Pflanzenernährung

Der Nährstoffbedarf der Kulturen verändert sich im Laufe der Entwicklung (siehe Abbildungen 1 bis 4 von Modul 8/ Düngung von Ackerkulturen). Dies bedeutet, dass Pflanzen in der Lage sein müssen, ihre Kapazität zur Aufnahme

der Nährstoffe, die sich in schwankenden Mengen und in besser oder schlechter verfügbaren Formen im Boden befinden, zu regulieren (Reuter und Robinson 1997). Mit Regulationsmechanismen können Pflanzen den Gehalt der verschiedenen Nährstoffe auf einem Niveau halten, das die überlebenswichtigen Funktionen sicherstellt. So zeigte ein Versuch auf Substraten, deren Phosphor(P)-Konzentration um den Faktor 625 variierte, dass sich die P-Konzentration im Gewebe der darauf wachsenden Pflanzen nur um den Faktor 10 unterschied (Asher und Loneragan 1967). Dieses Beispiel zeigt die Fähigkeit der Pflanzen, ihre Ernährung an Substrate mit sehr unterschiedlichem Nährstoffgehalt anzupassen. Die Düngung einer Parzelle hat einen optimalen Gehalt im Pflanzengewebe zum Ziel, um die festgelegten Ziele bezüglich Ertrag und Qualität zu erreichen und eine Unterversorgung (Mangel) oder eine Überversorgung (Luxuskonsum) zu vermeiden (Abbildung 1). Ausserdem wird die Aufnahme bestimmter Nährstoffe durch andere vorhandene Nährstoffe beeinflusst: Man spricht von Antagonismus, wenn ein Element auf Kosten eines anderen Elements aufgenommen wird wie beispielsweise Kalium (K) und Magnesium (Mg). Dabei entsteht das Risiko eines Mangels (Marschner 2012). Wenn schliesslich ein Element in sehr grossen Mengen zur Verfügung steht, kann seine Aufnahme den effektiven Bedarf der Pflanze übertreffen, ohne dass der Ertrag steigt. In diesem Fall spricht man von Luxuskonsum (Marschner 2012).

Während der Entwicklung einer Pflanze verändern sich die Gehalte der verschiedenen Nährstoffe deutlich. Auf der Ebene der ganzen Pflanze nimmt der Gesamtgehalt an Nährstoffen kontinuierlich ab, während die Pflanze an Biomasse zulegt (Greenwood *et al.* 1990; Salette und Lemaire 1981). Es kommt zu einer Verdünnung der Nährstoffe. Weil die Pflanze ihre Reserven gezielt in wachsende Organe transportiert, lassen sich deutliche Abweichungen des Gehalts eines bestimmten Nährstoffs in den verschiedenen Organen derselben Pflanze beobachten.

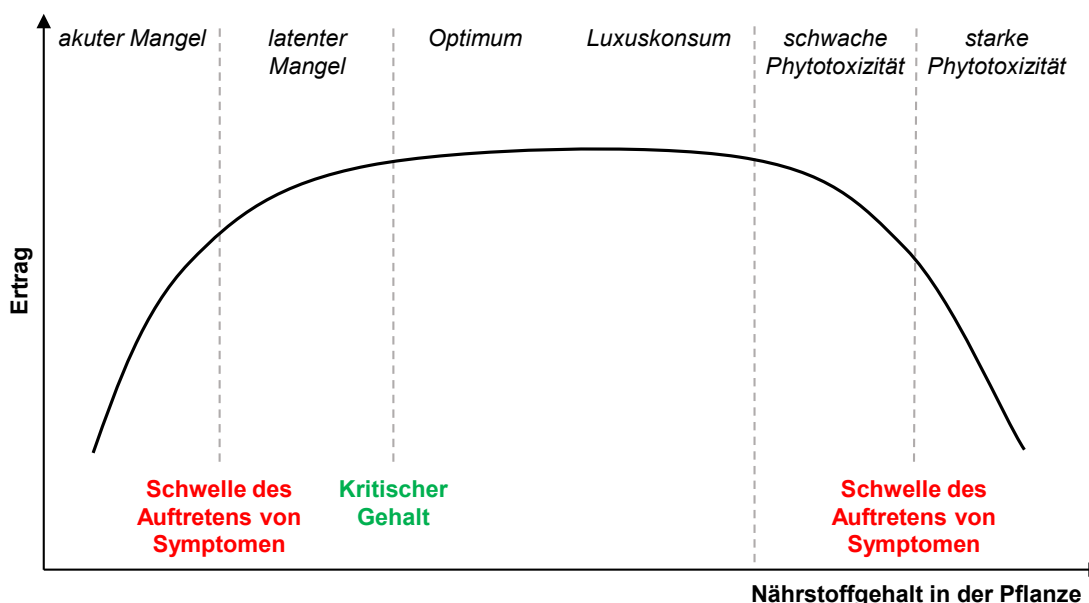


Abbildung 1 | Kurve zum theoretischen Ertrag einer Kultur in Abhängigkeit des Gehalts eines Nährstoffs im Pflanzengewebe (angepasst nach Marschner 2012).

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Pflanzenanalyse muss dieser Variabilität des Nährstoffgehalts Rechnung getragen werden, indem die betreffende Art, die untersuchten Pflanzenteile und das Entwicklungsstadium bei der Probennahme berücksichtigt werden. Auf der Grundlage dieser Kriterien ist es möglich, eine zuverlässige Diagnose zum Ernährungszustand der betrachteten Kultur zu erstellen.

3. Analysen der Pflanzenproben und Methoden der Probennahme

Je nach Art der angebauten Kultur und den festgelegten Zielen können verschiedene Pflanzenanalysen erwogen werden.

Im Falle eines akuten Mangels oder eines ausgeprägten Überschusses kann eine einfache visuelle Beobachtung ausreichen, um die entsprechenden Symptome in Form von Verfärbungen der Blätter oder dem Auftreten von Nekrosen oder Verformungen bei bestimmten Pflanzenteilen zu identifizieren. Zahlreiche Werke helfen bei der visuellen Bestimmung der Anzeichen eines solchen Nährstoffungleichgewichts. Allerdings ist für eine korrekte Diagnose eine gewisse Erfahrung oft unerlässlich. Deshalb ist es empfehlenswert, eine Fachperson beizuziehen. In den Modulen zum Obstbau und zum Weinbau (Module 12 und 13) sind einige Beispiele wiedergegeben. Wenn Symptome auftreten, ist es jedoch oft bereits zu spät, um in der laufenden Anbauperiode eine wirksame Korrektur vorzunehmen. Durch eine angepasste Düngung lässt sich ein unausgewogenes Nährstoffangebot daher erst für das Folgejahr ausgleichen. Obwohl diese Methode gewisse Vorteile aufweist (einfache Umsetzung, nichtdestruktive Methode, geringe Kosten usw.), hat sie auch ihre Grenzen: Das Nährstoffungleichgewicht wird nicht quantifiziert und dadurch lässt sich der Düngungsplan nicht genau anpassen. Ausserdem ist es oft schwierig, die Ursache des Mangels oder Überschusses zu finden (geringe Verfügbarkeit des betreffenden Nährstoffes im Boden, antagonistische Wechselwirkungen mit anderen Nährstoffen usw.).

Die Bestimmung der verschiedenen Nährstoffgehalte im Labor ermöglicht dagegen eine umfassende Diagnose zum Ernährungszustand der Kultur. Meist wird der Gesamtgehalt der einzelnen Makro- und Spurenelemente bestimmt, in gewissen Fällen werden mit den Analysen auch spezifische chemische Formen erfasst (z. B. NO_3^- für Stickstoff [N], SO_4^{2-} für Schwefel [S]), weil diese den Ernährungszustand bezüglich dieser Nährstoffe genauer widerspiegeln (Marschner 2012). Je nach Art der angebauten Kultur (mehrjährige oder einjährige Pflanzen) kann die Analyse die gesamten oberirdischen Pflanzenteile beinhalten – Blätter, spezifische Blattteile (Blattstiele, -spreiten, -nerven) oder Früchte. Die Laboranalyse ist zwar relativ zeit- und kostenintensiv (Vorbereitung und Versand der Proben, Kosten der Analyse usw.), sie ist aber die zuverlässigste Methode, um den Ernährungszustand der Pflanze bezüglich der einzelnen Nährstoffe präzise zu bestimmen. Im Rahmen einer ausgewogenen N-Düngung bietet sie ausserdem die Möglichkeit, die nächsten Gaben aufgrund des Zustands der Kultur zum Zeitpunkt der Probennahme sofort anzupassen. Für die anderen Nährstoffe ist eine solche Anpassung der Düngung erst im Hinblick auf die kommenden Jahre möglich.

Im spezifischen Fall einer dynamischen N-Düngung werden bereits seit einigen Jahrzehnten Analysemethoden entwickelt, die auf der photometrischen Schätzung des Chlorophyllgehalts der Blätter beruhen (Piekielek und Fox 1992; Schepers *et al.* 1992). Dabei wird mit einem Messgerät (z. B. Minolta SPAD Meter, Soil Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Osaka, Japan, oder Yara N-Tester, Yara International, Oslo, Norwegen) das vom Blatt reflektierte oder absorbierte Licht eines bestimmten Spektrums gemessen. Aufgrund dieser Messung wird der Chlorophyllgehalt abgeleitet. Da dieser direkt mit dem N-Gehalt der Blätter zusammenhängt, kann mit dieser Messung festgestellt werden, ob die Kultur zum gegenwärtigen Zeitpunkt an einem N-Mangel leidet oder nicht. Mit dieser Methode lässt sich aber nicht prüfen, ob ein N-Überangebot vorliegt, weil die Pflanze ab einer bestimmten Schwelle den Chlorophyllgehalt nicht mehr erhöht (Schepers *et al.* 1992). Die Methode bietet zahlreiche Vorteile,

Tabelle 1 | Überblick über die wichtigsten Pflanzenanalysen für verschiedene Kulturen.

Kultur	Mögliche Analysen	Interpretation der Ergebnisse
Ackerkulturen	Gesamtgehalt (an einzelnen Makro- und Spurenelementen) Nitratgehalt des Pflanzensafts Chlorophyllgehalt	Richtwerte Ernährungsindex
Wiesen und Weiden	Gesamtgehalt an einzelnen Makroelementen	Ernährungsindex
Obstbau	Beobachtung von Symptomen Gesamtgehalt (an einzelnen Makro- und Spurenelementen)	Identifizierung von Symptomen Richtwerte
Weinbau	Beobachtung von Symptomen Gesamtgehalt (an einzelnen Makro- und Spurenelementen) Chlorophyllgehalt	Identifizierung von Symptomen Richtwerte
Gemüsebau	Nitratgehalt des Pflanzensafts	Richtwerte

wenn die N-Gaben kontinuierlich angepasst werden sollen: Sie ist einfach umzusetzen, liefert sofortige Ergebnisse und ist nicht destruktiv. Die Messungen können bei derselben Pflanze im Verlaufe der Vegetationsperiode immer wieder durchgeführt werden, um die N-Versorgung der Kulturen an verschiedenen Punkten der Parzelle zu überwachen. Ausserdem zeigen aktuelle Studien (Prost und Jeuffroy 2007), dass mit dieser Art von Messungen der N-Ernährungsindex der Kulturen quantitativ bestimmt werden kann (detailliertes Konzept im Anschluss an dieses Kapitel). In Tabelle 1 sind die Pflanzenanalysen zusammengefasst, die für die betreffende Kultur normalerweise durchgeführt werden.

Wenn eine Pflanzenanalyse durchgeführt wird, ist es wichtig, vorgängig das Analyzelabor zu kontaktieren, um sich über den Ablauf von Entnahme, Vorbereitung und Versand der Proben zu informieren. Einige Laboratorien und gewisse Analysen setzen die Einhaltung eines bestimmten Protokolls voraus. Wenn z.B. Pflanzensaft analysiert werden soll, wird empfohlen, die Entnahme am frühen Morgen durchzuführen, weil die Nitratkonzentration aufgrund der Lichtexposition im Tagesverlauf schwankt (Neely *et al.* 2010). Ausserdem kann die für die Analyse erforderliche Menge an Pflanzenmaterial je nach Labor unterschiedlich sein.

Bei der Entnahme von Pflanzenproben lassen sich zwei verschiedene Strategien anwenden. Wenn der Versorgungszustand der Parzelle allgemein bestimmt werden soll, muss sichergestellt werden, dass die Stichprobe für die Parzelle repräsentativ ist. Dazu ist es sinnvoll, das Pflanzenmaterial in einem Bereich zu entnehmen, in dem das Wachstum der angebauten Kultur einheitlich und repräsentativ ist. Falls auch Bodenproben entnommen werden sollen, müssen diese mit dem Entnahmebereich der Pflanzenproben übereinstimmen. Wenn nur ein Teil der Parzelle von einem unausgewogenen Nährstoffangebot betroffen ist, kann die Probennahme andererseits gezielt bei Pflanzen mit Mangel und bei gesunden Pflanzen erfolgen, um eine vergleichende Analyse durchzuführen. Es wird empfohlen, als Ergänzung zu den Pflanzenanalysen auch Bodenproben in den beiden entsprechenden Bereichen zu entnehmen.

Um die Zuverlässigkeit der Analysen sicherzustellen, ist es wichtig, die Proben gemäss den Vorgaben des Labors korrekt vorzubereiten. Im Allgemeinen wird empfohlen, die Proben während einer gewissen Zeit an der Luft trocknen zu lassen oder sie im Kühlschrank zu lagern (nur für einige Tage). Für den Versand oder die Übergabe sind die Proben in Papiersäckchen oder Nylonnetzchen zu verpacken, die gemäss den Empfehlungen des Labors zweckmässig beschriftet sind. Die Verpackung in Plastiksäckchen ist wegen der möglichen Fäulnisentwicklung meist ungeeignet.

4. Interpretation der Ergebnisse der Pflanzenanalysen

Bei der häufigsten Methode zur Interpretation der Pflanzenanalysen werden Richtwerte verwendet, die für die

einzelnen Kulturen für unterschiedliche Entwicklungsstadien festgelegt wurden. Diese Werte sind das Ergebnis einer Reihe von Versuchen, bei denen die charakteristischen Gehalte bei optimalen Anbaubedingungen bestimmt wurden. Solche Richtwerte werden für Ackerkulturen (Tabelle 2), im Gemüsebau (Modul 11), im Weinbau (Modul 12) und im Obstbau (Modul 13) eingesetzt. Diese Richtwerte können auch bei Analyzelabors eingeholt werden.

Die Interpretation der Pflanzenanalysen für den Futterbau und für Ackerkulturen kann auch ausgehend von der Berechnung eines Ernährungsindex (EI) erfolgen. Das Konzept des Ernährungsindex wurde von Lemaire *et al.* (1989) entwickelt und eingeführt, um den Ernährungszustand von Wiesen zu bestimmen. Anschliessend wurde das Konzept auf andere Arten von Kulturen übertragen (Justes *et al.* 1994; Colenne *et al.* 1998; Plénet und Lemaire 2000). Dieser Index beruht auf einem im Rahmen von Referenzversuchen (Ulrich 1952) ermittelten kritischen Wert, bei dem die Verdünnung des Nährstoffs in Abhängigkeit der Biomasse berücksichtigt ist (Salette und Lemaire 1981; Greenwood *et al.* 1990). Der kritische Wert ist als minimaler Gehalt des betreffenden Nährstoffs festgelegt, der für einen maximalen Ertrag erforderlich ist (Abbildung 1). Dieser Gehalt gilt als optimal, weil die Gabe des betreffenden Nährstoffes maximal genutzt wird. Der Ernährungsindex (EI) kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$EI_X = \frac{[X]_{\text{mess}}}{[X]_{\text{krit}}} \times 100 [\%]$$

wobei $[X]_{\text{mess}}$ bzw. $[X]_{\text{krit}}$ die gemessene bzw. kritische Konzentration des Nährstoffs X bei einer gegebenen Biomasse sind.

Die Verwendung einer von der Biomasse abhängigen kritischen Konzentration ist interessant, weil sie eine Beschreibung des Ernährungszustands einer Kultur über die gesamte Wachstumsperiode ermöglicht. In der Literatur finden sich Gleichungen zur Schätzung der kritischen Konzentration von Stickstoff (N_C) oder Phosphor (P_C) für bestimmte Kulturen, insbesondere für einige Ackerkulturen (Tabelle 3). Im Modul 9/ Düngung von Grasland sind die kritischen Konzentrationen für Wiesen aufgeführt.

Es wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass ein EI_X -Wert tiefer als 80 % einen Zustand mit Nährstoffmangel widerspiegelt, der eine Anpassung der Düngung nach oben erfordert, während ein EI_X -Wert höher als 120 % auf einen Nährstoffüberschuss hindeutet. Diese Schwellenwerte lassen sich für einzelne Kulturen auf der Grundlage von Versuchen, in denen der Zusammenhang zwischen Ertrag und Ernährungszustand der Pflanzen exakt bestimmt wird, spezifisch anpassen. In Abbildung 2 ist dieser Zusammenhang für in Changins angebauten Winterweizen dargestellt. In diesem Beispiel konnte mit einem P-Ernährungsindex zwischen 82 und 124 % mindestens 95 % des Referenzertrags erreicht werden, der sich bei einer optimalen NPK-Düngung ergab (Cadot *et al.* im Druck).

Tabelle 2 | Richtwerte für den Gehalt einiger Ackerkulturen an verschiedenen Makroelementen.

Kultur	Entnommene Teile	Entwicklungsstadium		N	P	K	Ca	Mg	S
		BBCH-Skala	Beschreibung						
(g kg ⁻¹ TS)									
Getreide	ganze Pflanze (oberirdische Teile)	13–29	Drei-Blatt-Stadium bis Ende Bestockung	40,0–50,0	2,0–5,0	25,0–50,0	2,0–10,0	1,4–10,0	1,5–6,5
	oberstes Blatt	30–39	Schossen	40,0–50,0	2,0–5,0	25,0–50,0	2,0–10,0	1,4–10,0	1,5–6,5
	oberstes Blatt	40–90	Ährenbildung bis Ernte (Reife)	40,0–50,0	2,0–5,0	20,0–40,0	2,0–10,0	1,4–10,0	1,5–6,5
Mais	ganze Pflanze (oberirdische Teile)	< 19	junger Keimling (< 10 cm)	40,0–50,0	4,0–6,0	30,0–40,0	3,0–8,0	2,0–6,0	1,8–5,0
	oberstes Blatt	19–52	Schossen bis Beginn Entwicklung Blütenanlagen	30,0–40,0	3,0–5,0	20,0–30,0	2,5–8,0	1,5–6,0	1,5–4,0
	angrenzendes Blatt des obersten Kolbens	53–69	Entwicklung Blütenanlagen bis Ende Blüte	28,0–40,0	2,5–5,0	18,0–30,0	2,5–8,0	1,5–6,0	1,5–6,0
	angrenzendes Blatt des obersten Kolbens	89	Ernte (Reife)	25,0–35,0	2,5–4,0	16,0–25,0	2,0–8,0	1,2–5,0	1,2–4,0
Raps	oberstes Blatt	50–59	Entwicklung Blütenanlagen	40,0–64,0	4,2–6,9	35,0–51,0	21,0–30,0	1,5–6,2	6,5–9,0
Soja	oberstes Blatt	10–29	Beginn Wachstum	35,0–55,0	3,0–6,0	17,0–25,0	11,0–22,0	0,3–6,0	–
	oberstes Blatt	60–69	Blüte	32,5–50,0	3,0–6,0	15,0–22,5	8,0–14,0	2,5–7,0	2,5–6,0
Kartoffeln	Spreite des vierten Blattes	11–42	Beginn Saison (Wachstum und Entwicklung Knollen)	60,0–80,0	6,0–9,0	50,0–70,0	15,0–25,0	2,5–7,5	2,0–4,0
	Spreite des vierten Blattes	43–45	Mitte Saison (Wachstum der Knollen)	50,0–70,0	4,0–6,0	35,0–50,0	15,0–25,0	2,5–7,5	2,0–4,0
	Spreite des vierten Blattes	47–49	Ende Saison (Reifung der Knollen)	40,0–60,0	2,0–4,0	25,0–35,0	15,0–25,0	2,5–7,5	2,0–4,0
Sonnenblumen	obere Blätter	51–69	Entwicklung Blütenanlagen und Blüte	20,0–35,0	2,5–5,0	15,0–30,0	3,0–20,0	2,0–15,0	2,0–4,0
Zuckerrüben	Spreite der mittleren Blätter	31–39	Wachstum oberirdische Pflanzenteile	30,0–45,0	1,5–8,0	12,5–60,0	6,0–15,0	2,0–25,0	1,8–2,5

TS: Trockensubstanz.

Die angegebenen Wertebereiche entsprechen einem optimalen Ernährungszustand. Daten angepasst nach Campbell et al. (2000) und American Agricultural Laboratory (2013).

Tabelle 3 | Gleichungen der kritischen Konzentrationen von N und P für einige Ackerkulturen.

Kultur	Kritische N-Konzentration (N_C)	Kritische P-Konzentration (P_C)
Winterweizen	$N_C = 5,35 \times TS^{-0,44}$ (Justes et al. 1994)	$P_C = 4,44 \times TS^{-0,41}$ $P_C = 0,083 N + 0,88$ (Cadot et al. im Druck)
Sommerweizen	$N_C = 3,85 \times TS^{-0,57}$ (Ziadi et al. 2010)	$EI_N > 80 \%$: $P_C = 0,94 + 0,107 N$ $EI_N < 80 \%$: $P_C = 1,70 + 0,092 N$ (Ziadi et al. 2008)
Winterraps	$N_C = 4,48 \times TS^{-0,25}$ (Colnenne et al. 1998)	$P_C = 5,18 \times TS^{-0,39}$ $P_C = 0,657 N + 1,67$ (Cadot et al. im Druck)
Öllein	$N_C = 4,69 \times TS^{-0,53}$ (Flénet et al. 2006)	
Mais	$N_C = 3,40 TS^{-0,391}$ (Hermann und Taube 2004)	$P_C = 3,49 \times TS^{-0,18}$ $P_C = 0,083 N + 0,39$ (Cadot et al. im Druck)
Wintergerste	$N_C = 4,76 \times TS^{-0,39}$ (Zhao 2014)	
Sonnenblumen	$N_C = 4,53 \times TS^{-0,42}$ (Debaeke et al. 2012)	

Die N- und P-Konzentrationen werden in % der Trockensubstanz (TS) ausgedrückt. Die Werte für die TS sind in t/ha aufgeführt. Die von Cadot et al. (im Druck) vorgeschlagenen Gleichungen wurden unter schweizerischen Anbaubedingungen (Changins, VD) aufgestellt. Für die anderen Gleichungen trifft dies nicht zu.

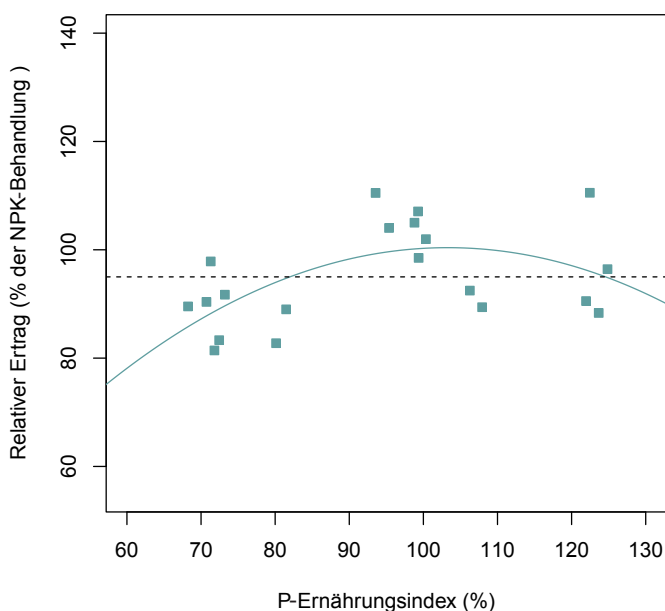


Abbildung 2 | Relativer Ertrag in Abhängigkeit des P-Ernährungsindex für Winterweizen, angebaut in Changins (Cadot et al. im Druck). Ein relativer Ertrag von 100 % entspricht dem Ertrag, der mit einer NPK-Düngung gemäss den Empfehlungen der GRUDAF (Flich et al. 2009) erreicht wurde.

Die kritischen Phosphorkonzentrationen (P_C) werden im Allgemeinen als Funktion des N-Gehalts der Biomasse beschrieben (Duru und Théliier-Huché 1997; Farruggia et al. 2000; Bélanger et al. 2015). Das Modell, das auf der Beziehung P_C -N beruht, ist breiter anwendbar als das Modell, das die Beziehung P_C -Trockenmasse verwendet (Tabelle 3), weil (i) dieselben Parameter des Modells unabhängig von den Boden- und Klimabedingungen des Standorts verwendet werden können (Bélanger et al. 2015) und weil (ii) nicht die Biomasse, sondern nur der Gehalt der Nährstoffe bestimmt werden muss, was einfacher durchzuführen ist.

Das Erstellen von Referenzkurven für die einzelnen Kulturen ist gegenwärtig ein wichtiges Ziel der landwirtschaftlichen Forschung, und es ist eine breite Verwendung der Ernährungsindizes anzustreben.

5. Gegenseitige Ergänzung von Pflanzen- und Bodenanalysen

Mit der Pflanzenanalyse kann *nachträglich* bestimmt werden, ob die Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden den Nährstoffbedarf einer Kultur zu decken vermochte, während die Bodenanalyse den Vorteil hat, dass die Düngung *im Voraus* geplant werden kann.

Wie die Beziehungen zwischen dem Ertrag einer Kultur und den verschiedenen Nährstoffgehalten der Pflanze (Ernährungsindizes) kann auch die Beziehung zwischen dem Ertrag einer Kultur und dem Nährstoffgehalt im Boden, beispielsweise der Gehalt an verfügbarem P, als Grundlage für die Bestimmung eines kritischen Schwellenwertes zur Interpretation dieses Gehalts dienen, d. h. des minimalen Gehalts, bei dem mindestens 95 % des Ertrags bei einer optimalen NPK-Düngung erreicht werden. In einem Langzeitversuch am Standort Changins mit neutralem Boden-pH ($pH_{[H_2O]} = 6,8$), einem Tongehalt von 54 % und einem Gehalt an organischer Substanz von 5 % ergaben sich nach Cadot et al. (im Druck) kritische Schwellenwerte für P von $11,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (NaHCO_3 -Methode, Olsen et al. 1954), $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (AAE10-Methode, Agroscope 1996) bzw. $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (CO_2 -Methode, Agroscope 1996) für Körnermais, von $14,7$, $12,1$ bzw. $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ für Winterweizen und von $15,6$, $15,2$ bzw. $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ für Raps (Abbildung 3). Gemäss der Vorgängerversion (Flich et al. 2009) der vorliegenden Empfehlungen hätten diese Gehalte an P-AAE unter den Bedingungen dieses Versuchs eine höhere P-Düngungsnorm zur Folge gehabt. Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, dass die Forschung die Untersuchung dieser

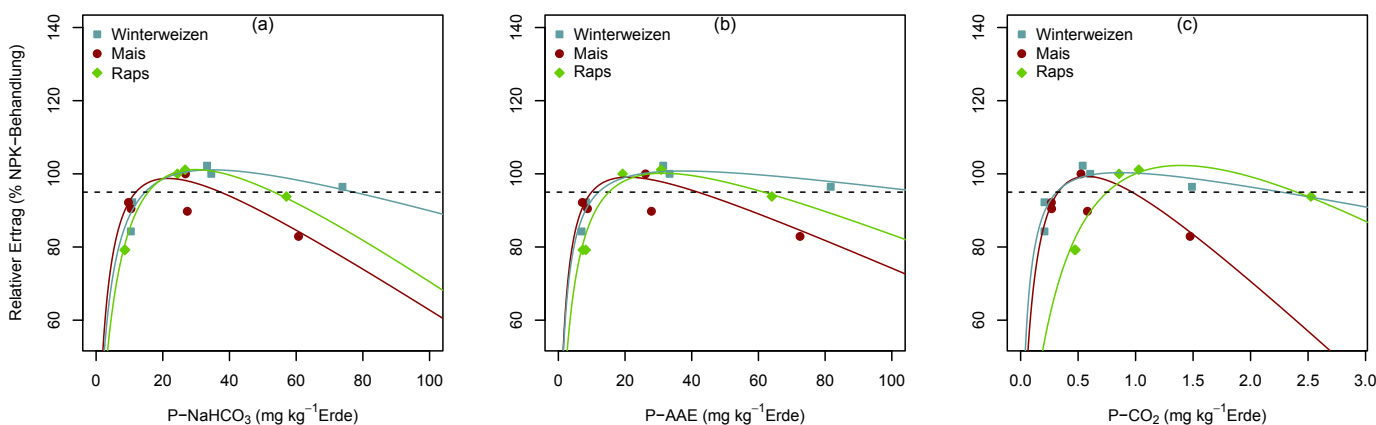


Abbildung 3 | Relativer Ertrag von Winterweizen, Körnermais und Raps als Funktion des verfügbaren P im Boden (Cadot et al. im Druck). Diese Kurven wurden unter den Boden- und Klimabedingungen am Standort Changins erstellt. Für die Bestimmung des verfügbaren P wurden drei verschiedene Extraktionsmethoden angewendet: a) die NaHCO_3 -Methode (P-NaHCO_3 , international anerkannt); b) die AAE10-Methode (P-AAE) und c) die $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ -Methode (P-CO_2). b) und c) sind in der Schweiz verwendete Referenzmethoden. Ein relativer Ertrag von 100 % entspricht dem Ertrag, der bei einer NPK-Düngung nach den Empfehlungen der GRUDAF (Flisch et al. 2009) erreicht wurde.

kritischen Schwellenwerte bei anderen Boden- und Klimabedingungen und bei anderen Kulturen fortführt, bevor allgemeingültige Düngungsempfehlungen auf der Grundlage präziser Beziehungen zwischen dem Gehalt der verschiedenen im Boden verfügbaren Nährstoffe, dem Gehalt dieser Nährstoffe in der Pflanze und den Erträgen der Kultur festgelegt werden können.

6. Literatur

- Agroscope, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1: Boden- und Substratuntersuchungen zur Düngeberatung, Ausgabe 2015. Agroscope, Zürich.
- American Agricultural Laboratory, 2013. Plant Tissue Interpretative Guidelines. American Agricultural Laboratory, McCook, USA. Zugang: http://amaglab.azurewebsites.net/wp-content/uploads/AmAgLabSiteFiles/Guidelines/Plant_Tissue_Interpretative_Guidelines.pdf
- Asher C. J. & Loneragan J. F., 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. I. Growth and phosphorus content. *Soil science* 103, 225–233.
- Bélangier G., Ziadi N., Pageau D., Grant C., Lafond J. & Nyiraneza J., 2015. Shoot Growth, Phosphorus-Nitrogen Relationships, and Yield of Canola in Response to Mineral Phosphorus Fertilization. *Agronomy Journal* 107, 1458–1464.
- Cadot S., Bélangier G., Ziadi N., Morel C. & Sinaj S., 2017. Yield response and critical plant and soil phosphorus for wheat, maize, and rapeseed after 44 years of phosphorus fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment* (in press).
- Campbell C. R. (Hrsg.), 2000. Reference Sufficiency Ranges for Plant Analysis in the Southern Region of the United States. Southern Cooperative Series Bulletin 394. Aktualisierte Version 2013. Zugang: <http://www.ncagr.gov/agronomi/saaesd/scsb394.pdf> [4. 5. 2017].
- Colnenne C., Meynard J. M., Réau R., Justes E. & Merrien A., 1998. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Oilseed Rape. *Annals of Botany* 81, 311–317.
- Debaeke P., van Oosterom E. J., Justes E., Champolivier L., Merrien A., Aguirrezabalaga L.A.N., González-Dugo V., Massingnam A.M. & Montemurro F., 2012. A species-specific critical nitrogen dilution curve for sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Field Crops research* 136, 76–84.
- Duru M. & Thélier-Huché L., 1997. N and P-K status of herbage: use for diagnosis of grasslands. In: INRA (Ed.), Diagnostic Procedures for Crop N Management and Decision Making, Paris (Les Colloques n° 82), 125–138.
- Farruggia A., Thélier-Huché L., Violleau S., Lebrun J. M. & Besnard A., 2000. L'analyse d'herbe pour piloter la fertilisation phosphatée et potassique des prairies. Exemples d'application de la méthode. *Fourrages* 164, 447–459.
- Flénet F., Guérif M., Boiffin J., Dorvillez D., Champolivier L., 2006. The critical N dilution curve for linseed (*Linum usitatissimum* L.) is different from other C3 species. *European Journal of Agronomy* 24, 367–373.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung Schweiz* 16 (2), 1–100.
- Greenwood D. J., Lemaire G., Gosse G., Cruz P., Draycott A. & Neeteson J. J., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* 66, 425–436.
- Hermann A. & Taube F., 2004. The Range of the Critical Nitrogen Dilution Curve for Maize (*Zea mays* L.) Can Be Extended Until Silage Maturity. *Agronomy Journal* 96, 1131–1138.
- Justes E., Mary B., Meynard J.-M., Machet J.-M. & Thélier-Huché L., 1994. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Wheat Crops. *Annals of Botany* 74, 397–407.
- Lemaire G., Gastal F. & Salette J., 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In: Proceedings of the 16th International Grassland Congress. Nice, France. 179–180.

- Marschner P., 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Dritte Auflage. Editions Academic Press, London, UK. 672 S.
- Neely H. L., Koenig R. T., Miles C. A., Koenig T. C. & Karlsson M. G., 2010. Diurnal Fluctuation in Tissue Nitrate Concentration of Field-grown Leafy Greens at Two Latitudes. *HortScience* 45 (12), 1815–1818.
- Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S. & Dean L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular 939. U.S. Dept. of Agric., Washington DC.
- Piekielek W.P. & Fox R.H., 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal* 84, 59–65.
- Plénet D. & Lemaire G., 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil* 216, 65–82.
- Prost L. & Jeuffroy M.-H., 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 321–330.
- Reuter D. & Robinson J.B., 1997. *Plant analysis: An Interpretation Manual*. 2nd Edition. Editions CSIRO, Australien. 450 S.
- Salette J. & Lemaire G., 1981. Sur la variation de la teneur en azote des Graminées fourragères pendant leur croissance: formulation d'une loi de dilution. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 292 (III), 875–878.
- Schepers J. S., Blackmer T. M. & Francis D. D., 1992. Predicting N Fertilizer Needs for Corn in Humid Regions: Using Chlorophyll Meters. In: Bock B.R. & Kelley K.R. (ed.), *Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions*. Bull. Y-226. National Fertilizer and Environmental Research Center, Muscle Shoals, USA.
- Ulrich A., 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Annual Review of Plant Physiology* 3, 207–228.
- Ziadi N., Bélanger G., Cambouris A.N., Tremblay N., Nolin M.C. & Claessens A., 2008. Relationship between Phosphorus and Nitrogen Concentrations in Spring Wheat. *Agronomy Journal* 100, 80–86.
- Ziadi N., Bélanger G., Claessens A., Lefebvre I., Cambouris A.N., Tremblay N., Nolin M.C. & Parent L.E., 2010. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Spring Wheat. *Agronomy Journal* 102, 241–250.
- Zhao B., 2014. Determining of a critical dilution curve for plant nitrogen concentration in winter barley. *Field Crops Research* 160, 64–72.

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Überblick über die wichtigsten Pflanzenanalysen für verschiedene Kulturen.	3/4
Tabelle 2 Richtwerte für den Gehalt einiger Ackerkulturen an verschiedenen Makroelementen.	3/6
Tabelle 3 Gleichungen der kritischen Konzentrationen von N und P für einige Ackerkulturen.	3/7

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Kurve zum theoretischen Ertrag einer Kultur in Abhängigkeit des Gehalts an einem Nährstoff im Pflanzengewebe.	3/3
Abbildung 2 relativer Ertrag in Abhängigkeit des P-Gehaltsindex für Winterweizen, angebaut in Changins.	3/7
Abbildung 3 Relativer Ertrag von Winterweizen, Körnermais und Raps als Funktion des verfügbaren P im Boden.	3/8



4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern

Walter Richner¹, René Flisch¹, Jochen Mayer¹, Patrick Schlegel², Michael Zähler³ und Harald Menzi²

¹ Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

² Agroscope, 1725 Posieux, Schweiz

³ Agroscope, 8356 Ettenhausen, Schweiz

Auskünfte: walter.richner@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	4/3
2. Hofdünger	4/3
2.1 Einleitung.....	4/3
2.2 Anfall und Nährstoffgehalte von Hofdüngern.....	4/3
2.3 Verfügbarkeit des Stickstoffs in den Hofdüngern.....	4/8
2.4 Hofdüngeraufbereitung	4/9
2.5 Hofdüngereinsatz.....	4/12
3. Recyclingdünger und Gärgut	4/12
3.1 Einleitung.....	4/12
3.2 Nährstoffgehalte von Recyclingdüngern und Gärgut.....	4/13
3.3 Allgemeine Hinweise zum Einsatz von Kompost und Gärgut aus gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen.....	4/13
4. Mineraldünger.....	4/14
4.1 Einleitung.....	4/14
4.2 Düngungsrelevante Eigenschaften von Mineraldüngern.....	4/14
4.3 Wirkung von Mineraldüngern auf den Boden	4/18
5. Literatur	4/18
6. Tabellenverzeichnis.....	4/20
7. Abbildungsverzeichnis.....	4/20
8. Anhangsverzeichnis	4/20
9. Anhang	4/21

Foto auf der Vorderseite: Ursus Kaufmann, Agroscope.

1. Einleitung

Gemäss dem Düngungskonzept (vgl. Modul 1/ Einleitung, Abbildung 2) wird der Nährstoffbedarf der Kulturen nebst den Nährstoffen, die aus der organischen Bodensubstanz und Ernterückständen freigesetzt werden, über Dünger gedeckt. Eine optimale pflanzenbauliche Nutzung der Nährstoffe kann nur erreicht werden, wenn genaue Kenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher und umweltrelevanter Aspekte vorliegen. Dazu sind primär Informationen über den mengenmässigen Anfall der Hofdünger und die Nährstoffgehalte von Hof-, Recycling- und Mineraldüngern nötig. Zudem sind Angaben zu den düngungsrelevanten Eigenschaften dieser Dünger notwendig, wie z. B. die Wirkungsgeschwindigkeit, die Gehalte an erwünschten und unerwünschten Inhaltsstoffen und spezifische Auswirkungen auf den Boden. Diesen Informationen widmet sich dieses Modul der Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD; Richner und Sinaj 2017).

2. Hofdünger

2.1 Einleitung

Auf vielen Betrieben deckt der Nährstoffanfall über die betriebseigenen Hofdünger (Gülle und Mist) einen wesentlichen Teil des Nährstoffbedarfs der Kulturen. Der richtige Einsatz der Hofdünger ist daher auf allen Betrieben mit Tierhaltung von entscheidender Bedeutung für eine pflanzen- und umweltgerechte sowie wirtschaftliche Düngung. Da der unsachgemässe Einsatz von Hofdüngern die Umwelt belastet (vgl. Modul 7/ Düngung und Umwelt), ist der sorgfältige Umgang mit ihnen auch ökologisch von grosser Bedeutung. Erschwert wird der gezielte Einsatz der Hofdünger durch die meist grossen anfallenden Mengen, die relativ geringen und nicht genau bekannten Nährstoffgehalte, die je nach Bedingungen unterschiedlich hohen Verluste, vor allem in Form von Ammoniak (NH_3), sowie durch die Unsicherheit in der Vorhersage der Verfügbarkeit der verschiedenen Fraktionen des Hofdüngerkstickstoffs, insbesondere des organisch gebundenen Stickstoffs (N). Richtwerte bilden in der Regel die einzige Möglichkeit, Hofdünger quantitativ und qualitativ zu beurteilen, auch wenn einzelbetrieblich oft mehr oder weniger grosse Abweichungen von den effektiven Nährstoffflüssen in Hofdüngern festzustellen sind. In Kombination mit Angaben über mögliche Abweichungen der Nährstoffflüsse und generellen Anwendungsempfehlungen können Richtwerte zu den tierischen Ausscheidungen und den Nährstoffgehalten der Hofdünger einen wesentlichen Beitrag zu einem agronomisch und ökologisch sinnvollen Umgang mit Hofdüngern leisten.

2.2 Anfall und Nährstoffgehalte von Hofdüngern

2.2.1 Datengrundlagen und Berechnungsmethoden

Die Nutztiere scheiden einen grossen Teil der durch das Futter aufgenommenen Stoffe mit den Exkrementen wie-

der aus (Abbildung 1). Je nach Nährstoff, Tierart, Fütterung, Leistungsniveau, Tiergesundheit usw. kann der ausgeschiedene Anteil der aufgenommenen Nährstoffe innerhalb eines Landwirtschaftsbetriebes zwischen 50 und 100 % variieren. Durch die Verwendung der Exkremente als Dünger kann aber der betriebsinterne Nährstoffkreislauf grösstenteils geschlossen werden.

Alle Angaben über die Nährstoffausscheidungen der Nutztiere und die Nährstoffgehalte der Hofdünger basieren auf Bilanzrechnungen: Aufnahme im Futter minus Retention in Tierkörper, Milch und Eiern. Diese Berechnungen orientieren sich an Fütterungsplänen mit verschiedenen Futtermitteln und teilweise an Erhebungen in der Praxis. Sie berücksichtigen den aktuellen Stand der Produktionstechnik in der Praxis. Der Nähr- und Mineralstoffbedarf der Nutztiere wurde den Fütterungsnormen von Agroscope (Agroscope 2015, 2016) entnommen. Für die Raufuttergehalte wurden die Referenzwerte für Nährwerte von Raufutter von Agroscope (2017) verwendet. Die Nährstoffgehalte in den tierischen Produkten sind in Tabelle 1 enthalten.



Abbildung 1 | Die pflanzen- und umweltgerechte Verwertung der von Nutztieren ausgeschiedenen Nährstoffe ist eine Herausforderung für tierhaltende Betriebe (Foto: Harald Menzi, Agroscope).

Als Folge von N-Verlusten im Stall, bei der Lagerung und Ausbringung sowie einer unvollständigen Verfügbarkeit des organisch gebundenen N entspricht die N-Menge in den Ausscheidungen oder in den ausgebrachten Hofdüngern nicht der Menge, die in der Düngung eingesetzt werden kann. Es wird daher zwischen Gesamt-N (N_{tot} ; analytisch bestimmbar; vgl. Definition in Anhang 1), gelöstem N ($N_{\text{lös}}$; analytisch bestimmbar; vgl. Definition in Anhang 1) und bei guter Produktionstechnik pflanzenverfügbarem N (N_{verf} ; ermittelt anhand von Ergebnissen aus langjähriger Versuchstätigkeit; vgl. Definition in Anhang 1) unterschieden. Im Allgemeinen wird angenommen, dass mittelfristig im Durchschnitt aller Nutztierarten etwa 60 % des Gesamt-N in den Hofdüngern für die Pflanzen verfügbar wird. Unter Berücksichtigung unvermeidbarer Verluste im

Stall und während der Lagerung entspricht dies einer gesamtbetrieblichen Verfügbarkeit des von den Tieren ausgeschiedenen N von etwa 50 %.

2.2.2 Nährstoffausscheidungen der Nutztiere

Tabelle 2 zeigt die Nährstoffmengen, die von verschiedenen Nutztierarten bei durchschnittlichen Produktionsbedingungen pro Einheit (Tier oder Tierplatz) und Jahr ausgeschieden werden. Alle Angaben beziehen sich auf die tierischen Ausscheidungen (ohne Einstreu) bei durchschnittlicher Produktionsintensität und einer Fütterung gemäss den Empfehlungen von Agroscope (Agroscope 2015, 2016). Allfällige Abweichungen von den Richtwerten bzw. Angaben zu möglichen Korrekturen für betriebsspezifische Berechnungen sind in Tabelle 3 aufgeführt. Dokumentierende Angaben zu den bei den Berechnungen verwendeten Annahmen sind in Anhang 2 zusammengefasst.

Tabelle 1 | Nährstoffgehalte von Tierkörpern, Milch und Eiern.

Diese Werte werden in Bilanzrechnungen zur Bestimmung der Nährstoffausscheidungen verwendet.

Tierart/Produkt	Nährstoffgehalt (g/kg Lebendgewicht, g/l Milch, g/kg Ei)						
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	Ca
Milchkuh	25	6,0	14	1,6	1,9	0,50	11,6
Kalb	24	5,9	14	1,6	1,9	0,35	11,0
Mastmuni	28	7,0	16	2,1	2,5	0,40	13,0
Schaf	22	6,0	14	1,2	1,4	0,30	11,0
Ziege	21	5,3	12	1,5	1,8	0,35	9,0
Ferkel	25	5,3	12	2,3	2,9	0,34	8,3
Schwein, Mastzunahme (25–120 kg)	26	5,4	12	2,3	2,8	0,30	8,0
Mastschwein, Sau ¹	25	5,1	12	2,2	2,7	0,30	8,0
Geflügel	29	5,8	13	2,6	3,1	0,30	10,0
Milch	5,5	1,0	2,3	1,6	1,9	0,10	1,2
Eier	18	1,8	4,2	1,2	1,4	0,50	33,0

¹ Mutterschweine werden in Bilanzen meist nicht berücksichtigt.

Tabelle 2 | Richtwerte für Nährstoffausscheidungen im Kot und Harn verschiedener Nutztierarten.

Angaben für zusätzliche Nutztierarten sind in Anhang 3 aufgeführt.

Tierart/Nutzungsrichtung		Nährstoffausscheidung in kg pro Einheit (Tier oder Tierplatz) und Jahr						Grundfutter- verzehr (dt Trocken- substanz/Jahr)	
		N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg		Ca
Milchkuh	7500 kg Jahresleistung ¹	112	17	39	143	172	14	36	56
Mutterkuh ²	schwere Rassen (> 700 kg)	95	14	31	131	158	10	30	50
	mittelschwere Rassen (600–700 kg)	85	12	28	117	141	9,0	27	45
	leichte Rassen (< 600 kg)	72	10	24	98	118	8,0	23	38
Aufzuchtrind ^{A1}	unter 1-jährig	25	3,3	7,5	29	35	4,0	10	11
	1- bis 2-jährig	40	5,7	13	50	60	5,0	15	22
	über 2-jährig	55	8,7	20	62	75	7,0	23	33
Mastkalb ^{A2}	pro Platz	18	3,1	7,1	9,4	11	1,1	7,0	1,0
	pro gemästetes Tier	5,5	0,9	2,1	2,8	3,4	0,3	2,1	0,3
Mutterkuhkalb ^{A3}	bis ca. 350 kg, pro gemästetes Tier	22	3,1	7,0	20	24	1,3	3,8	6,0
	bis ca. 220 kg, pro gemästetes Tier	9,0	1,4	3,2	5,5	6,6	0,6	1,5	1,0
Rindviehmast (Muni) (65–530 kg) ^{A4}	bis Alter 160 Tage, pro Platz	23	2,2	5,0	19	23	1,3	2,9	6
	Alter > 160 Tage, pro Platz	49	5,7	13	34	42	4,2	15	21
Rindviehweidemast (65–530 kg) ^{A5}		40	5,2	12	46	55	4,0	13	16
Zuchttier		50	7,9	18	70	85	5,0	20	30
Stute mit Fohlen ^{A6}		52	13	31	73	88	7	23	29
anderes Pferd ^{A7}	über 3-jährig	44	10	23	62	75	5	19	29
Fohlen	0,5- bis 3-jährig	42	8	18	56	67	4	14	26
Ziegenplatz ³		17	2,5	5,7	20	24	1,5	6,5	7,5
Schafplatz ^{3, A8}		18	2,6	6,0	21	25	2,0	7,0	8
Milchschaafplatz ³		20	3,7	8,5	24	29	2,1	7,4	9
Mastschwein/Remonte ^{4, A9}	pro Platz	13	2,3	5,3	4,8	5,8	1,4	3,3	0
	pro produziertes Tier	3,9	0,7	1,6	1,5	1,8	0,40	1,0	0
Zuchtschweineplatz ^{5, A10}		44	9,2	21	19	23	4,2	11	0
Eber		18	4,4	10	8,0	9,6	1,5	6,0	0
säugende Zuchtsau ^{5, A10}	pro Platz	49	10	23	15	18	4,4	12	0
	pro Sau und Umtrieb	5,0	1,0	2,3	1,5	1,8	0,40	1,2	0
Galtsau ^{5, A10}	pro Platz	25	6,5	15	14	16	2,3	8,5	0
	pro Sau und Umtrieb	8,3	2,2	5,1	4,6	5,5	0,80	2,9	0
abgesetzte Ferkel ^{5, A10}	pro Platz	3,9	0,73	1,7	1,9	2,3	0,50	0,70	0
	pro aufgezogenes Ferkel	0,41	0,08	0,17	0,20	0,24	0,05	0,08	0

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Tierart		Nährstoffausscheidung in kg pro Einheit (Tier oder Tierplatz) und Jahr							Grundfutterverzehr (dt Trockensubstanz/Jahr)
		N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	Ca	
Legehennen ^{6, A11}	pro 100 Plätze	80	20	46	25	30	6,5	100	0
Junghennen ^{A12}	pro 100 Plätze	30	7,4	17	10	12	2,5	11	0
	pro 100 aufgezogene Tiere	13	3,3	7,5	4,5	5,4	1,1	5	0
Mastpoulets ^{7, A13}	pro 100 Plätze	36	6,0	13	18	22	4,4	4	0
Masttruten ⁸	pro 100 Plätze	140	31	70	33	40	18	35	0
	pro 100 gemästete Tiere	48	11	25	11	13	6,5	12	0

Fussnoten¹⁻⁸ vgl. Tabelle 3Fussnoten^{A1-A13} vgl. Anhang 2

Tabelle 3 | Fussnoten zu Tabelle 2 mit Angaben zur richtigen Zuordnung der Kategorien oder zu betriebsspezifischen Korrekturen, die für Nährstoffflussberechnungen wichtig sind.

Weitere Fussnoten zu den Annahmen, die für die Berechnungen der Nährstoffausscheidungen angenommen wurden, finden sich in Anhang 2.

Fussnote in Tabelle 2	Tierart/ Nutzungsrichtung	Beschreibung der Produktion
1	Milchkuh	Mittlere Jahresmilchleistung: 7500 kg; mittleres Lebendgewicht ausgewachsen: 660 kg. Je 1000 kg geringerer Leistung verringern sich die Ausscheidungen um 5 % N, 7 % P (P ₂ O ₅), 3 % K (K ₂ O), 7 % Mg, 6 % Ca und der Grundfutterverzehr um 1.5 %; je 1000 kg höherer Leistung erhöhen sich die Ausscheidungen und der Grundfutterverzehr im gleichen Verhältnis. Diese Korrektur berücksichtigt auch die Unterschiede im Lebendgewicht.
2	Mutterkuh	Mutterkuh (1 Kalb); die angegebenen Ausscheidungswerte beziehen sich auf das Muttertier ohne Kalb. Für Kühe mit mehr als einem Kalb können die Werte der nächstschwereren Kategorie verwendet werden. Schwere Rassen: 720–800 kg mittleres ausgewachsenes Lebendgewicht (z. B. Limousin, Blonde d'Aquitaine, Charolais). Mittelschwere Rassen: 600–700 kg (z. B. Braunvieh, Simmental, Angus, F1-Kreuzungskühe). Leichte Rassen: 500–550 kg (z. B. Galloway, Grauvieh, Eringer).
3	Schaf- und Ziegenplatz	Muttertier inkl. Remontierung von Zuchttieren, Ausmast der übrigen Jungtiere und Anteil Bock.
4	Mastschweineplatz	Der Anfall von P basiert auf einem Gehalt von 5,2 g P pro kg Futter (14 MJ ¹ VES ² pro kg Futter; Standardfutter ohne stickstoff- und phosphorreduziertes Futter [NPr]; Phasenfütterung). Abweichungen um 1 g P/kg führen zu einem Mehr- bzw. Minderanfall von rund 30 %. Der N-Anfall basiert auf einem Rohprotein(RP)-Gehalt von 170 g/kg Futter (14 MJ ¹ VES ² pro kg Futter). Abweichungen um 10 g RP/kg führen zu einem Mehr- bzw. Minderanfall von rund 9 %. Detailliertere Angaben zur Berechnung der Ausscheidungen beim Einsatz von Futtermitteln mit reduziertem N- und P-Gehalt sind in den Suisse-Bilanz-Zusatzmodulen 6 und 7 (Agridea und BLW 2016) aufgeführt.
5	Zuchtschweine	Pro Zuchtschweineplatz und Jahr basiert der N- und P-Anfall auf einem mittleren RP-Gehalt von 173 g/kg und einem P-Gehalt von 5,8 g/kg (für Sauen Kombifutter; Anteil Sauenfutter 61 %, Anteil Ferkelfutter 39 %). Pro 10 g Reduktion des RP-Gehaltes ergibt sich eine Reduktion der N-Ausscheidungen um 8 %, pro 1 g Reduktion des P-Gehaltes eine Reduktion der P-Ausscheidungen um 24 %. Für die arbeitsteilige Produktion (bzw. unterschiedliches Futter für säugende Sauen und Galtsauen) wurde als Basiswert ein RP-Gehalt von 145 g/kg für Galtsauenfutter, 180 g/kg für Säugendsauenfutter und 177 g/kg für Ferkelfutter sowie für den P-Gehalt für Sauen (galt und säugend) 6 g/kg und für Ferkel 5,7 g/kg angenommen. Pro 10 g Reduktion des RP-Gehaltes ergibt sich eine Reduktion der N-Ausscheidungen um 6 % für Galtsauen, 8 % für säugende Sauen und 12 % für Ferkel. Pro g Reduktion des P-Gehaltes ergibt sich eine Reduktion der P-Ausscheidungen um 18 % für Galtsauen, 23 % für säugende Sauen und 40 % für Ferkel. Detailliertere Angaben zur Berechnung der Ausscheidungen beim Einsatz von Futtermitteln mit reduziertem N- und P-Gehalt sind in den Suisse-Bilanz-Zusatzmodulen 6 und 7 (Agridea und BLW 2016) aufgeführt.
6	Legehennen	Der P-Anfall basiert auf einem Gehalt von 5,7 g P pro kg Futter. Abweichungen um 1 g P/kg führen zu einem Mehr- bzw. Minderanfall von rund 20 %.
7	Mastpoulets	Für die Nährstoffbilanz können die Ausscheidungen mit dem entsprechenden Hilfsmittel (Suisse-Bilanz-Zusatzmodul 7 «Import/Export-Bilanz», Agridea und BLW 2016) unter Berücksichtigung der effektiven Ein- und Ausstellungen berechnet werden. Für Betriebe mit einem Durchschnittsbestand ab 3000 Tieren ist diese Berechnung obligatorisch.
8	Masttruten	Produktion von Truten mit einem durchschnittlichen Mastendgewicht von 12 kg und 2,8 Umtrieben pro Jahr. Bei Truten-Vormastplätzen (bis etwa 1,5 kg Lebendgewicht, 6 Umtriebe pro Jahr) kann pro 100 Tierplätze und Jahr mit einem Anfall von 40 kg N, 9 kg P und 10 kg K gerechnet werden. Für die Ausmast (von 1,5 bis 13 kg Lebendgewicht; 2,9 Umtriebe pro Jahr) beträgt der entsprechende Anfall pro 100 Plätze 230 kg N, 50 kg P und 58 kg K.

¹ Megajoule² Verdauliche Energie Schwein

Für Rindvieh und Kleinwiederkäuer beziehen sich die Angaben auf Tierzahlen gemäss Tierverkehrsdatenbank (TVD; ohne Leerzeiten). Für Schweine und Geflügel wurden übliche Leerzeiten zwischen Umtrieben in den Angaben pro Tierplatz und Jahr berücksichtigt (vgl. Anhang 2).

Für besondere Fälle sind für einzelne Tierkategorien mit klar abgegrenzten Produktionszyklen (ohne ganzjährige Produktion) neben den Standardangaben pro Tierplatz und Jahr auch Angaben pro produziertem Tier aufgeführt.

Angaben zu den Ausscheidungen und zum Grundfutterverzehr zusätzlicher Tierkategorien sind in Anhang 3 aufgeführt.

2.2.3 Hofdüngeranfall

Die Fütterung beeinflusst die Menge an tierischen Exkrementen und somit die anfallende Gülle- und Mistmenge. Die Richtwerte für den Gülle- und Mistanfall bei verschiedenen Nutztierarten und Aufstallungssystemen (Tabelle 4) dienen in erster Linie der Bemessung des benötigten Hofdüngerlagerraumes sowie der groben Planung der Düngung.

Ob nur Gülle, Mist und Gülle oder nur Mist produziert werden, hängt vom Aufstallungssystem ab. Für Anbinde- und Laufställe kann mit den gleichen Hofdüngermengen gerechnet werden. In der aufgeführten Mistmenge sind

Tabelle 4 | Richtwerte für den jährlichen Anfall von Hofdüngern verschiedener Nutztierarten in Abhängigkeit des Aufstallungssystems.

	Tierart/Nutzungsrichtung	Hofdüngeranfall und Stroheinsatz pro Jahr bei Stallhaltung ¹ in Abhängigkeit des Aufstallungssystems ²					
		nur Gülle ³ (m ³)	Gülle/Mist ^{3, 4}			nur Mist ⁴	
			Stroh-einsatz (dt/Jahr)	Gülle kotarm (m ³)	Mist (t)	Stroh-einsatz (dt/Jahr)	Mist (t)
1	Milchkuh mit 7500 kg Jahresleistung ⁵	23	6,8	11	8,9	30	21
1	Mutterkuh, schwer ⁶	19	5,0	9,4	7,6	25	18
1	mittelschwer ⁶	17	5,0	8,7	6,7	25	16
1	leicht ⁶	15	5,0	7,0	5,7	25	13
1	Aufzuchtrind, unter 1-jährig	4,8	1,5	2,4	2,0	8,0	4,6
1	Aufzuchtrind, 1- bis 2-jährig	8,0	2,5	4,0	3,2	12	7,6
1	Aufzuchtrind, über 2-jährig	12	3,5	5,4	4,4	16	10
1	Mastkälberplatz					4,2	3,2
1	Mutterkuhkalb, bis ca. 350 kg	4,1	1,3	2,0	1,6	4,2	3,8
1	Mutterkuhkalb, bis ca. 220 kg	1,6	0,6	0,8	0,6	2,4	1,5
1	Rindviehmastplatz, bis Alter 160 Tage	4,5	je nach Stall ⁷			11,0	5,0
1	Rindviehmastplatz, Alter > 160 Tage	10	je nach Stall ⁷			16	11
1	Pferd (Frischmist)					29	12 ⁸
1	Stute mit Fohlen, bis 0,5-jährig (Frischmist)					36	14 ⁸
1	Fohlen, 0,5–2,5 Jahre (Frischmist)					15	10 ⁸
1	Ziegenplatz					3,7	1,7
1	Schafplatz					3,7	1,7
1	Milchschaafplatz					3,7	2,3
1	Mastschweineplatz	1,6	je nach Stall ⁷			2,6	1,2
1	Zuchtschweineplatz	7,5	je nach Stall ⁷			8,0	4,2
1	Abferkelsauenplatz	8,2	je nach Stall ⁷			10	3,5
1	Galtsauenplatz	5,5	je nach Stall ⁷			6,0	2,3
1	Ferkelplatz	0,6	je nach Stall ⁷			1,0	0,3
				Kotgrube/ Boden- haltung			
100	Legehennenplätze	2,7		1,5			
100	Junghennenplätze	1,0		0,6			
100	Mastpouletplätze			0,8			
100	Masttrutenplätze			3,0			

typische Einstreumengen und Lagerungsverluste berücksichtigt. Die Lagerungsverluste können je nach Mistart, Art der Lagerung, klimatischen Bedingungen usw. variieren. Daher kann auch die Mistmenge vom aufgeführten Wert abweichen.

Die Angaben beziehen sich auf eine dauernde Stallbelegung. Bei zeitweiser Stallabwesenheit der Tiere (Weide) ist die Gülle- und Mistmenge zeitproportional zu reduzieren (Abbildung 2). Bei z. B. 200 Tagen Weide à 8 h/Tag ist die Berechnung wie folgt:

$$(200 \times 8) / (365 \times 24) \times 100 \rightarrow \text{Reduktion um } 18,3 \%$$

Fussnoten zu Tabelle 4, Seite 4/6

- ¹ Bei zeitweiser Stallabwesenheit (Weidegang, Alpung) sind die anfallenden Hofdüngermengen entsprechend der Anzahl abwesender Tage geringer. Die Mengen beziehen sich auf eine mittlere Leistungsstufe. Bei höherer Produktionsintensität ist die anfallende Hofdüngermenge entsprechend höher.
- ² Ob nur Gülle, Mist und Gülle oder nur Mist produziert werden, hängt vom Aufstallungssystem ab. Für Anbinde- und Laufställe kann mit den gleichen Mengen gerechnet werden. In der aufgeführten Mistmenge sind Lagerungsverluste berücksichtigt. Diese können je nach Mistart, Art der Lagerung, klimatischen Bedingungen usw. variieren. Daher kann auch die Mistmenge vom aufgeführten Wert abweichen.
Für Stapelmist und Laufstallmist (vgl. Anhang 1) kann ein mittleres Raumgewicht von 700–800 kg/m³ angenommen werden. Mit Mistkran oder Frontlader geladener Mist wiegt auf dem Wagen rund 550–650 kg/m³, von Hand geladener 700–800 kg/m³. Alle diese Werte gelten nicht für Mist, der zum grössten Teil Futterreste oder andere organische Abfälle enthält, und nicht für abgeschorrt Kot ohne Einstreu (Alpställe). Für betriebsspezifische Angaben empfiehlt es sich, das Gewicht durch Wägungen mehrerer normal geladener Mistzetter zu bestimmen.
- ³ Die Gülleart ist neben der Tierart hauptsächlich vom darin enthaltenen Kotanteil abhängig. Die Güllemengen beziehen sich alle auf unverdünnte Gülle. Die durch die Zufuhr von Abwasser entstehende zusätzliche Menge muss anhand von Tabelle 5 bestimmt werden. Üblich ist eine Verdünnung (Teile Gülle : Teile Wasser) von ca. 1 : 1.
- ⁴ Die Mistart und -qualität ist abhängig von der Einstreumenge und vom darin enthaltenen Kot- und Harnanteil. Wird viel eingestreut und/oder wenig Kot abgeschorrt, dann entsteht ein strohreicher Mist. Gewichtsmässig ist der Einfluss der Einstreumenge auf den Mistanfall gering.
- ⁵ Bezieht sich auf eine mittlere Jahresmilchleistung von 7500 kg. Je 1000 kg geringere Leistung ist mit 5 % geringeren, je 1000 kg Mehrleistung mit 5 % höheren Werten zu rechnen. Diese Korrektur berücksichtigt auch die Unterschiede im Lebendgewicht.
- ⁶ Schwere Rassen: > 700 kg
Mittelschwere Rassen: 600–700 kg
Leichte Rassen: < 600 kg
- ⁷ In diesen Ställen entsteht in der Regel je auf einem Teil der Fläche Gülle bzw. Mist. Die Produkte sind deshalb Vollgülle und Laufstallmist gleichzusetzen. Die Aufteilung kann überschlagsmässig anhand des Flächenanteils bestimmt werden. Beispiel: Bei einem Stall mit 60 % eingestreuter Fläche und 40 % Spaltenboden ist mit 60 % der angegebenen Laufstallmistmenge und 40 % der angegebenen Vollgüllemenge zu rechnen.
- ⁸ Die angegebenen Werte beziehen sich auf frischen Pferdemist (weniger als ein Monat gelagert). Bei längerer Lagerung bzw. Verrottung (mehr als drei Monate) kann mit der Hälfte des angegebenen Wertes gerechnet werden.

Die Hofdüngermengen beziehen sich auf eine mittlere Leistungsstufe (vgl. Tabelle 3 und Anhang 2); bei höherer Produktionsintensität ist die anfallende Menge entsprechend höher.

Die Angaben in Tabelle 4 beziehen sich auf unverdünnte Gülle. Auf den meisten Betrieben gelangen neben der Gülle auch bedeutende Mengen an Wasser in die Güllegrube: Wasser aus der Stallreinigung, Abwasser aus der Milchammer, Regenwasser von nicht überdachten Plätzen, Haushaltabwasser usw. Die effektive Güllemenge kann daher erst bestimmt werden, wenn neben dem Anfall an unverdünnter Gülle auch die in die Gülle gelangte Wassermenge bekannt ist. Entsprechende Richtwerte sind in Tabelle 5 enthalten. Üblich ist eine Verdünnung (Teile Gülle : Teile Wasser) von ca. 1 : 1. Zur Verhinderung grösserer N-Verluste beim Ausbringen (NH₃-Verflüchtigung, vgl. Modul 7/ Düngung und Umwelt, Tabelle 2) ist insbesondere während des Sommers eine stärkere Verdünnung empfehlenswert.

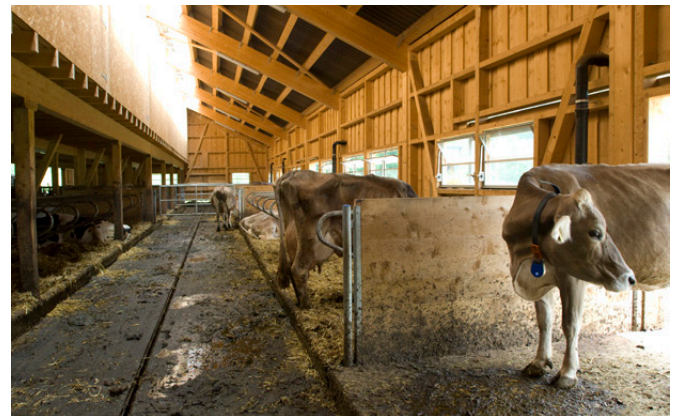


Abbildung 2 | Bei zeitweiser Stallabwesenheit der Tiere ist die Gülle- und Mistmenge zeitproportional zu reduzieren (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope).

2.2.4 Nährstoffgehalte von Hofdüngern

Die Richtwerte zu den durchschnittlichen Nährstoffgehalten von Gülle und Mist verschiedener Tierarten sind in Tabelle 6 ersichtlich. Für Gülle sind die Gehalte der unverdünnten Gülle aufgeführt. Zur Bestimmung des Gehaltes der verdünnten Gülle muss die zusätzlich in die Gülle gelangende Wassermenge gemäss Tabelle 5 mitberücksichtigt werden:

Gehalt verdünnt	=	Gehalt unverdünnt
		(Teile Gülle unverdünnt + Teile Wasser)

Die Fütterung beeinflusst den Nährstoffgehalt der Hofdünger. Die Richtwerte sind jedoch so festgelegt, dass Korrekturen nur bei besonderen Bedingungen (Anhang 2) nötig sind. Dies kann beispielsweise im Biolandbau der Fall sein, wenn der K-Gehalt des Raufutters generell vom Standardwert abweicht oder der P-Gehalt der Schweine- und Geflügelrationen wegen des Verbotes von Phytase höher ist als in der konventionellen Produktion. Die Aufberei-

Tabelle 5 | Richtwerte zur Ermittlung der in die Güllegrube geleiteten Abwassermengen (vgl. BAFU und BLW 2011).
Der Wasserverbrauch pro Grossvieheinheit (GVE) kann stark variieren. Genauere Angaben für den Einzelbetrieb lassen sich mit Wasseruhren bestimmen.

Tierart/Art des Abwassers	Bezugsbasis	m ³ /Monat		m ³ /Jahr
		Sommer	Winter	
Rindvieh Stallreinigung und Tierpflege (Rindvieh) ¹ Betreiben einer Schwemmenmistung ²	GVE GVE	1,0 0,5	0,2 0,5	7,0 6,0
Schweine Stallreinigung und Tierpflege ³	MSP ⁹	0,04		0,5
Geflügel Reinigung von Legehennenställen ³ Reinigung von Mastgeflügelställen ³	1000 LHP ¹⁰ 1000 MPP ¹¹	0,2 0,4		2,5 5,0
Gülle des Mistplatzes , Ablauf befestigter und nicht überdachter Laufplätze , nicht überdachte Flachsiloplaten mit vollständiger Entwässerung in die Güllegrube	m ² und 100 mm Niederschlag	0,1		1,2
Ablauf nicht überdachter Flachsiloplatte mit Entwässerung über eine Silosaftrinne ⁴	m ² und 100 mm Niederschlag	0,025		0,3
Reinigung von Milchkammer Kühltank ⁵ Eimermelkanlage Rohrmelkanlage (Anbindestall oder Melkstand) Standplätze im Melkstand ⁶ Automatisches Melksystem (AMS) ⁷	Melkeinheit (ME) Tankvolumen (L) ME ME Standplatz (S) Einheit	0,5 + 0,05 × ME 0,0015 × L 3 + 0,5 × ME 4 + 0,5 × ME 0,5 × S 25		6 + 0,6 × ME 0,018 × L 36 + 6 × ME 48 + 6 × ME 6 × S 300
Haushaltabwasser ⁸ normale Verhältnisse mit Waschmaschine, Dusche/Bad und WC einfache sanitäre Einrichtungen Sonderfälle mit dauernd deutlich geringerem Abwasseranfall	Bewohner Bewohner Bewohner	5,0 3,5 2,0		60 42 24

¹ Die angegebene Wasserzufuhr reicht im Allgemeinen für das Betreiben einer Treibentmistung mit Staunase.

² Diese Wassermenge wird meistens zusätzlich zur Menge für die normale Stallreinigung eingesetzt. Sie wird für ein einwandfreies Funktionieren des Systems benötigt und kann daher auch im Winter kaum reduziert werden.

³ Wird für die Reinigung kein Hochdruckreiniger eingesetzt, ist die Menge bedeutend höher. In der Regel fällt nur am Ende des Umtriebes Reinigungswasser an.

⁴ Unverschmutztes Niederschlagswasser auf Siloplatte wird zur Versickerung abgeleitet.

⁵ Bei täglich einmaliger Reinigung.

⁶ Pro Standplatz, inkl. Reinigung der Melkgrube. Melkkarussell: Die Angaben des Herstellers sind zu beachten.

⁷ 0,5–0,8 Liter Abwasser pro kg Milch pro Jahr. Kann im Einzelfall noch höher liegen.

⁸ Es ist zu klären, ob die Einleitung des Abwassers in die Güllegrube im konkreten Fall gemäss BAFU und BLW (2011) zulässig ist.

⁹ Mastschweineplatz

¹⁰ Legehennenplätze

¹¹ Mastpouletplätze

tion der Hofdünger (vgl. Kapitel 2.4) kann deren Nährstoffgehalte wesentlich verändern.

2.3 Verfügbarkeit des Stickstoffs in den Hofdüngern

Überall, wo Hofdünger gelagert oder ausgebracht werden, geht N, hauptsächlich in Form von NH₃, verloren. Für die unvermeidbaren Verluste im Stall und während der Lagerung werden bei Rindvieh üblicherweise beim Laufstall 20 % und beim Anbindestall 15 % des ausgeschiedenen N angenommen, bei Schweinen 20 % und bei Geflügel 30–50 %. Für die Berechnung der Richtwerte der Hofdünger-gehalte von Rindvieh (Tabelle 6) wurden die unvermeidbaren Verluste für Laufställe angenommen.

Auch beim Ausbringen von Gülle und Mist treten N-Verluste in Form von NH₃-Verflüchtigung auf. Zudem ist ein Teil des N in Gülle und Mist organisch gebunden und für die Pflanzen nicht unmittelbar verfügbar. Dieser N wird Bestandteil der

organischen Substanz des Bodens und erst durch – zum Teil Jahre dauernde – Abbauprozesse mineralisiert und für die Pflanzen verfügbar. Der Zeitpunkt und die Intensität der Mineralisierung sind äusserst schwierig abzuschätzen. Der verfügbare N (N_{verf}) in den Hofdüngern entspricht der zu erwartenden N-Menge, die bei sorgfältiger Hofdüngerewirtschaft von den Pflanzen im Verlauf von etwa drei Jahren aufnehmbar ist. Er setzt sich aus dem löslichen N-Anteil (N_{lös}), der nach dem verlustarmen Ausbringen den Pflanzen rasch zur Verfügung steht, und dem mittelfristig (zwei bis drei Jahre nach der Hofdüngerausbringung) aus der organischen Substanz mineralisierbaren Anteil zusammen. Tabelle 7 zeigt die durchschnittliche Wirkung verschiedener Hofdünger im Anwendungsjahr und ihre mittelfristige N-Wirkung.

Für Parzellen, die regelmässig Hofdünger erhalten, können die Angaben über den verfügbaren N aus der ersten Spalte von Tabelle 7 direkt übernommen werden, da damit auf einfache Weise auch die Nachwirkungen früherer

Tabelle 6 | Richtwerte der Gehalte an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS) und Nährstoffen von Hofdüngern verschiedener Nutztierarten bei Stallhaltung.

Tierart/Hofdüngerart	Gehalte (kg/m ³ unverdünnte Gülle bzw. kg/t Mist)										
	TS	OS	N _{tot} ³	N _{lös} ³	N _{verf} ³	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	Ca
Kühe/Rindviehaufzucht											
Vollgülle ¹	90	70	3,9	2,1	2,0–2,7	0,74	1,7	6,2	7,5	0,61	1,5
Gülle, kotarm ¹	75	40	4,5	2,9	2,9–3,8	0,47	1,1	9,0	11	0,58	1,0
Stapelmist ²	190	150	4,5	0,7	0,9–1,8	1,3	3,0	5,1	6,1	0,93	3,0
Laufstallmist ²	210	175	4,9	1,2	1,2–2,5	0,94	2,2	8,4	10	0,82	2,2
Rindviehmast											
Vollgülle ¹	90	65	4,0	2,1	2,0–2,8	0,55	1,3	3,7	4,5	0,37	1,2
Laufstallmist ²	210	155	4,1	1,0	1,0–1,8	0,57	1,3	4,4	5,3	0,42	1,5
Kälber											
Kälbermist ²	200	150	5,0	1,9	1,3–2,5	1,1	2,5	4,7	5,7	0,89	1,7
Pferde											
Pferdemist, frisch ²	350	300	4,4	1,2	0,3–0,8	1,1	2,5	8,1	9,8	0,6	2,5
Pferdemist ²	350	240	6,8	0,7	0,7–1,8	2,2	5,0	16,2	19	1,3	5,0
Schafe/Ziegen											
Schaf-/Ziegenmist ²	270	200	8,2	2,4	3,3–4,9	1,6	3,7	14	17	1,3	4,9
Schweine											
Schweinegülle Mast ^{1,4}	50	36	6,5	4,6	3,3–4,6	1,4	3,2	3,0	3,6	0,88	2,1
Schweinegülle Zucht ^{1,5}	50	33	4,7	3,3	2,4–3,4	1,2	2,7	2,5	3,0	0,56	1,5
Schweinemist ²	270	230	8,8	2,6	3,5–5,3	2,9	6,6	6,0	7,3	1,5	5,0
Geflügel											
Hennen/Junghennenkot (Kotband) ²	350	250	21	6,3	8,4–13	7,4	17	9,3	11	2,4	37
Hennen/Junghennenmist (Kotgrube, Bodenhaltung) ²	500	330	26	7	11–16	13	30	17	20	4,3	67
Pouletmist ^{2,6}	650	440	32	10	13–19	7,5	17	23	28	5,5	5
Trutenmist ²	600	400	28	7,5	12–18	10	23	10,8	13	6,0	12

¹ Die Güllegehalte beziehen sich auf unverdünnte Gülle. Die durch die Zufuhr von Abwasser entstehende Verdünnung muss anhand von Tabelle 5 bestimmt werden. Beispiel bei Verdünnung 1 : 1,5 (Teile Gülle : Teile Wasser): Gehalt unverdünnt / (1 + 1,5).

² Wo nicht anders angegeben beziehen sich die Werte auf eine mittlere Mistverrottung (vgl. Anhang 1).

³ Für Angaben zu N-Formen und -Verlusten vgl. Kapitel 2.3.

⁴ Für detailliertere Angaben vgl. Fussnote 4 in Tabelle 3.

⁵ Für detailliertere Angaben vgl. Fussnote 5 in Tabelle 3.

⁶ Gilt unabhängig von der Mastdauer für die gebräuchlichsten Systeme.

Hofdüngergaben berücksichtigt werden. Im Futterbau ist eher mit den oberen, im Ackerbau eher mit den unteren Werten des angegebenen Bereichs zu rechnen. Zur Schätzung des im Anwendungsjahr verfügbaren N in der Gülle kann der Gehalt an Ammoniumstickstoff (NH₄⁺-N) verwendet werden. Dieser lässt sich mit Schnelltestmethoden (vgl. Kapitel 2.5.2) auf dem Betrieb mit ausreichender Genauigkeit bestimmen. Die Differenz zwischen dem ausgebrachten Gesamt-N (N_{tot}) und dem verfügbaren N in den Hofdüngern entspricht den nach der Ausbringung auftretenden NH₃-Verlusten und dem Anteil von organisch gebundenem N, der im Boden in Form von organischer Substanz (Humus) über längere Zeiträume gespeichert wird.

Werden die Hofdünger nicht zu einem optimalen Zeitpunkt (Abbildung 3) ausgebracht (nach Ende der Vegetationsperiode im Herbst, bei ungünstigen Witterungs- oder Bodenverhältnissen usw.) kann die N-Wirkung deutlich geringer sein. Der ungenutzte verfügbare N kann dabei zu einem guten Teil durch Auswaschung, Abschwemmung oder Verflüchtigung verloren gehen. Diese Stickstoffverluste belasten die Umwelt und sind daher so gering wie

möglich zu halten. Sie stellen zudem einen ökonomischen Verlust dar, wenn Nährstoffverluste durch Düngerezufuhr kompensiert werden.

2.4 Hofdüngeraufbereitung

2.4.1 Anaerobe Vergärung

Anaerob (unter Luftabschluss) vergorene Gülle weist gegenüber unvergorener Gülle veränderte Eigenschaften auf, die bei der Düngung zu berücksichtigen sind. Die Vergärung von Gülle in Biogasanlagen führt zu einem Abbau der organischen Substanz des Ausgangsmaterials und zu einer Reduktion des Trockensubstanz(TS)-Gehaltes und der Viskosität. Dadurch wird die Gülle fließfähiger und sickert beim Ausbringen rascher in den Boden ein als unvergorene Gülle, wodurch gasförmige N-Verluste verringert werden können.

Infolge des Abbaus der organischen Substanz des Ausgangsmaterials während der Vergärung wird ein Teil des organisch gebundenen N zu pflanzenverfügbarem NH₄⁺ mineralisiert. Dadurch nimmt die Konzentration von NH₄⁺-N

Tabelle 7 | Anteil des mittelfristig und im Anwendungsjahr verfügbaren Stickstoffs (N_{verf}) in verschiedenen Hofdüngern.

Hofdüngerart	Mittelfristige N-Verfügbarkeit in % des Gesamt-N-Gehaltes ¹	N-Verfügbarkeit im Anwendungsjahr in % des Gesamt-N-Gehaltes ²	
		Futterbau	Ackerbau
Vollgülle	50–70	55	45
Rindviehgülle, kotarm	65–85	70	60
Stapelmist	20–40 ³	20	15
Laufstallmist	25–50 ³	25	20
Pferdemist	10–25 ³	15	10
Schaf- und Ziegenmist	40–60 ³	40	30
Schweinegülle	50–70	60	50
Schweinemist	40–60 ³	4	35
Hennenkot (Kotband)	40–60 ³	4	40
Hennenmist (Kotgrube, Bodenhaltung)	40–60 ³	4	35
Geflügelmist (Mast), Poulet, Truten	40–60 ³	4	35

¹ Diese Verfügbarkeit kann bei optimaler Verwertung der Dünger unter durchschnittlichen schweizerischen Boden- und Klimaverhältnissen erreicht werden. Sie umfasst sowohl die kurzfristige Wirkung wie die Nachwirkung in den folgenden Jahren (vgl. auch Definition N_{verf} in Anhang 1). Auf Parzellen, die regelmässig Hofdünger erhalten, kann diese Verfügbarkeit in Düngungsberechnungen verwendet werden, da damit auf einfache Weise auch die Nachwirkung früherer Hofdüngergaben berücksichtigt wird. Bei einmaligen Mistgaben kann die N-Wirkung auf zwei bis drei Jahre verteilt werden. Bei Gülle ist dies kaum sinnvoll. Im Futterbau ist eher mit den oberen, im Ackerbau eher mit den unteren Werten des angegebenen Bereiches zu rechnen.

² N-Verfügbarkeit im Anwendungsjahr bei optimalem, verlustarmem Einsatz der Dünger. Der restliche N wird in den Folgejahren mineralisiert. Die Mineralisierung ist stark von den Boden- und Witterungsbedingungen abhängig. Die N-Verfügbarkeit kann je nach Zeitpunkt der Mineralisierung eine unterschiedliche agronomische und/oder ökologische Wirkung (Ertrag und Qualität der Pflanzen, Verluste) haben (vgl. auch Definition N_{verf} in Anhang 1).

³ Auf Böden mit einem Tongehalt von über 30 % kann höchstens mit dem unteren Wert des Streubereichs der mittelfristigen N-Verfügbarkeit gerechnet werden; oft ist die Verfügbarkeit unter diesen Bodenbedingungen noch wesentlich tiefer. Entsprechend gering ist auch die Verfügbarkeit im ersten Jahr nach der Anwendung.

⁴ Die Anwendung dieser Hofdüngerarten ist im Naturfutterbau nicht empfohlen.

in der vergorenen Gülle zu, während die Konzentration von organisch gebundenem N gleichzeitig abnimmt. Durch die Zunahme des NH_4^+ -Anteils wird die Pflanzenverfügbarkeit des Gülle-N erhöht und besser kalkulierbar.

Im Ausbringungsjahr entspricht die N-Ausnutzung von flüssigem Gärgut aus landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen zumindest derjenigen von Hofdüngern (Tabelle 7). Durch die Zunahme des NH_4^+ -Anteils und die gleichzeitige Abnahme leicht mikrobiell verfügbarer C-Verbindungen (engeres C:N-Verhältnis) wird weniger NH_4^+ -N im Boden immobilisiert. Folglich übersteigt in der Regel die N-Ausnutzung bei optimaler, verlustarmer Ausbringung (z. B. mit Schleppschlauch) im Ausbringungsjahr diejenige von unvergorenen Hofdüngern. Die N-Ausnutzungseffizienz von vergorener Gülle (und Kovergärung mit Kosubstraten) ist um 10–25 % erhöht (Bosshard *et al.* 2010; Möller und Müller 2012; Webb *et al.* 2013).

Der pH-Wert der Gülle steigt während der Vergärung an, da ein Teil des organisch gebundenen N in $(\text{NH}_4^+)_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Ammoniumkarbonat) überführt wird. Der Anstieg des pH-Wertes und des NH_4^+ -N-Anteils erhöht das Potenzial von gasförmigen N-Verlusten bei unsachgemässer Lagerung und Ausbringung.

2.4.2 Fest-Flüssig-Trennung (Separierung)

Dieses mechanische Verfahren trennt die Gülle in Feststoffe (P-haltiger, langsam wirkender Dünger) und in eine

Flüssigphase, die Dünngülle (enthält v. a. gelöste Nährstoffe; schnell wirkender Dünger). Durch das Abtrennen grober Festpartikel aus der Gülle werden die Eigenschaften der Dünngülle verbessert. Die Dünngülle besitzt gegenüber nicht separierter Gülle folgende Vorteile:

- Volumenreduktion
- keine Schwimm- und Deckschichtbildung (i. d. R. kein Rühren vor dem Ausbringen nötig)
- keine Verstopfung der Ausbringaggregate
- schnelles Abfließen auf der Pflanzenoberfläche
- bessere Infiltration in den Boden
- geringere NH_3 -Emissionen
- Verbesserung der N-Ausnutzungseffizienz

Der Nachteil besteht darin, dass zwei Lagerbehälter nötig sind; ein gedeckter für die Flüssigphase und einer für die Feststoffe.

Die Dünngülle kann im Acker- und Futterbau eingesetzt werden. Die Feststoffe können im Ackerbau als Dünger ausgebracht werden, Kompost zugemischt oder (bei TS-Gehalten > 25 %) kompostiert werden.

2.4.3 Güllezusätze

Güllezusätze sind in grosser Anzahl und Vielfalt auf dem Markt. Die angepriesenen Wirkungen sind oft nicht erhärtet und stehen vielfach in Zusammenhang mit einem generell sorgfältigeren Umgang mit der Gülle. Einen Überblick über Güllezusatzprodukte und ihre Wirkungsweise

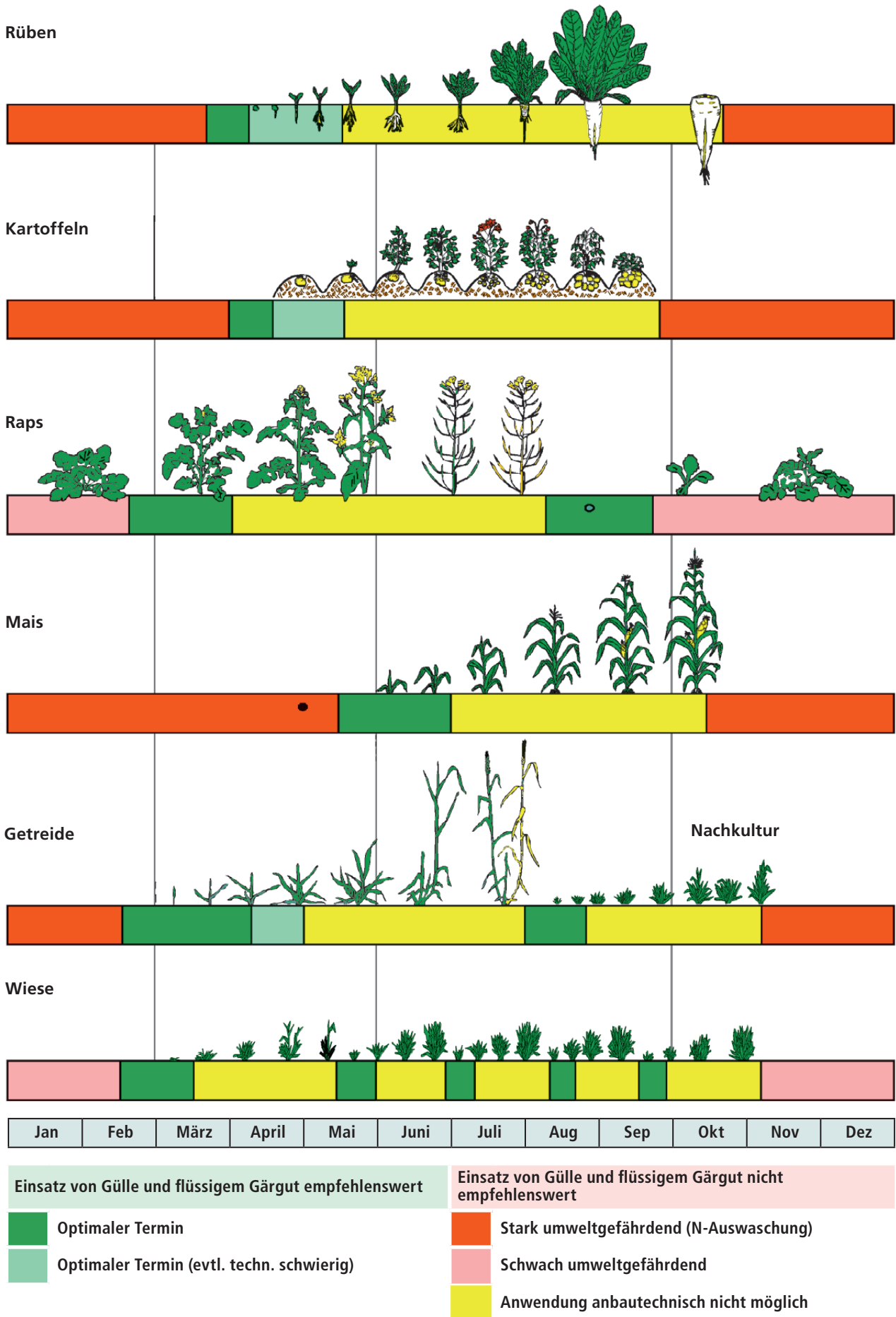


Abbildung 3 | Schematische Darstellung der pflanzenbaulichen und ökologischen Beurteilung verschiedener Zeitspannen der Gülleanwendung auf saugfähigem Boden. Die zeitlichen Angaben sind den Standortbedingungen anzupassen.

geben z. B. AGFF (1999) und IBK Arbeitsgruppe Landwirtschaft und Umweltschutz (2009).

2.4.4 Güllebelüftung

Die kaum mehr gebräuchliche Güllebelüftung weist weder agronomisch noch ökologisch entscheidende Vorteile auf. Bezüglich der Geruchsemissionen zeigt das Verfahren dagegen Vorteile gegenüber der anaeroben Lagerung der Gülle. Dem stehen die Kosten für die Installation und den Betrieb des Systems gegenüber. Bei unsachgemässer Belüftung (zu häufig und/oder zu intensiv) sind hohe N-Verluste in Form von NH_3 -Emissionen unvermeidbar.

2.5 Hofdüngereinsatz

2.5.1 Hofdüngerlagerkapazität und Anwendungszeitpunkt von Gülle und Mist

Gülle und Mist fallen laufend an. Ihre Ausbringungszeitpunkte werden jedoch durch die Kulturart und ihren Nährstoffbedarf, das Entwicklungsstadium der Pflanzen sowie durch Standort- und Witterungsbedingungen (Befahrbarkeit des Bodens, Risiko von Nährstoffverlusten) eingeschränkt. Voraussetzung für einen zeitlich optimalen Einsatz der Hofdünger ist unter anderem eine genügend grosse Lagerkapazität, damit Hofdünger nicht zu ungeeigneten Zeitpunkten bzw. ausserhalb der Vegetationsperiode ausgebracht werden müssen (Abbildung 4). Dabei sollte die Lagerkapazität gemäss BAFU und BLW (2011) im Talgebiet (Tal- und Hügelzone¹) mindestens fünf Monaten und im Berggebiet (Bergzone I–IV) mindestens sechs Monaten entsprechen. Abbildung 3 zeigt, während welchen Perioden bei verschiedenen Kulturen in der Regel ein Hofdüngereinsatz sinnvoll und möglich ist.

2.5.2 Kriterien zur Bemessung der Hofdüngergaben

Die Bemessung der Hofdüngergaben richtet sich in erster Linie nach dem N- und P-Bedarf der Kulturen und dem Gehalt an pflanzenverfügbarem N und Phosphor (P) der Hofdünger; dabei sind die Einzelgaben primär auf den N- und die jährlichen Gaben primär auf den P-Bedarf auszurichten. Für eine ausreichend genaue Bestimmung des NH_4^+ -Gehaltes in der Gülle leisten Schnellmessgeräte (z. B. Güllemax) gute Dienste.

In der Regel sind einzelne Güllegaben von 20–30 m^3/ha im Futterbau und von 30–40 m^3/ha im Ackerbau sinnvoll; für Stallmist wird die Ausbringung von max. 20 t/ha verrottetem Mist pro Gabe empfohlen (BDU 2004).

Bei grösseren Mengen und/oder höheren NH_4^+ -N-Gehalten sowie bei suboptimaler Ausbringtechnik (vgl. Modul 5/ Ausbringtechnik bei Hof-, Recycling- und Mineraldüngern, Tabelle 2) kann das Risiko von Nährstoffverlusten, insbesondere von NH_3 -N, beträchtlich zunehmen. Zur Verringerung

¹ Gemäss Verordnung über den landwirtschaftlichen Produktionskatalog und die Ausscheidung von Zonen (Landwirtschaftliche Zonen-Verordnung, SR 912.1).

von Nährstoffverlusten bei der Ausbringung von Hofdüngern sind die Empfehlungen im Modul 7/ Düngung und Umwelt zu beachten.

Bezüglich der maximalen Ausbringmengen von Einzelgaben sind die Einschränkungen in Tabellen 3 und 4 des Moduls 7/ Düngung und Umwelt zu beachten. Die ausgebrachten Mengen von P, Kalium (K) und Magnesium (Mg) sind nachzurechnen und bei der nächsten Grunddüngung zu berücksichtigen. Grundsätzlich wird für P, K und Mg eine volle Wirkung im Anwendungsjahr angenommen. Beim Einsatz von Gülle sollte die ausgebrachte Nährstoffmenge den nach den Ergebnissen der Bodenuntersuchung korrigierten Pflanzenbedarf bei keinem Nährstoff wesentlich übersteigen.



Abbildung 4 | Eine Voraussetzung für den zeitlich optimalen Einsatz der Gülle ist eine ausreichende Lagerkapazität, damit sie zu pflanzenbaulich optimalen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode ausgebracht werden kann (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope).

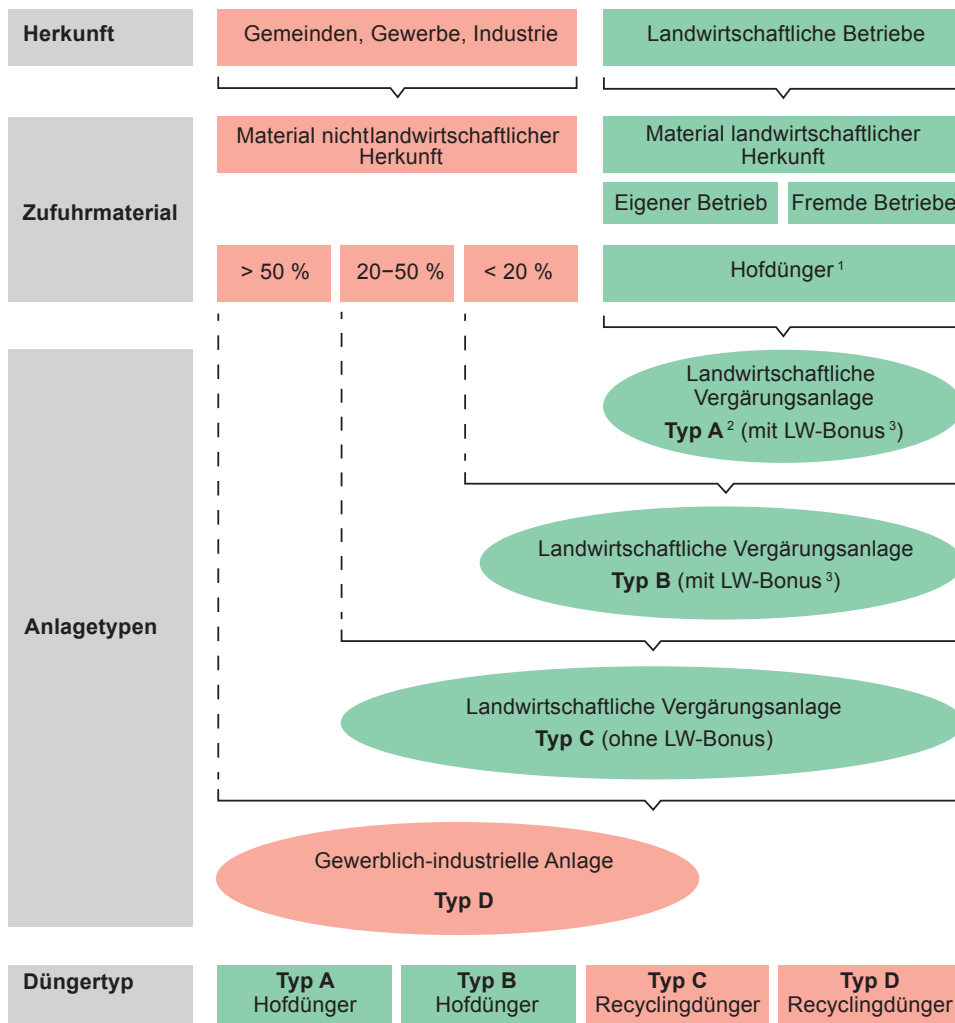
3. Recyclingdünger und Gärgut

3.1 Einleitung

Zu den Recyclingdüngern zählen Kompost, festes und flüssiges Gärgut sowie unverrottetes pflanzliches Material. Kompost ist fachgerecht, unter Luftzutritt (aerob) verrottetes pflanzliches, tierisches oder mikrobielles Material; festes und flüssiges Gärgut ist fachgerecht unter Luftabschluss (anaerob) vergorenes pflanzliches, tierisches oder mikrobielles Material und stammt in der Regel aus gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen (Abbildung 5).

Entsprechend der Dünger-Verordnung (DüV, Art. 5) gilt Gärgut als flüssig, wenn der TS-Gehalt weniger als 20 % beträgt. Flüssiges Gärgut aus der Feststoffvergärung kann jedoch höhere TS-Gehalte aufweisen (Tabelle 8). Gärgut aus landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen gilt als Recyclingdünger, wenn die Hofdünger mit mehr als 20 % Material nicht landwirtschaftlicher Herkunft vergoren werden (Abbildung 5, DüV).

Neben den mengenmässig wichtigeren Recyclingdüngern Kompost und Gärgut gibt es organische Handelsdünger,



¹ Sollte im Hofdünger Material nichtlandwirtschaftlicher Herkunft enthalten sein, wie dies gemäss Dünger-Verordnung (DüV) bis zu max. 20 % möglich ist, muss dies bei der Berechnung des Anteils zur Bestimmung des Anlagentyps berücksichtigt werden.

² Landwirtschaftliche Vergärungsanlagen Typ A vergären kein Zufuhrmaterial nichtlandwirtschaftlicher Herkunft, auch kein Zufuhrmaterial nichtlandwirtschaftlicher Herkunft, das gemäss DüV zugelassen wäre, um immer noch als Hofdünger zu gelten (max. 20 %).

³ Für den Landwirtschafts-Bonus gelten Energiepflanzen und Material nichtlandwirtschaftlicher Herkunft < 20 % (Energieverordnung Anhang 1.5 Ziff. 6.5 Bst. e).

Abbildung 5 | Zuordnung von Vergärungsprodukten zu Hof- und Recyclingdüngern (Abbildung modifiziert aus Agridea und BLW 2013); Gärgut aus landwirtschaftlichen Anlagen mit einem Anteil von mehr als 20 % Frischsubstanz nichtlandwirtschaftlicher Herkunft gilt als Recyclingdünger.

die aus Nebenprodukten der Verarbeitung von tierischen oder pflanzlichen Produkten hergestellt werden. Beispiele sind Hornspäne oder Dünger aus Zuckerrübenmelasse. Diese Dünger werden wegen der relativ hohen Kosten pro Einheit Nährstoff v. a. im Biolandbau in Kulturen mit hoher Wertschöpfung (z.B. Spezialkulturen, Kartoffeln) eingesetzt.

3.2 Nährstoffgehalte von Recyclingdüngern und Gärgut

Ausgehend vom Ausgangsmaterial können die Nährstoffgehalte in Gärgut und Kompost stark schwanken (Tabelle 8). Deshalb sollte für die Düngungsbemessung wenn immer möglich anstelle der in Tabelle 8 aufgeführten Richtwerte aktuelle Analysenwerte verwendet werden. Die Höhe der Düngergabe ist unter Berücksichtigung des Nährstoffbedarfes der Pflanzen, des Nährstoffgehalts des Düngers, der Wirksamkeit der anzuwendenden Dünger, der Nachwirkung vorangegangener Düngemassnahmen sowie der Nährstoffversorgung des Bodens zu bemessen. Durch die routinemässige Kontrolle von Recyclingdüngern wird zudem gewährleistet, dass nur schadstoffarme Recyclingdünger in der Landwirtschaft verwertet werden.

3.3 Allgemeine Hinweise zum Einsatz von Kompost und Gärgut aus gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen

Innert drei Jahren dürfen bis zu 25 t/ha Kompost und festes Gärgut (bezogen auf die TS) oder 200 m³/ha flüssiges Gärgut zu Düngezwecken verwendet werden, wenn dadurch der Bedarf der Pflanzen an N und P nicht überstiegen wird. Innert zehn Jahren dürfen nicht mehr als 100 t/ha Kompost und festes Gärgut (bezogen auf die TS) als Bodenverbesserer, Substrat, Erosionsschutz, für Rekultivierungen oder für künstliche Kulturerde verwendet werden (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung Anhang 2.6 Ziff. 3.2.2).

Bei der Ausbringung von flüssigem Gärgut sind grundsätzlich die gleichen Prinzipien wie bei der Anwendung von Hofdüngern zu beachten (vgl. Kapitel 2.5; vgl. Modul 7/ Düngung und Umwelt). Festes Gärgut kann entweder direkt ausgebracht, mit Kompost vermischt oder vor der Anwendung kompostiert werden.

Weitere Anwendungsempfehlungen für flüssiges und festes Gärgut sowie Kompost sind in der Schweizerischen

Tabelle 8 | Mittlere Gehalte (Medianwerte) an Trocken-substanz (TS), organischer Substanz (OS) sowie Nährstoffen von Recyclingdüngern aus gewerblich-industriellen Anlagen.

	Recyclingdünger		
	Gärgut fest ¹ (GiV ³)	Gärgut flüssig ¹ (GiV ³)	Kompost ²
	kg pro t Frischsubstanz		
TS	490	130	510
min ⁴	290	50	220
max ⁵	820	230	930
n ⁶	197	106	1041
OS	235	61	214
min	44	47	46
max	368	77	480
n	197	106	1041
N_{tot}	6	4	7
min	2	2	2
max	14	8	15
n	197	106	1039
N_{lös}⁷	0,3	2	0,3
min	0,005	1	0,01
max	2,5	5	3
n	197	82	362
N_{verf} (%)	8	8	5–10
P (P₂O₅)	1,3 (3)	0,9 (2)	1,3 (3)
min	0,4 (1)	0,4 (1)	0,4 (1)
max	3,5 (8)	1,7 (4)	6,5 (15)
n	197	106	1038
K (K₂O)	4,2 (5)	3,3 (4)	4,2 (5)
min	1,7 (2)	0,8 (1)	1,7 (2)
max	12,5 (15)	6,6 (8)	14 (17)
n	197	106	1038
Mg	3	1	3
min	1	0,5	0,5
max	7	2	10
n	197	106	1038
Ca	25	5	25
min	11	3	7
max	80	11	28
n	197	106	943
Salzgehalt (mS/cm)⁹	3	12	3
min	0,6	7	0,6
max	8	30	8
n	197	82	481

¹ Auf Grund der zurzeit zu kleinen Datenbasis können für festes und flüssiges Gärgut aus landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen noch keine Werte angegeben werden.

² Aufgeführt sind Angaben zu Komposten aus biogenen Abfällen (organische Haushalt- und Gartenabfälle). Die angegebenen Werte sind Mediane von verschiedenen Aufbereitungen (Frisch-, Reife-, Feldrandkompost usw.). Das Raumgewicht beträgt 500–800 kg/m³.

³ Gewerblich-industrielle Vergärungsanlagen

⁴ Minimalwert

⁵ Maximalwert

⁶ Anzahl analysierter Proben

⁷ Wasserlöslicher, rasch pflanzenverfügbarer mineralischer N (Summe von NH₄⁺- und NO₃⁻-N)

⁸ Zur mittleren N-Verfügbarkeit von festem und flüssigem Gärgut existiert momentan eine zu geringe Datenbasis, um gesicherte Aussagen machen zu können.

⁹ Salzgehalt (mS/cm) < 1: gering, keine Pflanzenschädigung; 1–2: normal, keine Pflanzenschädigung; 2–4: leicht erhöht, evtl. Schäden bei salzempfindlichen Pflanzen; > 4: erhöht, Schäden bei vielen Pflanzen. Bei Salzgehalten über 2 mS/cm wird die Applikation zu jungen Pflanzenbeständen, die salzempfindlich reagieren könnten (z.B. Mais, Kartoffeln, Bohnen, Erbsen, Rotklee, Tabak), nicht empfohlen.

Qualitätsrichtlinie 2010 der Branche für Kompost und Gärgut (Abächerli et al. 2010) zu finden.

4. Mineraldünger

4.1 Einleitung

Nach den Hofdüngern sind Mineraldünger die wichtigste Quelle von zugeführten Nährstoffen für Kulturpflanzen. Sie enthalten N, P, K, Mg, Schwefel (S), Calcium (Ca) und verschiedene Mikronährstoffe als Einzel- oder Mehrnährstoffdünger.

Mineraldünger kommen in vielen Fällen als Ergänzung zu Hof- und Recyclingdüngern zum Einsatz. Mehrnährstoffdünger haben den Vorteil, dass mehrere Nährstoffe gleichzeitig und damit kostengünstig ausgebracht werden können. Die Berücksichtigung der Boden- und Pflanzeneigenschaften, die Ansprüche der Kulturen und die Berücksichtigung des optimalen Zeitpunktes für die Ausbringung eines Nährstoffs erschweren es jedoch oft, den Mehrnährstoffdünger mit der richtigen Zusammensetzung zu finden. Aus agronomischer und ökologischer Sicht ist es deshalb oftmals sinnvoller, die fehlenden Nährstoffe mit Einzel- oder Mehrnährstoffdüngern auszubringen.

Zur pflanzen- und umweltgerechten Anwendung der Mineraldünger sind vertiefte Kenntnisse über ihre für die Düngung relevanten Eigenschaften notwendig. Diese grundlegenden Informationen sind in den nachfolgenden Kapiteln zu finden.

4.2 Düngungsrelevante Eigenschaften von Mineraldüngern

4.2.1 Mineralische Stickstoffdünger

Die in den mineralischen N-Düngern enthaltenen N-Formen sind in der Regel rascher pflanzenverfügbar und gezielter einsetzbar als organisch gebundener N (Tabelle 9). Für eine sehr rasche Wirkung werden nitrathaltige Dünger eingesetzt, während NH₄⁺ eine leicht verzögerte Düngewirkung zeigt. Dies wird im Fall von NH₄⁺ bei der sog. CUL-TAN-Düngung genutzt (vgl. Modul 5/ Ausbringtechnik bei Hof-, Recycling- und Mineraldüngern). Harnstoff ist eine erst nach mikrobieller N-Umsetzung und daher relativ langsam wirksame, aber pro Einheit N die günstigste mineralische N-Form. Das Risiko für NH₃-N-Verluste aus Harnstoff ist jedoch insbesondere in alkalischen Böden und bei trockenen Bedingungen (Dünger bleibt oberflächlich länger liegen) erhöht, da die NH₃-Emissionen mit zunehmendem pH-Wert des Bodens ansteigen.

Zur Reduktion der Zahl von N-Teilgaben (Überfahrten) und damit zur Senkung von Kosten sowie zur Reduktion der N-Verluste nach der Ausbringung werden N-Dünger mit Nitrifikationshemmern, sogenannte stabilisierte Dünger, auf dem Markt angeboten. Besondere Vorteile verspricht man sich vor allem durch den Schutz vor Auswa-

Tabelle 9 | Eigenschaften von Stickstoffformen und -düngern.

Stickstoffform	Eigenschaften	Anwendungsgrundsätze
Nitrat (Salpeter), NO_3^-	schnelle Wirkung; Auswaschungsgefahr erhöht	Zeitpunkt und Menge exakt dem kurzfristigen Bedarf der Kulturen anpassen
Ammonium, NH_4^+	Wirkung verzögert und anhaltend; Verflüchtigungsgefahr erhöht	bei längeren regenfreien Perioden leicht einarbeiten
Ammoniumnitrat (Ammonsalpeter), $\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$	teils schnelle, teils verzögerte Wirkung	bei längeren regenfreien Perioden leicht einarbeiten
Harnstoff, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Wirkung verzögert und anhaltend; Verflüchtigungsgefahr erhöht	in neutralen und alkalischen Böden oberflächlich einarbeiten; im Futterbau nicht während Schönwetterperioden ausbringen
organisch gebundener Stickstoff, R-NH_2	langsame bis sehr langsame und unsichere Wirkung; unkontrollierbare Mineralisierung durch Bodenmikroorganismen, dadurch Gefahr von Nitratauswaschung	regelmässige kleinere Gaben anstelle von grossen einmaligen Gaben; Brachperioden während Vegetationszeit vermeiden, da dann eine unkontrollierte Mineralisierung zu erhöhter Nitratauswaschung führen kann

Tabelle 10 | Eigenschaften von Phosphorformen und -düngern.

Phosphorform	Eigenschaften	Anwendungsgrundsätze
wasserlöslich (z. B. Superphosphat, Triplesuperphosphat)	schnelle Wirkung bei allen Böden, schwach bodenversauernd	neutrale und alkalische Böden: regelmässiger Einsatz; saure Böden: gelegentlicher Einsatz
ammoniumcitratlöslich (z. B. Rhenania-Phosphat)	teils schnelle, teils langsame Wirkung	Einsatz bei schlechter P-Versorgung des Bodens bei pH-Wert < 6,6; in normal versorgten Böden bei pH-Wert < 7,5
zitronensäurelöslich (z. B. Thomasmehl, Thomas- kalk, Knochenmehl)	langsame Wirkung; leichte Kalkwirkung; wirkt pH-erhaltend in schwach sauren Böden	Einsatz bei schlechter P-Versorgung des Bodens bei pH-Wert < 6,2; in gut versorgten Böden bei pH-Wert < 7,5
Rohphosphat (z. B. Hyperphosphat)	sehr langsam wirkend	Einsatz bei sauren (pH-Wert < 5,8) und leicht sauren Böden (pH-Wert 5,9–6,7)
organisch	langsame bis sehr langsame Wirkung; wird erst durch mikrobiellen Abbau der organischen Substanz bzw. durch enzymatische Spaltung pflanzenverfügbar	Einsatz zur Erhaltung der Bodengehalte bei ausreichender Bodenversorgung; verzögerte Wirkung im Frühjahr (bei tiefen Bodentemperaturen)

schungs- und Denitrifikationsverlusten von Dünger-N, bei vorgezogener Düngerausbringung in Trockengebieten oder bei Spätgaben, bei denen eine Einarbeitung der Dünger nicht mehr möglich ist. Die Mehrkosten solcher Produkte sind zu berücksichtigen und müssen den betriebspezifischen Ausbringkosten gegenübergestellt werden.

4.2.2 Mineralische Phosphordünger

Mineralische P-Dünger werden aufgrund ihrer Löslichkeit charakterisiert (Tabelle 10). Beim chemischen bzw. thermischen Aufschluss der Rohphosphate wird die Apatitstruktur zerstört und das Phosphat in eine wasserlösliche Form überführt. Der wasserlösliche P ist gut pflanzenverfügbar.

Bei voll aufgeschlossenen Phosphaten wird das Rohphosphat mit Schwefel- oder Phosphorsäure praktisch vollständig in wasserlösliches Phosphat überführt. Beim Teilaufschluss wird aus Kostengründen mit einem reduzierten Säureeinsatz gearbeitet. Es entstehen Dünger mit unterschiedlichen Anteilen an mineralisäurelöslichem und wasserlöslichem P. Die nicht aufgeschlossenen Düngerphosphate werden im Boden nur langsam durch Säureeinwirkung (z. B. Wurzelauausscheidungen) aufgeschlossen.

Die mineralischen P-Dünger unterscheiden sich deshalb stark in ihrer Wirkungsgeschwindigkeit (Tabelle 10). Am

schnellsten wirkt Superphosphat mit wasserlöslichem P, am langsamsten Rohphosphat, das im Boden zuerst durch Säureeinwirkung aufgeschlossen werden muss.

Für die Düngewirkung der mineralischen P-Düngung ist die Bodenreaktion bestimmend: Superphosphat wird in neutralen und alkalischen Böden eingesetzt, die anderen P-Formen in leicht sauren bis sauren Böden.

4.2.3 Mineralische Kaliumdünger

Es sind alle für die Düngung eingesetzten K-Formen gut wasserlöslich und entsprechend schnell wirksam (Tabelle 11). Wichtiger für die Wahl der K-Form sind die Nebenbestandteile der Dünger: Die chlorhaltigen Kalisalze sollten bei chloempfindlichen Kulturen nicht oder nur in reduzierten Mengen eingesetzt werden, während Kaliumsulfatdünger für chloempfindliche Pflanzen geeignet sind. Kaliumsulfatdünger eignen sich neben der K-Düngung besonders auch zur S-Versorgung der Kulturen.

4.2.4 Weitere Mineraldünger (Magnesium, Schwefel und Calcium)

Bei den Mg-Düngern ist zu unterscheiden zwischen dem rasch wirksamen, wasserlöslichen Magnesiumsulfat, das bei akutem Mangel gedüngt wird, und den langsamer wir-

Tabelle 11 | Eigenschaften von Kaliumformen und -düngern.

Nährstoffform	Eigenschaften	Massnahmen
Kaliumchlorid (z. B. Kalisalze)	wasserlöslich; schnelle Wirkung; Auswaschungsgefahr in sehr sandigen Böden; enthält 40–50 % Chlor	Einzelgabe auf 300 kg K ₂ O/ha bzw. 249 kg K/ha beschränken; bei sehr sandigen Böden im Frühjahr ausbringen; reduzierte Gaben zu chloempfindlichen Kulturen (z. B. Kartoffeln, Tabak, verschiedene Gemüse- und Beerenarten)
Kaliumsulfat (z. B. Kalisulfat, Patentkali/ Kalimagnesia)	wasserlöslich; schnelle Wirkung; enthält 15–20 % S	Einsatz bei chloempfindlichen Kulturen, Kulturen mit erhöhtem Schwefelbedarf sowie bei säureliebenden Kulturen
Kaliumnitrat	wasserlöslich; schnelle Wirkung; enthält 13 % N	geeignet für Blattdüngung; Spezialdünger für Sonderfälle (Gemüse, Tabak)

Tabelle 12 | Eigenschaften von Formen und Düngern weiterer Nährstoffe.

Nährstoff	Nährstoffform	Eigenschaften	Massnahmen
Magnesium	Magnesiumsulfat (z. B. Kieserit, Bittersalz)	wasserlöslich, schnelle Wirkung; Auswaschungsgefahr bei leichteren Böden	Einsatz bei akutem Magnesiumbedarf (Blattdüngung mit Bittersalz, Bodendüngung mit Kieserit); auf leichteren Böden im Frühjahr ausbringen
	Magnesiumkarbonat	schwach löslich; langsame und anhaltende Wirkung; geringe Auswaschungsgefahr	Einsatz zur Behebung von leichterem Mangel in sauren Böden; Erhaltungsdüngung in neutralen, schwach sauren und sauren Böden
	Magnesiumoxid	Verzögerte, lang anhaltende Wirkung	Einsatz zur Erhaltungsdüngung bei allen Bodenarten
Schwefel	Sulfat (z. B. Kieserit, Bittersalz)	wasserlöslich; schnelle Wirkung; erhöhte Auswaschungsgefahr	Zeitpunkt und Menge dem kurzfristigen Bedarf der Kulturen anpassen (Einsatz wie mineralischer N-Dünger, Mg-Gehalt beachten)
	Elementarer Schwefel	langsame Wirkung; von Pflanzen nicht aufnehmbar; muss zuerst durch Bakterien in Sulfatform umgewandelt werden	frühe Gaben (evtl. bereits im Herbst); für Einsatz bei akutem S-Mangel nicht empfohlen
	Organischer Schwefel	langsame und unsichere Wirkung; unkontrollierbare Mineralisierung durch Bodenmikroorganismen, dadurch Gefahr von Auswaschung	Verzicht auf höhere einmalige Gaben; regelmässige kleinere Gaben
Calcium	Calciumchlorid	wasserlöslich, schnelle Wirkung	Einsatz bei akutem Ca-Bedarf (Blattdüngung)
	Calciumsulfat (Gips)	wenig wasserlöslich	Bodendüngung, um den Ca-Gehalt des Bodens anzuheben, ohne den pH-Wert zu erhöhen

kenden Magnesiumkarbonat und -oxid, die aufgrund ihrer langsamen Wirkung primär zur Mg-Erhaltungsdüngung eingesetzt werden (Tabelle 12).

S wird in mineralischer Form meist als Sulfat (SO₄²⁻) eingesetzt, das deutlich rascher wirksam ist als organisch gebundener S, z. B. in Hofdüngern (Tabelle 12). S ist in Sulfat- oder elementarer Form in verschiedenen Düngern enthalten (Tabelle 13), die primär als N-, P-, K- oder Mg-Dünger eingesetzt werden.

Eine reine Ca-Düngung ist in den seltensten Fällen notwendig, da Ca in den meisten Böden ausreichend vorhanden ist. Die Pflanzen nehmen Ca als zweiwertiges Kation (Ca²⁺) auf. Es besteht eine relativ grosse Auswaschungsgefahr aufgrund der meist hohen Ca-Gehalte im Boden. Um die Pflanzen mit zusätzlichem Ca zu versorgen, wird meist die Blattdüngung gewählt, da nur bestimmte Pflanzenteile wie Blätter oder Früchte versorgt werden müssen.

4.2.5 Weitere Mineraldünger (Mikronährstoffe)

Mikronährstoffe sind im Boden oft in genügender Menge vorhanden oder werden als Bestandteile anderer Dünger

(Mineral- oder organische Dünger) regelmässig zugeführt. Bei zu hohem pH-Wert des Bodens oder nach hohen Kalkgaben kann die Pflanzenverfügbarkeit von Mikronährstoffen jedoch reduziert sein. In diesen Fällen können Bor, Mangan und andere Mikronährstoffe in mineralischer Form als Boden- oder Blattdünger eingesetzt werden.

Die Blattdüngung ist in der Regel die sicherste Art der Versorgung von Kulturen mit Mikronährstoffen, weil ein Teil der Nährstoffe direkt über das Blatt aufgenommen wird und nicht dem Risiko der Festlegung im Boden unterliegt. Deshalb kann mit Blattdüngung rasch auf Mangelsituationen reagiert werden.

Weitere Angaben zur Düngung mit Mikronährstoffen sind in den Modulen 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen sowie 3/ Pflanzenanalysen und in den kulturspezifischen Modulen zu finden.

4.2.6 Kalkdünger

Bei den Kalkdüngern (Tabelle 14) steht nicht die Zufuhr von spezifischen Nährstoffen, sondern die Steuerung der Bodenreaktion (pH-Wert) und die Verbesserung der

Tabelle 13 | Gehalte von wichtigen Mineraldüngern an Schwefel und weiteren Nährstoffen.

Dünger	Schwefel- gehalt (%)	Nährstoffgehalt (%)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Mn	Ca
N-Dünger	Ammonsulfat	24	21				
	Ammonsulfatsalpeter	13	26				
	Ammonsulfatsalpeter, stabilisiert (Entec®)	13	26				
	Ammoniumsulfatlösung (ASL)	9	8				
	Ammoniumsulfat-Harn- stoff-Lösung (AHL)	6	20				
P-Dünger	Superphosphat	12		18			10 ¹
	Superphosphat-Mg	6		18	4,0		18 ¹
	NovaPhos 23	8		23			
K-Dünger	Kaliumsulfat	18		50			
	Patentkali	17		30	6,0		
	40er Kali mit MgO (Kornkali)	4		40	3,6		
Mg-Dünger	Magnesiumsulfat (Kieserit; Bodendüngung)	20			15,0		
	Magnesiumsulfat (Bittersalz; Blattdüngung)	13			9,8		
weitere Dünger / Mehr- nährstoffdünger	Mangansulfat	15				32	
	Gips (Calciumsulfat)	15					21 ¹
	Magnesia-Kainit	4		11		3	
	Mehrnährstoffdünger	bis 8	nach Angaben des Herstellers				
	Blattdünger	bis 18	nach Angaben des Herstellers				

¹ Ca-Gehalt nicht basisch wirksam.

Tabelle 14 | Eigenschaften verschiedener Kalkdünger.

Handelsname	Kalkanteil			Wesentliche Gehalte an Nebenbestandteilen	Wirkung
	Chemische Formel	Gehalt (%)	Neutralisationswert ¹ (Bezugsbasis für Kalk- wirkung, ausgedrückt in CaO-Äquivalenten, %)		
Düngkalk Kalksteinmehl Kohlensaurer Kalk	CaCO ₃	> 90	50		langsam
Meeralgenkalk	CaCO ₃ MgCO ₃	75–80 10	50	2–3 % Mg	langsam
Dolomitkalk	CaCO ₃ MgCO ₃	50–60 40	45–50	12 % Mg	langsam
Löschkalk, Ätzkalk	Ca(OH) ₂		55		schnell
Branntkalk	CaO	75–90	75–90		schnell
Magnesium-Branntkalk	CaO MgO	60 25	95	15 % Mg	schnell
Ricokalk ²	CaCO ₃	54	30	30 % H ₂ O; 1,1 % P ₂ O ₅ ; 0,6 % Mg; 0,3 % N	mittel
Düngkalk als Nebenprodukt der Kiesgewinnung	CaCO ₃	Je nach Herkunft und Charge variabel		Nährstoffe sind nur in geringen Mengen enthalten	langsam

¹ Rechnerisch ermittelter Neutralisationswert = Gehalt in % (CaCO₃ x 0,56 + MgCO₃ x 0,67 + CaO x 1,0 + MgO x 1,39).

² Recyclingdünger aus der Zuckerrübenverarbeitung.

Bodenstruktur im Vordergrund. Dadurch lässt sich die Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen indirekt beeinflussen.

Die Kalkdünger unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen chemischen Bindungsform des Ca stark in ihrer Wirkungsgeschwindigkeit. Rasch wirkend sind Löss- und Branntkalk, während die Kalke, die Calcium- oder Magnesiumkarbonat enthalten, viel langsamer wirken. Schnell wirksame Kalkdünger werden v.a. dann eingesetzt, wenn eine rasche Erhöhung des pH-Wertes des Bodens erwünscht ist, wobei in solchen Fällen die Kalkverträglichkeit der angebauten Kulturen zu beachten ist. Kohlenstoffhaltige Kalke (kohlenstoffhaltige Kalke) wirken langsamer und eignen sich für die Erhaltungskalkung. Neben den Inhaltsstoffen beeinflusst auch der Vermahlungsgrad die Wirksamkeit der Kalke. Mit stärkerer Vermahlung wird durch die Vergrößerung der Oberfläche die Kalkwirkung beschleunigt bzw. verbessert.

4.2.7 Düngemittellisten

Eine Auflistung der im Handel erhältlichen Mineraldünger mit ihren Nährstoffgehalten ist in der Düngemittelliste der Datenblätter Ackerbau (Agridea 2016) zu finden. Die aktuelle Düngerliste kann unter <http://www.agridea.ch/de/publikationen/publikationen/pflanzenbau/duengung/liste-der-duengemittel-fuer-den-ackerbau> heruntergeladen werden.

Die für den Biolandbau zugelassenen Düngemittel sind in der Betriebsmittelliste des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL 2017) enthalten.

Die beiden Listen sind nicht abschliessend; es kann weitere zugelassene, auf dem schweizerischen Markt gehandelte Dünger geben, die nicht enthalten sind.

4.3 Wirkung von Mineraldüngern auf den Boden

Die Beeinflussung der Bodenreaktion ist eine wichtige kurzfristige Wirkung von Düngern (Tabelle 15; Sluijsmans 1970). Zu beachten ist eine Versauerung durch regelmässige Anwendung von SO_4^{2-} - oder NH_4^+ -haltigen Düngern.

Nebst der Wirkung auf die Bodenreaktion wird eine Vielzahl von biotischen und abiotischen Bodenprozessen durch Dünger bzw. die damit verabreichten Nährstoffe beeinflusst. Es würde zu weit gehen, in diesen Düngungsgrundlagen umfassend auf diese Thematik einzugehen. Informationen dazu sind z. B. in Gisi *et al.* (1990) zu finden.

Längerfristige unerwünschte Wirkungen bei der wiederholten Anwendung von ungeeigneten Düngern sind die mögliche Akkumulation von Schadstoffen wie Schwermetallen (vgl. Modul 7/ Düngung und Umwelt).

Tabelle 15 | Einfluss verschiedener Dünger auf die Bodenreaktion (pH-Wert).

Versauernde Wirkung (pH-senkend)	Neutrale oder alkalische Wirkung (pH-erhaltend oder pH-erhöhend)
Sulfatdünger	Kalkstickstoff
Ammoniumdünger	Thomasmehl, Thomaskalk
Harnstoff	Hyperphosphat (weicherdiges Rohphosphat)
Superphosphat, Triplesuperphosphat	Schweinegülle
Rindergülle	Kalkdünger

5. Literatur

- Abächerli F., Baier U., Berner F., Bosshard C., Fuchs J., Galli U., Gfeller H., Leuenberger R., Mayer J., Pfaffen P., Schleiss K. & Wellinger A., 2010. Schweizerische Qualitätsrichtlinie 2010 der Branche für Kompost und Gärgut. Mit Anwendungsempfehlungen für flüssiges Gärgut, festes Gärgut, Kompost. Inspektionskommission der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz, Biogas Forum, Kompostforum Schweiz, Interessengemeinschaft Anlagen des Kompostforums Schweiz und Verband Kompost- und Vergärwerke Schweiz VKS.
- AGFF, 1999. Güllezusatzmittel. AGFF-Information D3. Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues (AGFF), Zürich.
- Agridea, 2016. Datenblätter Ackerbau. Agridea, Lindau.
- Agridea & BLW, 2013. Weisungen zur Handhabung von Vergärungsprodukten in der Suisse-Bilanz – Zusatzmodul 8 zur Suisse-Bilanz. Auflage 1.1, September 2013. Agridea, Lindau und Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern. 13 S.
- Agridea & BLW, 2016. Weisungen zur Berücksichtigung von nährstoffreduziertem Futter in der Suisse-Bilanz. Auflage 1.8. Agridea, Lindau, und Bundesamt für Landwirtschaft, Bern. Zugang: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/oekologischer-leistungsnachweis/ausgeglichen-duengerbilanz.html> [28. 2. 2017].
- Agroscope, 2015. Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch). Zugang: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/services/dienste/futtermittel/fuetterungsempfehlungen-wiederkaeuer.html> [02. 10. 2015].
- Agroscope, 2016. Fütterungsempfehlungen für Schweine (Gelbes Buch). Zugang: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/services/dienste/futtermittel/fuetterungsempfehlungen-schweine.html> [02. 10. 2015].
- Agroscope, 2017. Referenzwerte für Nährwerte von Raufutter. Zugang: <http://www.agroscope.ch>.
- BAFU & BLW, 2011. Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Umwelt-Vollzug Nr. 1101. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 123 S.
- BDU, 2004. Hofdünger – gezielt eingesetzt. Beratergruppe «Boden Düngung Umwelt» BDU, AGRIDEA, Lindau. 4 S.
- Bosshard C., Flisch R., Mayer J., Basler S., Hersener J.-L., Meier U. & Richner W., 2010. Verbesserung der Stickstoffeffizienz von Gülle durch Aufbereitung. Agrarforschung Schweiz 1 (10), 378–383.
- FiBL, 2017. Betriebsmittelliste 2017. Hilfsstoffe für den biologischen Landbau in der Schweiz. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick. 132 S. Zugang: <https://shop.fibl.org/chde/mwdownloads/download/link/id/52/> [13. 4. 2017].
- Gisi U., Schenker R., Schulin R., Stadelmann F.X. & Sticher H., 1990. Bodenökologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. 304 S.
- IBK Arbeitsgruppe Landwirtschaft und Umweltschutz, 2009. Güllebehandlung und Güllezusätze – Empfehlungen für die Landwirtschaft. Arbeitsgruppe Landwirtschaft und Umweltschutz

- der Kommission Umwelt, Internationale Bodenseekonferenz, Kempten. 29 S.
- Möller K. & Müller T., 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engin. Life Sci.* 12, 242–257.
- Richner W. & Sinaj S., 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 276 S.
- Sluijsmans C.M.J., 1970. Der Einfluss von Düngemitteln auf den Kalkzustand des Bodens. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 126, 97–103.
- Webb J., Sørensen P., Velthof G., Amon B., Pinto M., Rodhe L., Salomon E., Hutchings N., Burczyk P. & Reid J., 2013. An assessment of the variation of manure nitrogen efficiency throughout Europe and an appraisal of means to increase manure-N efficiency. *Adv. Agron.* 119, 371–442.

6. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Nährstoffgehalte von Tierkörpern, Milch und Eiern.	4/4
Tabelle 2 Richtwerte für Nährstoffausscheidungen im Kot und Harn verschiedener Nutztierarten.	4/4
Tabelle 3 Fussnoten zu Tabelle 2 mit Angaben zur richtigen Zuordnung der Kategorien oder zu betriebsspezifischen Korrekturen, die für Nährstoffflussberechnungen wichtig sind.	4/5
Tabelle 4 Richtwerte für den jährlichen Anfall von Hofdüngern verschiedener Nutztierarten in Abhängigkeit des Aufstallungssystems.	4/6
Tabelle 5 Richtwerte zur Ermittlung der in die Güllegrube geleiteten Abwassermengen.	4/8
Tabelle 6 Richtwerte der Gehalte an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS) und Nährstoffen von Hofdüngern verschiedener Nutztierarten bei Stallhaltung.	4/9
Tabelle 7 Anteil des mittelfristig und im Anwendungsjahr verfügbaren Stickstoffs in verschiedenen Hofdüngern.	4/10
Tabelle 8 Mittlere Gehalte (Medianwerte) an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS) sowie Nährstoffen von Recyclingdüngern aus gewerblich-industriellen Anlagen.	4/14
Tabelle 9 Eigenschaften von Stickstoffformen und -düngern.	4/15
Tabelle 10 Eigenschaften von Phosphorformen und -düngern.	4/15
Tabelle 11 Eigenschaften von Kaliumformen und -düngern.	4/16
Tabelle 12 Eigenschaften von Formen und Düngern weiterer Nährstoffe.	4/16
Tabelle 13 Gehalte von wichtigen Mineraldüngern an Schwefel und weiteren Nährstoffen.	4/17
Tabelle 14 Eigenschaften verschiedener Kalkdünger.	4/17
Tabelle 15 Einfluss verschiedener Dünger auf die Bodenreaktion (pH-Wert).	4/18

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Die pflanzen- und umweltgerechte Verwertung der von Nutztieren ausgeschiedenen Nährstoffe ist eine Herausforderung für tierhaltende Betriebe.	4/3
Abbildung 2 Bei zeitweiser Stallabwesenheit der Tiere ist die Gülle- und Mistmenge zeitproportional zu reduzieren.	4/7
Abbildung 3 Schematische Darstellung der pflanzenbaulichen und ökologischen Beurteilung verschiedener Zeitspannen der Gülleanwendung auf saugfähigem Boden.	4/11
Abbildung 4 Eine Voraussetzung für den zeitlich optimalen Einsatz der Gülle ist eine ausreichende Lagerkapazität, damit sie zu pflanzenbaulich optimalen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode ausgebracht werden kann.	4/12
Abbildung 5 Zuordnung von Vergärungsprodukten zu Hof- und Recyclingdüngern.	4/13

8. Anhangsverzeichnis

Anhang 1 Definition wichtiger Begriffe und Abkürzungen im Bereich der Dünger.	4/21
Anhang 2 Weiterführende Fussnoten zu Tabelle 2, in Ergänzung von Tabelle 3, mit allgemeinen Bemerkungen sowie Angaben zu den Produktionsbedingungen, die für die Berechnungen der Nährstoffausscheidungen angenommen wurden.	4/22
Anhang 3 Richtwerte für Nährstoffausscheidungen im Kot und Harn für zusätzliche Tierkategorien.	4/23

9. Anhang

Anhang 1 Definition wichtiger Begriffe und Abkürzungen im Bereich der Dünger.	
Auszug aus dem Modul 17/ Anhänge, Anhang 2 und 3	
Abkürzung/Begriff	Übliche Bezeichnung/Erläuterung
Frischmist	Mist, der weniger als einen Monat gelagert wurde
FS	Frischsubstanz
Gülle kotarm	Enthält den grössten Teil des Harns und wechselnde Mengen an Kot (je nach Aufstallungssystem und Einstreumengen)
GVE	Grossvieheinheit
Hennenmist, Pouletmist, Trutenmist	Enthält nebst der Einstreu die gesamten Ausscheidungen von Geflügel
Hennenkot	Enthält die gesamten Ausscheidungen von Geflügel aus Kotband-Aufstallungssystemen
Kälber-, Schweine-, Pferde-, Schaf- und Ziegenmist	Mist, der mehr als drei Monate ohne spezielle Pflege ausserhalb des Stalls auf einem befestigten Platz gelagert wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials noch klar ersichtlich. Enthält nebst der Einstreu den gesamten Kot- und einen unterschiedlichen Teil des Harnanfalls
Laufstallmist	Mist aus Tiefstreulaufställen. Enthält nebst der Einstreu den gesamten Kot- und Harnanfall
Mistkompost	Mist, der mehr als sechs Monate gelagert und mehrmals umgesetzt wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials nicht mehr erkennbar. Farbe: dunkelbraun. Ausgangsmaterial: Frisch- oder Laufstallmist aus der Rindviehhaltung, Mist anderer Tierarten
Nährstoffrichtwerte Hofdünger	Die Werte wurden grösstenteils mit Hilfe von Fütterungsplänen (je nach Tierart mit mehreren Rationen) berechnet. Teilweise wurden auch Hofdüngeranalysen aus Praxisbetrieben verwendet. Im Einzelfall können in Abhängigkeit von Fütterung und Aufstallungssystem grössere Abweichungen auftreten.
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
N _{lös}	Wasserlösliche Stickstoffformen (Ammonium, Harnstoff u. a.) in Ausscheidungen der Nutztiere und in Hofdüngern
NO ₃ ⁻	Nitrat
N _{tot}	Gesamt-Stickstoff (unabhängig von der Form)
N _{verf}	Verfügbare Stickstoff. Prozentualer Anteil des anfallenden Gesamt-Stickstoffs in Ernterückständen, Hof-, Recycling- und Gründüngern, der bei optimaler Wirtschaftsweise kurz- und mittelfristig für die Pflanzen verfügbar ist bzw. verfügbar wird. Diese Grösse ist nicht identisch mit dem ertragswirksamen N, da ein Teil des organischen N auch ausserhalb der Ertragsbildungsphasen der Kulturen verfügbar wird und zu erwünschten (z. B. bei Getreide) oder zu unerwünschten (z. B. bei Zuckerrüben, Blattgemüse) Zunahmen der N-Gehalte in den Ernteprodukten (Haupt- und/oder Nebenprodukte) und/oder besonders im Acker- und Feldgemüsebau auch zu erhöhter Nitratauswaschung führen kann.
N-Wirkung	Wirkung des N von Hof- oder Recyclingdüngern auf Ertrag und/oder Qualität der Pflanzen. Die Angabe erfolgt in Prozent der Wirkung einer gleichen Stickstoffmenge in Form eines mineralischen Vergleichsdüngers (Mineraldüngeräquivalent), meistens Ammonsalpeter. Bei Kulturen, die nicht während einer vollständigen Vegetationsperiode wachsen (z. B. Getreide, Kartoffeln) sowie bei nicht optimaler Hofdüngerwirtschaft ist als Folge erhöhter N-Verluste die N-Wirkung oft geringer.
OS	Organische Substanz
Rottemist	Mist, der mehr als drei Monate gelagert und mindestens einmal umgesetzt wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials ist schwach ersichtlich. Farbe: braun. Ausgangsmaterial: Frisch- oder Laufstallmist aus Rindviehhaltung, Mist anderer Tierarten
Stapelmist	Mist, der mehr als drei Monate ohne spezielle Pflege ausserhalb des Stalls auf einem befestigten Platz gelagert wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials ist noch klar ersichtlich. Farbe: dunkelbraun bis grünlich. Ausgangsmaterial: Frischmist aus Rindviehhaltung.
Stickstoffausnutzung, scheinbare	Prozentualer Anteil des gedüngten Stickstoffs, der in der erntbaren Pflanzenmasse enthalten ist. Er wird auf Basis von Versuchen, die Verfahren mit und ohne N-Düngung beinhalten, ermittelt: $\text{Scheinbare N-Ausnutzung (\%)} = \frac{(N\text{-Entzug}_{\text{gedüngt}} - N\text{-Entzug}_{\text{ungedüngt}})}{\text{totale N-Menge}_{\text{gedüngt}}} \times 100$.
TS	Trockensubstanz
Vollgülle, Schweinegülle	Gülle, welche die gesamten Ausscheidungen der Tiere und eventuelle Einstreumaterialien (Strohhacksel, Sägemehl, Späne usw.) enthält.

Anhang 2 | Weiterführende Fussnoten zu Tabelle 2, in Ergänzung von Tabelle 3, mit allgemeinen Bemerkungen sowie Angaben zu den Produktionsbedingungen, die für die Berechnungen der Nährstoffausscheidungen angenommen wurden.

Fussnote in Tabelle 2	Kriterium/Stichwort	Umschreibung der Produktion
A1	Aufzuchtrind	Gilt für eine Milchkuh gem. Fussnote 1 in Tabelle 3. Die Angaben gelten für ein Erstkalbealter von ca. 27–30 Monaten. Für ein Abkalbealter um 24 Monate beträgt der Grundfutterverzehr im ersten Jahr 17 dt und der Anfall 30 kg N, 4,5 kg P, 36 kg K, 4 kg Mg, 12 kg Ca bzw. im zweiten Jahr 30 dt und der Anfall 45 kg N, 6,5 kg P, 54 kg K, 6 kg Mg, 18 kg Ca. Kälber, die im Alter von 3–6 Wochen verkauft werden, bleiben unberücksichtigt.
A2	Mastkalb	Mast von 60 bis ca. 220 kg mit einem mittleren Tageszuwachs von 1400 g; ca. 3,3 Umtriebe pro Mastkälberplatz und Jahr (nach Tierverkehrsdatenbank).
A3	Mutterkuhkalb	Mutterkuhkalb bis Endgewicht ca. 350 kg (Natura-Beef) oder ca. 220 kg (Natura-Veal); nur ein Umtrieb pro Jahr möglich.
A4	Rindviehmast (intensiv)	Intensivmast von ca. 65 auf 520 kg bei einem mittleren Tageszuwachs von ca. 1400 g (Munis). Werden die Tiere erst nach dem Absetzen eingestallt, kann für die ganze Mastperiode mit den Werten für Tiere älter als 160 Tage gerechnet werden. Für Vormastkälber können die gleichen Werte wie für Mastkälber verwendet werden.
A5	Rindvieh-Weidemast	Weidemast mit ein oder zwei Weideperioden (ca. 17 bzw. 22 Monate), Geburt bis Endgewicht ca. 530 kg.
A6	Stute mit Fohlen, bis 0,5-jährig	Das im Frühling geborene Fohlen bleibt bis im Herbst bei der Stute. Bleibt es länger auf dem Betrieb, muss es separat berechnet werden. Weil der Mehrbedarf der Stute gegenüber Reit- und Arbeitspferden in der Regel durch Kraftfutter gedeckt wird, wird der Grundfutterverzehr nicht erhöht. Wird als Kraftfutter nur Hafer (maximal 700 kg pro Jahr) eingesetzt, erhöht sich der Grundfutterverzehr um 5 dt.
A7	Anderes Pferd, über 3-jährig	Ausgewachsenes Pferd mit einem mittleren Gewicht von 550 kg. Bei leichteren Tieren oder Ponys, Eseln, Jungtieren usw. kann der Anfall dem Gewicht entsprechend umgerechnet werden. Die Angaben gelten für geringe Arbeitsbelastung (eine Stunde pro Tag: Arbeit, Reiten). Bei stärkerer Arbeitsbeanspruchung steigen die N- und P-Ausscheidungen um 7 % pro Stunde, diejenigen anderer Nährstoffe um 4 %.
A8	Schafplatz	Die Werte beziehen sich auf eine relativ intensive Produktion mit Wiesenfutter, das ähnlich ist wie für die Milchproduktion. Bei extensiver Haltung mit Wiesenfutter in fortgeschrittenem Nutzungsstadium beträgt der Anfall 12 kg N, 2 kg P (4,6 kg P ₂ O ₅), 17 kg K (20 kg K ₂ O), 2 kg Mg und 7 kg Ca und der Grundfutterverzehr 8 dt pro Jahr.
A9	Mastschweineplatz	Ein Mastschweineplatz (MSP) entspricht einem Tierplatz für die Mast von 26 auf ca. 108 kg bei mittlerem Tageszuwachs von 800–850 g (ca. 3,3 Umtriebe pro Jahr). Angenommene Leerzeit zwischen Umtrieben: 7 Tage.
A10	Zuchtschweine	Ein Zuchtschweineplatz (ZSP) besteht aus einem Mutterschwein inkl. Aufzucht der Ferkel bis zu einem Gewicht von 25–30 kg. Pro ZSP können 24–28 Ferkel pro Jahr abgesetzt werden. Remonten sind gleich wie Mastschweine einzusetzen. Angenommene Leerzeit zwischen Umtrieben: Zuchtschweineplatz 0 Tage; säugende Sauen, Galtsauen, Ferkel: je 3 Tage.
A11	Legehennen	Umtriebsdauer ca. ein Jahr. Sie hat keinen Einfluss auf die Ausscheidungen.
A12	Junghennen	Küken erreichen in 18 Wochen ein Gewicht von 1,3–1,6 kg; 2–2,5 Umtriebe pro Jahr.
A13	Mastpoulets	Diese Ausscheidungen gelten pro 100 Normalmastplätze (Endgewicht der Tiere gut 2 kg) bei normaler Stallbelegung (max. 30 kg/m ²) und Fütterung und ohne Teilausstallungen. Für intensive Rassen entspricht dies einer Mastdauer von knapp 40 Tagen. Im Gegensatz zu anderen Tierarten werden die Nährstoffausscheidungswerte von Mastpoulets nur auf Basis von Plätzen und nicht auf Basis von gemästeten Tieren angegeben, weil Endgewicht der Tiere und Umtriebsdauer sehr variabel sind.

**Anhang 3 | Richtwerte für Nährstoffausscheidungen im Kot und Harn für zusätzliche Tierkategorien
(angegeben – wenn nicht anders erwähnt – in kg pro Platz und Jahr).**

Tierart	Nährstoffausscheidung in kg pro Einheit (Tier oder Tierplatz) und Jahr						Grundfutter- verzehr (dt TS/Jahr)
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	
Maultiere, Maulesel (jeden Alters)	25	5,7	13	35,7	43	9,0	17
Ponys, Kleinpferde, Esel (jeden Alters)	16	3,5	8,0	22,4	27	1,8	10
Weidemastlamm, Weidemastgitzli	2,1	0,3	0,8	2,9	3,5	0,3	0,40
Bison, über 3-jährig	60	13,1	30	91,3	110	6,0	39
Bison, unter 3-jährig	20	4,4	10	37,3	45	2,5	18
Damhirsche ¹	20	3,1	7,0	24,1	29	2,4	10
Rothirsch	40	6,1	14	48,1	58	4,8	20
Wapiti	80	12,2	28	96,3	116	9,6	40
Lama, über 3-jährig	17	2,8	6,5	23,2	28	1,7	8,5
Lama, unter 3-jährig	11	1,7	4,0	12,4	15	1,0	4,9
Alpaka, über 3-jährig	11	1,7	4,0	14,9	18	1,0	5,5
Alpaka, unter 3-jährig	7,0	1,1	2,5	7,5	9,0	0,5	3,0
Kaninchen: Zibbe inkl. Jungtiere bis 35 Tage	2,6	0,7	1,5	2,1	2,5	–	0,36
Kaninchen: Jungtiere ab ca. 35 Tagen (100 Plätze)	79	21,0	48	62,2	75	–	4,0
Strauss, älter als 13 Monate	24	4,4	10	12,4	15	1,3	11
Strauss, jünger als 13 Monate	11	2,6	6,0	6,6	8,0	0,8	2,0
Enten (100 Plätze)	66	14,8	34	19,9	24	5,0	–
Gänse (100 Plätze)	105	23,1	53	24,9	30	14	–
Perlhühner (100 Plätze)	38	8,3	19	11,6	14	3,0	–
Wachteln (100 Plätze)	30	7,9	18	5,4	6,5	–	–

¹ Muttertier plus Nachwuchs bis 16 Monate; eine Einheit = zwei Tiere am Stichtag.



5/ Ausbringtechnik bei Hof-, Recycling- und Mineraldüngern

Annett Latsch¹, Walter Richner², Thomas Anken¹ und Joachim Sauter³

¹ Agroscope, 8356 Ettenhausen, Schweiz

² Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

³ 3077 Enggistein, Schweiz

Auskünfte: annett.latsch@agroscope.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	5/3
2. Ausbringung von Gülle und flüssigen Recyclingdüngern.....	5/3
3. Ausbringung von Mist und festen Recyclingdüngern.....	5/4
4. Mineraldüngerausbringung	5/5
5. Literatur	5/6

Vorderseite: Ausbringung von Gülle mit einem Schleppschlauchverteiler (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope).

1. Einleitung

Für die Ausbringung von Hof-, Recycling- und Mineraldüngern stehen zahlreiche technische Möglichkeiten zur Verfügung. Diese haben sich bezüglich der Dosier- und Verteilgenauigkeit stark entwickelt, um den Pflanzen die Düngermengen bedarfsgerecht verabreichen zu können. Neben der Dosierung und Verteilgenauigkeit wird auch dem Bodenschutz Rechnung getragen, indem schwere Transportfahrzeuge mit Breitreifen angeboten werden. Bei der Gülleausbringung haben neben dem Verteilsystem die Witterung und Verdünnung erheblichen Einfluss auf die Höhe der Stickstoffverluste durch Ammoniakverflüchtigung.

Nachfolgend werden die wichtigsten Verteilsysteme für die Ausbringung von Hof-, Recycling- und Mineraldüngern vorgestellt.

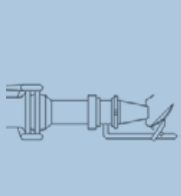
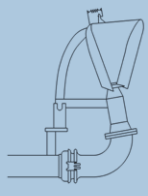
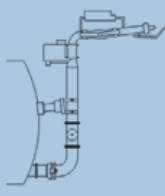
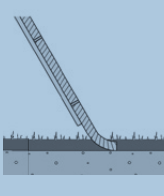
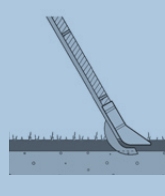
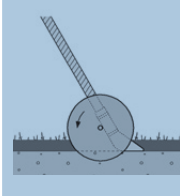
2. Ausbringung von Gülle und flüssigen Recyclingdüngern

Die Breitverteilung mittels Prallteller, Pendelverteiler oder Schwenkdüsen (Tabelle 1) ist die in der Landwirtschaft gängigste Methode der **Gülleausbringung**. Die Gülle prallt dabei gegen einen Verteilkopf und wird grossflächig auf

dem Pflanzenbestand verteilt. Dank Ressourcenschutz-Projekten und den neuen Ressourceneffizienz-Beiträgen in der Agrarpolitik 2014–2017 werden heute aber auch Schleppschauch- und Schleppschuhverteiler (Tabelle 1) vermehrt angewendet. Im Vergleich zur Ausbringung mit dem Breitverteiler sind die Ammoniakverluste aufgrund der bodennahen, streifenförmigen Ablage der Gülle mit diesen Verteilern (Abbildung 1) im Durchschnitt um 40 % reduziert. Für Gülleschlitzgeräte (Gülledrill) liegt die Emissionsreduktion sogar bei 70 % (Kupper und Menzi 2013), sie sind jedoch aufgrund der hohen Anschaffungskosten weniger verbreitet. Die Verteilgenauigkeit emissionsmindernder Ausbringssysteme ist sehr gut. Da der Güllestickstoff besser ausgenutzt wird, ist eine Einsparung von mineralischem Stickstoffdünger möglich. Auch die Geruchsbelastung während und nach der Ausbringung nimmt ab. Diesen Vorteilen stehen allerdings im Vergleich zur Breitverteilung deutlich höhere Kosten gegenüber, die eine optimale Auslastung der Maschinen – beispielsweise durch überbetrieblichen Einsatz – erforderlich machen.

Schleppschauch- und Schleppschuhverteiler mit Güllefass lassen sich bei bis zu 15 % Hangneigung einsetzen. Bei einer Verschlauchung ist sogar eine Hangneigung bis 25 % möglich. Damit haben beide Techniken auch in hügeligen Regionen ein grosses Einsatzpotenzial. Gülleschlitzgeräte sind eher für leichte Böden geeignet und bis 10 % Hang-

Tabelle 1 | Merkmale verschiedener Gülleverteiler (modifiziert aus Frick 1999).

	Prallteller	Pendelverteiler	Schwenkdüsen	Schleppschauchverteiler	Schleppschuhverteiler	Gülledrill
						
Bauart	einfach	einfach/aufwendig	aufwendig	aufwendig	aufwendig	aufwendig
Effektive Arbeitsbreiten	5–13 m; je nach Fabrikat/ Typ	11–16 m; je nach Einstellung	bis 20 m; je nach Druck und Einstellung	6–36 m	3–18 m	6–9 m
Verteilgenauigkeit	mehrheitlich befriedigend bis mangelhaft	gut bis sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Windempfindlichkeit	hoch	mittel	hoch	gering	gering	gering
Erforderliche Überlappungsbreite	0,5–2 m	1,5–2 m	3 m	keine	keine	keine
Überlappungstoleranz	gering	gut	sehr gut	gering	gering	gering
Einstellung Arbeitsbreite	mehrheitlich begrenzt möglich	begrenzt möglich	problemlos möglich	fix vorgegeben	fix vorgegeben	fix vorgegeben
Exaktes Güllen am Feldanfang bzw. Feldende	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich	sehr gut möglich	sehr gut möglich	sehr gut möglich
Weitere Merkmale			halbseitiges Verteilen möglich; nicht geeignet für Vakuumfass	30 % Emissionsminderung im Vergleich zur Breitverteilung	50 % Emissionsminderung im Vergleich zur Breitverteilung	70 % Emissionsminderung im Vergleich zur Breitverteilung

neigung anwendbar (Sauter *et al.* 2004; Lorenz 2010; Sauter *et al.* 2010; BAFU und BLW 2012).

Für die **Ausbringung von flüssigen Recyclingdüngern** sind emissionsmindernde Techniken besonders vorteilhaft. Da die Dünger oft einen hohen Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff aufweisen, ist eine exakte Dosierung besonders wichtig. Für flüssiges Gärgut, das aufgrund seiner meist hohen Nährstofffracht hochpräzise verteilt werden muss, sind in der Praxis Durchlaufmessgeräte mit einer hohen Dosiergenauigkeit im Einsatz, damit die kulturspezifischen Düngeempfehlungen eingehalten werden können.



Abbildung 1 | Streifenförmige Ausbringung von Gülle mit einem Schleppschlauchverteiler in einen Wiesenbestand (Foto: Agroscope).

Die Ausbringung von Gülle und flüssigen Recyclingdüngern sollte bei kühlen und feuchten Bedingungen erfolgen, um die Ammoniakverluste weiter zu vermindern. Ebenso ist eine Verdünnung mit Wasser bezüglich der Verluste vorteilhaft (Frick und Menzi 1997).

Bei Verwendung von Güllefässern muss dem Bodendruck Rechnung getragen werden. Einfachachsen mit Breitreifen sind vor allem für den Boden und die Grasnarbe günstiger. Tandemachsen zeichnen sich durch eine höhere Laufruhe während der Strassenfahrt aus. Die bodenschonenden Verschlauchungsanlagen weisen gegenüber dem Fass eine geringere Flexibilität auf. Das Überfahren des Güllefuhrschlauches mit Schleppschuhen ist nur bedingt möglich.

3. Ausbringung von Mist und festen Recyclingdüngern

Auch bei der **Mistausbringung** gilt es, die gewünschte Menge mittels unterschiedlicher Applikationstechniken (Tabelle 2) möglichst genau über das ganze Feld ausbrin-

gen zu können. Auf Wiesen und Weiden sollten die fein verteilten Gaben unter 15 t pro ha liegen, um eine Schädigung der Grasnarbe durch eine zu starke Abdeckung zu vermeiden. Beim Einsatz im Ackerbau ist es wichtig, den Mist innerhalb weniger Stunden nach dem Ausbringen einzuarbeiten, damit Stickstoffverluste infolge Ammoniakverflüchtigung möglichst gering ausfallen.

Die Verteilgenauigkeit bei der Mistausbringung wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Neben der Beschaffenheit des Ausgangsmaterials spielen das sorgfältige Beladen des Streuers und die eingesetzte Technik eine wichtige Rolle (Tabelle 2). Für Stallmist werden primär Streuer mit horizontal (Abbildung 2) oder vertikal angebrachten Walzen eingesetzt. Zur Ausbringung von Geflügelmist sind diese Streuwerke nur bedingt geeignet, da der lockere Mist am Ende des Kratzbodens unzerteilt direkt auf den Boden fallen kann (Moser 2007). Hier empfehlen sich Tellerstreuer, bei denen Streuteller unterhalb der Walzen eine gute Querverteilung gewährleisten.



Abbildung 2 | Miststreuer mit zwei liegenden Walzen (Foto: Agroscope).

Zur Überwachung der Streumenge können Wiegeeinrichtungen installiert werden. Auch eine geschwindigkeitsabhängige Regulierung des Kratzbodenvorschubs ist möglich. Grenzstreueinrichtungen gewährleisten eine kontrollierte grenznahe Verteilung. Im Berggebiet haben sich Seitenstreuer bewährt. Sie haben ein sehr feines Streubild und dank Schiebewand eine gute Längsverteilung. Bei Bedarf können sie mit einem verstellbaren Streukopf zur Regulierung der Streuweite ausgestattet werden (Hunger 2013a und 2013b).

Für die **Ausbringung von festen Recyclingdüngern** (Kompost, Häckselgut) kommen vor allem spezielle Kompost- und Grossflächenstreuer zum Einsatz. Diese zeichnen sich durch eine stabile Bauweise (Streuwanne, Chassis, Achse), hohes Fassungsvermögen und Tellerstreuwerk aus. Ein hydraulisch verstellbarer Stauschieber vor dem Streuwerk verbessert die Dosiergenauigkeit.

Tabelle 2 | Merkmale verschiedener Ausbringtechniken für Mist und stichfeste Recyclingdünger (modifiziert aus Hunger 2013a).

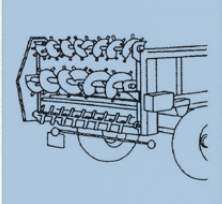
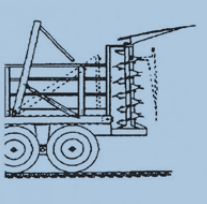

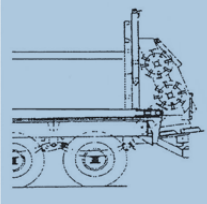
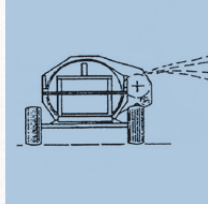
	Miststreuer	Universalstreuer	Muldenstreuer	Tellerstreuer	Seitenstreuer
					
Streuwerk	2/3 liegende Walzen	4 stehende Walzen	2 grosse, stehende Walzen	2/3 liegende bzw. stehende Walzen und 2 Streuteller	Streu rotor Sternrotor
Dosierung	Kratzboden (mechanisch/hydraulisch oder hydraulische Abschiebetechnik)				Kratzboden, Schnecken
Arbeitsbreite	3–4 m	6–7 m	6 m	11–15 m	10–15 m
Streuqualität quer	befriedigend	gut bis sehr gut	gut	gut	befriedigend
Streuqualität längs	ungenügend	mit Stauschieber befriedigend	mit Stauschieber befriedigend	mit Stauschieber befriedigend	gut
Eignung für	Stallmist Kompost	Stallmist Kompost Geflügelmist Dickstoff	Stallmist Kompost Geflügelmist Dickstoff	Stallmist Kompost Geflügelmist Dickstoff Feuchtkalk	Stallmist Kompost Geflügelmist Dickstoff Feuchtkalk

Tabelle 3 | Merkmale verschiedener Techniken für die breitflächige Ausbringung fester Mineraldünger (Angaben aus Frick 2002 und Nagl 2011).

	Schleuderstreuer		Auslegerstreuer	
	Scheibenstreuer	Pendelrohrstreuer	Schneckenstreuer	Pneumatikstreuer
Verteiltechnik	scheibenförmiges Schleuderwerk	hin- und herschwenkendes Rohr	Förderschnecke	Luftstrom
Arbeitsbreite	10–36(–50) m	12–18 m	gering bis mittel	
Querverteilung	gut	sehr gut	sehr gut	
Eignung für unterschiedliche Mineraldünger	hohe Ansprüche an die Düngerkörnung → weniger geeignet für leichte und pulverförmige Dünger und bei geringer Granulatfestigkeit	geringere Ansprüche an die Düngerkörnung als bei Scheibenstreuern	geringe Ansprüche an die Düngerkörnung → gleichmässige Verteilung auch von leichten und pulverförmigen Düngern	
Besonderheiten	–	für präzises Grenz- oder Randstreuen ist gegebenenfalls das Pendelrohr auszutauschen	–	kleinräumige Anpassung der Ausbringmenge möglich (Teilbreitenschaltung; Mengenregelung innerhalb der Teilbreite)

4. Mineraldüngerausbringung

Die **Ausbringung fester Mineraldünger** erfolgt mit Schleuder- oder Auslegerstreuern (Tabelle 3). In der Schweiz weit verbreitet sind Zweisheibenstreuer mit Arbeitsbreiten bis 36 m (Frick 2002). Sie besitzen gegenüber Einscheibenstreuern eine exaktere Querverteilung, da Asymmetrien im Streubild durch die gegenläufige Drehrichtung der beiden Wurfscheiben abgeschwächt werden. Noch besser ist die Streubildsymmetrie bei Pendelrohrstreuern, deren Arbeitsbreite jedoch begrenzt ist (Nagl 2011). Eine gleichmässige Düngung der Gesamtfläche wird bei Schleuderstreuern durch überlappende Anschlussfahrten gewährleistet. Für präzises Grenz- oder Randstreuen sind Rand-

streueinrichtungen einzusetzen. Zur Ausbringung von leichten und pulverförmigen Düngern empfehlen sich Auslegerstreuer. Diese sind gegenüber den Düngereigenschaften relativ unempfindlich und erreichen auch bei Kalk oder Harnstoff eine sehr gute Querverteilung (Nagl 2011). Sie erfordern jedoch genaues Anschlussfahren und sind in der Anschaffung zum Teil deutlich teurer als Schleuderstreuer.

Ein exaktes Streuen mit Mineraldüngerstreuern bedingt das Einstellen mittels Streutabelle und die Durchführung einer Abdrehrprobe, da sich die physikalischen Eigenschaften der Dünger aufgrund der Luftfeuchtigkeit bei unterschiedlichen Ausbringterminen verändern können.

In Ergänzung zur breitflächigen Ausbringung können bei Hackfrüchten Mineraldünger mit Hilfe von Reihenstreugeräten oberflächlich (Frick 1995; Abbildung 3) oder mittels Düngerscharen als Unterfussdüngung (Zihlmann *et al.* 2002) in oder nahe bei den Pflanzenreihen abgelegt werden. Durch eine solche Platzierung von meistens Stickstoff und/oder Phosphor in der Nähe der Pflanzenwurzeln können Erträge und Ausnutzung der gedüngten Nährstoffe gesteigert werden; unter anderen zeigte dies Frick (1995) für die Reihendüngung von Stickstoff bei Mais.

Die **Applikation von flüssigen Mineraldüngern** mittels Pflanzenschutzspritze hat sich besonders für Spurenelemente bewährt. Zur Anwendung gelangen auch Stickstoff- und Stickstoff-Phosphor-Dünger sowie magnesium- und schwefelhaltige Verbindungen. Die gelösten Nährstoffe werden direkt auf die Blätter der Kulturpflanzen appliziert und von diesen durch Diffusion aufgenommen. Eine feuchte Blattoberfläche begünstigt die Aufnahme, daher ist die Ausbringung in den Abendstunden zu empfehlen (Müller 2008).

Bei der CULTAN-Düngung werden ammoniumreiche Düngergelösungen durch Injektion nahe der Pflanzenwurzeln im Boden platziert. Die Ammoniumdepots sollen eine kontrollierte Langzeiternährung der Pflanzen ermöglichen (Spiess *et al.* 2006; Flisch *et al.* 2013).



Abbildung 3 | Pflanzennahe oberflächliche Ausbringung eines Mineraldüngers mit Hilfe eines Reihenstreugeräts (Foto: Agroscope).

5. Literatur

- BAFU & BLW, 2012. Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Vollzug 1225, 62 S.
- Flisch R., Zihlmann U., Briner P. & Richner W., 2013. Das CULTAN-Verfahren im Eignungstest für den schweizerischen Ackerbau. *Agrarforschung* 4 (1), 40–47.
- Frick R., 1995. Reihendüngung im Mais. Pflanzenbaulich sinnvoll und technisch möglich. *FAT-Berichte* 466, Agroscope, Ettenhausen, 7 S.
- Frick R., 1999. Verteilgeräte an Güllefässern. Grosse Unterschiede bezüglich Arbeitsbreite und Verteilgenauigkeit. *FAT-Berichte* 531, Agroscope, Ettenhausen, 37 S.
- Frick R. & Menzi H., 1997. Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern? *FAT-Berichte* 496, Agroscope, Ettenhausen, 12 S.
- Frick R., 2002. Schleuderdüngerstreuer auf dem Prüfstand. Moderne Zweischiebenstreuer mit grossen Arbeitsbreiten und hoher Streugenauigkeit. *FAT-Berichte* 580, Agroscope, Ettenhausen, 28 S.
- Hunger R., 2013a. Mistzetter: System- und Produktübersicht. *Schweizer Landtechnik* 2, 9–11.
- Hunger R., 2013b. Aus der Seite – in die Weite. *Schweizer Landtechnik* 12, 7–9.
- Kupper T. & Menzi H., 2013. Technische Parameter Modell Agrammon. Tierkategorien, Stickstoffausscheidungen der Tiere, Emissionsraten, Korrekturfaktoren. Version 30.05.2013. Zugang: <http://www.agrammon.ch/assets/Downloads/Technische-Parameter-20130814.pdf> [13.9.2016].
- Lorenz F., 2010. Techniken der Gülleausbringung. Einfluss auf Ertrag, Futterqualität und Nährstoffeffizienz. *Milchpraxis* 4, 176–179.
- Moser A., 2007. Mist- und Kompoststreuer. *Schweizer Landtechnik* 3, 9–11.
- Müller E., 2008. Blattdüngung – Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen. 52. Kreuznacher Wintertagung 29.01.2008, Bad Kreuznach. Zugang: [http://www.dlr-rnh.de/Internet/global/themen.nsf/0/67ff3dfa65e88849c125742e0029f43c/\\$FILE/2008-04%20Blattd%C3%BCngung%20-%20bebilderte%20Version.pdf](http://www.dlr-rnh.de/Internet/global/themen.nsf/0/67ff3dfa65e88849c125742e0029f43c/$FILE/2008-04%20Blattd%C3%BCngung%20-%20bebilderte%20Version.pdf) [13.9.2016].
- Nagl T., 2011. Schleuder- und Auslegerstreuer im Überblick – Die Stärken und Schwächen. *Die Landwirtschaft* 4, 3–4.
- Sauter J., Dux D. & Ammann H., 2004. Verteilgenauigkeit von Schleppschlauchverteilern. In der Ebene gut, im Hang unterschiedlich. *FAT-Berichte* 617, Agroscope, Ettenhausen, 12 S.
- Sauter J., Moriz C., Honegger S., Anken T. & Albisser Vögeli G., 2010. Schleppschlauch- und Breitverteiler im Vergleich: Den Vorteilen des Schleppschlauchverteilers stehen höhere Kosten gegenüber. *ART-Berichte* 739, Agroscope, Ettenhausen, 8 S.
- Spiess E., Irla E., Heusser J., Meier U., Ballmer T., Gut F., Richner W., Scherrer C., Wüthrich R. & Hebeisen T., 2006. Depot-Injektion von ammoniumhaltigen Düngern nach dem CULTAN-System. *ART-Berichte* 657, Agroscope, Ettenhausen, 16 S.
- Zihlmann U., Weisskopf P., Bohren C. & Dubois D., 2002. Stickstoffdynamik im Boden beim Maisanbau. *Agrarforschung* 9 (9), 392–397.



6/ Pflanzenernährung im biologischen Landbau

Jochen Mayer
Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: jochen.mayer@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	6/3
2. Stickstoffdüngung.....	6/3
2.1. Stickstoffverfügbarkeit.....	6/3
2.2. Symbiotische Stickstofffixierung.....	6/4
2.3. Ernterückstände	6/4
3. Phosphor- und Kaliumdüngung.....	6/4
4. Literatur	6/4

Foto auf der Vorderseite: Agroscope.

1. Einleitung

Eines der Prinzipien im biologischen Landbau ist es, die Nährstoffkreisläufe auf Betriebsebene möglichst zu schließen. Die Produktion basiert mehrheitlich auf dem Recycling von Nährstoffen, um die natürlichen Ressourcen zu bewahren. Der Nährstoffeintrag sowie der Tierbesatz, der sich an der Produktivität des Standortes orientiert, sind in der Regel tiefer als im konventionellen Landbau. Durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen, welche die chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens verbessern, soll die Pflanzenproduktion optimiert werden. Der wiederholte Einsatz von organischen Düngern (Hofdünger, Kompost, Pflanzenrückstände etc.) im biologischen Landbau führt in der Regel zum Aufbau des Pools von organischer Substanz im Boden und somit der natürlichen Nährstoffressourcen (z. B. Phosphor). Negative Auswirkungen auf die Umwelt durch Nährstoffverluste in die Atmosphäre sowie ins Oberflächen- und Grundwasser sollen soweit als möglich minimiert werden.

Im biologischen Landbau wird nach langfristigen Lösungen auf Betriebsebene gesucht; dabei spielen die Gestaltung der Fruchtfolge und das Düngermanagement eine wichtige Rolle. Für die Untersuchung der langfristigen agronomischen und ökologischen Auswirkungen von Anbausystemen des biologischen Landbaus sind Langzeitversuche wie der DOK-Versuch (Abbildung 1) von grosser Bedeutung.

Dieses Modul der Grundlagen für die Düngung soll die Prinzipien der Pflanzenernährung im biologischen Landbau vermitteln, kann jedoch in diesem begrenzten Umfang nicht die spezifischen Angaben enthalten, die für die Umsetzung der Düngung von Kulturen im biologischen Anbau nötig sind. Solche praxisorientierte Detailangaben sind z. B. in Schmid und Obrist (2006) zu finden.

2. Stickstoffdüngung

Stickstoff (N) spielt in der Pflanzenproduktion eine wichtige Rolle, da sich dieser bei Mangel ertragslimitierend auswirkt. Durch den Verzicht auf synthetische Mineraldünger sind neben den organischen Düngern die biologische N_2 -Fixierung über Leguminosen sowie die organische Bodensubstanz die wichtigsten N-Quellen im biologischen Landbau. Zudem werden durch die atmosphärische Deposition zum Teil nicht unerhebliche N-Mengen eingetragen.

Im biologischen Landbau ist der anorganische Boden-N-Pool selten gross. Die N-Ernährung der Pflanzen wird zum grössten Teil über den organischen N-Pool im Boden sichergestellt. Damit der im Boden gebundene organische N von den Pflanzen aufgenommen werden kann, muss dieser zuerst durch die Bodenmikroorganismen in eine mineralische Form (Ammonium, Nitrat) überführt werden. Die N-Mineralisierungsrate hängt demzufolge von der mikrobiellen Aktivität ab, die wiederum vom Wasser- und Sauerstoffgehalt im Boden, der Bodentemperatur sowie der Verfügbarkeit von organischem Material beeinflusst wird.

2.1 Stickstoffverfügbarkeit

Durch die Gestaltung der Fruchtfolge kann es im Boden zu Phasen besserer oder schlechterer N-Verfügbarkeit kommen. Nach dem Umbruch z. B. einer Kunstwiese oder eines Körnerleguminosenbestandes kann eine relativ grosse Menge an mineralischem N freigesetzt werden; die Freisetzung nimmt mit zunehmendem zeitlichem Abstand zum Umbruchtermin ab. Um eine maximale N-Ausnutzung zu erreichen, empfiehlt sich deshalb der Anbau von Feldfrüchten mit hohem N-Bedarf (z. B. Kartoffeln, Winterweizen) direkt nach Leguminosen und von Feldfrüchten mit geringerem N-Bedarf in grösserem Abstand zu Leguminosen, in der Regel am Ende der Fruchtfolgeperiode. Durch



Abbildung 1 | Der DOK-Versuch des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) und von Agroscope in Therwil/BL ist der weltweit bedeutendste Langzeit-Feldversuch zum Vergleich biologischer und konventioneller Anbausysteme (Foto: FiBL).

die Gestaltung der Fruchtfolge wird nicht nur die N-Verfügbarkeit, sondern auch die Bodenstruktur (Durchlüftung, Wasserhaltekapazität) beeinflusst. Dies wiederum wirkt sich auf die mikrobielle Aktivität aus, welche die Mineralisierung und Immobilisierung von Nährstoffen im Boden steuert.

Der N-Gehalt in Hofdüngern sowie dessen Verfügbarkeit kann – abhängig von der Tierart, der Futterzusammensetzung, dem Aufstallungssystem sowie der Lagerung – stark variieren. Dies erschwert es, den Zeitpunkt der N-Freisetzung aus organischen Verbindungen in Hofdüngern abzuschätzen, weshalb die N-Zufuhr oft schlecht mit dem Pflanzenbedarf abgestimmt ist. Eine der grossen Herausforderungen beim Einsatz von Hofdüngern ist deshalb die Synchronisierung der N-Freisetzung mit dem N-Bedarf der Kulturen, um eine höhere N-Ausnutzungseffizienz zu erreichen. Vor diesem Hintergrund muss der Einsatz von Hofdüngern geplant und abgestimmt werden. Die verfügbare N-Menge in den betriebseigenen Hofdüngern reicht jedoch in der Regel nicht aus, um die N-Ernährung der Kulturen sicherzustellen. Als zusätzliche N-Quellen sind deshalb Leguminosen in der Fruchtfolge sowie das Einarbeiten von Ernterückständen in den Boden im biologischen Landbau ein zentrales Element.

2.2 Symbiotische Stickstofffixierung

Die symbiotische Fixierung von atmosphärischem N erfolgt durch die Symbiose der Leguminosen mit Knöllchenbakterien. Der durch die Leguminosen fixierte N wird z. B. nach dem Umbruch von Kunstwiese über die Mineralisierung des N in den Pflanzenrückständen durch Bodenmikroorganismen für die nachfolgende Kultur verfügbar.

Die Fixierungsleistung verschiedener Leguminosen ist jedoch sehr variabel und hängt von vielen Faktoren wie der Sorte, dem Kleeanteil, der Menge an verfügbarem Boden-N oder dem Klima ab. Die Fixierungsleistung von Leguminosen-Gras-Mischungen in die oberirdische Biomasse kann bis zu 250 kg N pro ha und Jahr betragen. Bei Körnerleguminosen kann unter optimalen Wachstumsbedingungen zwischen 120–240 kg N pro ha und Jahr in die oberirdische Biomasse fixiert werden.

2.3 Ernterückstände

Ernterückstände bilden ebenfalls eine wichtige N-Quelle für nachfolgende Kulturen. Je nach Menge und Qualität der Ernterückstände können 5–20 % des N aus den Rückständen für die Nachfolgekultur verfügbar werden. Bei der Einarbeitung von N-reichen Rückständen mit tiefem Kohlenstoff(C):N-Verhältnis erfolgt die N-Mineralisierung rasch, d. h. der Gehalt an mineralischem N im Boden nimmt schnell zu. Bei stickstoffarmen Rückständen mit hohem C:N-Verhältnis wie Weizenstroh erfolgt die N-Mineralisierung langsam. Im ungünstigen Fall kann N im Boden durch Ernterückstände mit hohem C:N-Verhältnis mikrobiell immobilisiert werden und ist dann temporär nicht pflanzenverfügbar.

3. Phosphor- und Kaliumdüngung

Phosphor (P) und Kalium (K) werden zu einem grossen Teil über die organischen Dünger (Hofdünger, Pflanzenrückstände, Kompost) wieder in das System zurückgeführt oder aus den Bodenvorräten erschlossen. Bei nachweisbar mittelmässig und schlecht versorgten Böden (z. B. auf viehlosen Betrieben) können P und K durch zugelassene Dünger gemäss der FiBL-Betriebsmittelliste (FiBL 2017) ersetzt werden. Regelmässige Bodenuntersuchungen tragen wesentlich dazu bei, den Nährstoffzustand des Bodens zu beurteilen und eine Nährstoffabnahme rechtzeitig zu erkennen (vgl. Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen). Der Aufschluss der Düngernährstoffe soll äquivalent zu den Nährstoffen des Bodens über Mikroorganismen, Pflanzenwurzeln oder langsam ablaufende bodenchemische Prozesse erfolgen. Deshalb werden P- und K-Handelsdünger in biologischen Fruchtfolgen nicht kulturbezogen appliziert, sondern am besten zu Leguminosen ausgebracht, die einerseits einen hohen P-Bedarf haben und P und K relativ gut aus schwerlöslichen Formen aufschliessen können.

4. Literatur

- FiBL, 2017. Betriebsmittelliste 2017. Hilfsstoffe für den biologischen Landbau in der Schweiz. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick. 132 S. Zugang: <https://shop.fibl.org/chde/mwdownloads/download/link/id/52/> [19. 1. 2017].
- Schmid O. & Obrist R., 2006. Biologischer Landbau – Lehr- und Fachbuch für landwirtschaftliche Schulen und die Praxis. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale LMZ, Zollikofen. 267 S.



7/ Düngung und Umwelt

Walter Richner¹, Daniel Bretscher¹, Harald Menzi² und Volker Prasuhn¹

¹ Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

² Agroscope, 1725 Posieux, Schweiz

Auskünfte: walter.richner@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Die Düngung als Teil des Nährstoffkreislaufs	7/3
2. Eignung und potenzielle Umweltgefährdung der Dünger	7/3
3. Massnahmen zur Verhinderung von Nährstoffverlusten	7/4
3.1 Ammoniakverflüchtigung	7/4
3.2 Denitrifikation	7/6
3.3 Versickerung: Auswaschung und Drainageverluste	7/6
3.4 Oberflächenabfluss: Abschwemmung und Erosion	7/7
4. Folgen einer Überdüngung	7/8
5. Schadstoffe und Krankheitserreger in Düngern	7/8
6. Rechtsgrundlagen	7/10
7. Zusammenfassende Empfehlungen für eine umweltschonende Düngung	7/10
8. Literatur	7/11
8.1 Zitierte Literatur	7/11
8.2 Weiterführende Literatur	7/11
9. Tabellenverzeichnis	7/12
10. Abbildungsverzeichnis	7/12

Foto auf der Vorderseite: Agroscope.

1. Die Düngung als Teil des Nährstoffkreislaufs

Durch die Düngung werden dem Boden Nährstoffe zugeführt, die ihm durch die pflanzliche Produktion entzogen wurden. Auf vielen Betrieben wird gemäss dem schweizerischen Düngungskonzept (vgl. Modul 1/ Einleitung, Abbildung 2) zuerst mit den Hofdüngern und Ernterückständen ein Grossteil der geernteten Nährstoffe zurückgeführt. Erst in zweiter Linie werden mit betriebsfremden Düngern (organische Dünger und Mineraldünger) mögliche Defizite zwischen dem Nährstoffbedarf der Kulturen und dem betriebsinternen Nährstoffanfall ausgeglichen.

Um umweltbelastende Nährstoffverluste zu verhindern und die Ertragsfähigkeit des Bodens nachhaltig zu sichern, ist unter Beachtung der Nährstoffkreisläufe (vgl. Modul 1/ Einleitung, Abbildung 1) die Zu- und Wegfuhr von Nährstoffen so gut wie möglich auszugleichen. Zur Sicherstellung einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz auf Betriebsebene ist die Suisse-Bilanz (Agridea und BLW 2016), die den Anfall an Nährstoffen dem Nährstoffbedarf der Kulturen gegenüberstellt, ein bewährtes Hilfsmittel.

Auf viehhaltenden Betrieben muss insbesondere der Nährstoffanfall in den Hofdüngern auf den Nährstoffbedarf der Kulturen und den Nährstoffgehalt des Bodens abgestimmt sein. Dabei sollte auf eine dem Standort angepasste Bewirtschaftungsintensität geachtet werden. Der Nährstoffanfall aus der Tierhaltung wird nicht nur durch den auf dem Betrieb gehaltenen Tierbestand, sondern auch durch die Fütterung massgeblich bestimmt. Zentral ist eine dem aktuellen Bedarf der Tiere entsprechende Fütterung von Energie, Proteinen und Mineralstoffen. Dies bedingt eine auf die leistungsabhängigen Bedarfsempfehlungen abgestützte Fütterungsplanung. Erreicht werden kann die bedarfsgerechte Fütterung über die Zusammensetzung der Grundfütterration, z.B. durch Zufütterung von energie- und rohfaserreichen Grundfütterkomponenten neben proteinreichem Gras, durch eine korrekte Dosierung von Kraftfutter und Mineralstoffergänzung oder auch durch spezielle Futtermittel (z. B. stickstoff- und phosphorreduziertes Schweinefutter).

Bezüglich des Ziels einer ausgeglichenen betrieblichen Nährstoffbilanz gilt es auch, das standortspezifische Produktionspotenzial zu beachten. Im Talbetrieb kann daher eine grössere Nährstoffmenge umgesetzt werden als im Bergbetrieb und somit der Tierbesatz pro Flächeneinheit höher liegen. Weiterhin sollte im Sinne einer optimalen Bodenfruchtbarkeit eine ausgeglichene Nährstoffversorgung angestrebt werden. Überschüsse einzelner Nährstoffe können bei Mangel an anderen Nährstoffen unter Umständen nicht genutzt werden und daher ein erhöhtes Umweltgefährdungspotenzial darstellen.

Auch wenn eine ausgeglichene betriebliche Nährstoffbilanz ein sehr wichtiges Ziel ist, garantiert sie alleine noch nicht, dass die Düngung keine umweltrelevanten Probleme verursacht. Dafür ist zusätzlich die gezielte und umweltschonende Anwendung aller Dünger, insbesondere

der Hofdünger, eines Betriebes notwendig. Empfehlungen dafür finden sich im Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern.

2. Eignung und potenzielle Umweltgefährdung der Dünger

Aufgrund ihrer Eigenschaften haben die einzelnen Dünger ein unterschiedliches Umweltgefährdungspotenzial (Tabelle 1). Der Aufwand für die umweltschonende Lagerung und Ausbringung der verschiedenen Dünger ist ebenfalls unterschiedlich.

Hof- und Recyclingdünger weisen ein erhöhtes Umweltbelastungspotenzial auf. Dafür gibt es mehrere Gründe:

- Der erst nach der Mineralisierung zur Wirkung kommende organisch gebundene Stickstoff (N) lässt sich bezüglich Menge und Freisetzungzeitpunkt nur ungenügend dem Kulturenbedarf anpassen; dies kann zu erhöhten N-Verlusten auf verschiedenen Verlustpfaden (v.a. Nitratauswaschung und Lachgasausgasung) führen.
- Der mineralische N-Anteil liegt mehrheitlich in Form von Ammonium (NH_4^+) vor und kann in Form von Ammoniak (NH_3) in die Atmosphäre entweichen.
- Die Nährstoffgehalte sind in der Regel weniger genau bekannt und weniger konstant als bei Mineraldüngern.
- Die Hof- und Recyclingdünger fallen zu einem grossen Teil in flüssiger Form an und unterliegen deshalb speziellen Verlustrisiken (Abschwemmung, Versickerung).

Da bei jeder Produktion von tierischen Lebensmitteln Hofdünger anfallen, ist es naheliegend, diese auf dem Betrieb umweltschonend pflanzenbaulich zu verwerten. Dabei sind möglichst alle Massnahmen für eine umweltschonende Hofdüngewirtschaft (optimierte Nährstoffgehalte in den Futtermitteln, Lagerung, Ausbringzeitpunkt und -technik) zu nutzen. Eine wichtige Voraussetzung, um das Verlustrisiko zu minimieren, ist eine genügend grosse Hofdüngelagerkapazität (vgl. Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Kapitel 2.5.1), damit die Ausbringung von N-haltigen Düngern wie Gülle und Mist ausserhalb der Wachstumsperiode der Pflanzen vermieden werden kann. Auf die Problematik der Düngerausbringung während der Vegetationsruhe wird in diesem Modul nicht weiter eingegangen, weil diese Thematik in der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft, Modul Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft (BAFU und BLW 2012), ausführlich beschrieben ist.

Wichtig zu beachten ist, dass in der Regel die Umweltbelastungsrisiken mit steigendem (Hof-)Düngeranfall pro Fläche, das heisst mit steigender Düngeintensität, überproportional zunehmen. In diesem Sinne muss der Tierbestand eines Betriebes unbedingt der betriebseigenen Futterproduktion, die vom standortspezifischen Produktionspotenzial abhängt, angepasst sein. Überschüssige Hof-

Tabelle 1 | Umweltgefährdungspotenzial beim Einsatz verschiedener Düngerarten und Aufwand zur Reduktion der Belastung von Boden, Wasser und Luft.

Die Angaben in dieser Tabelle basieren auf wissenschaftlichen Grundlagen und Expertenwissen. Es wurde angenommen, dass alle Dünger mengenmässig und zeitlich optimal eingesetzt werden. Als Systemgrenze wurde die Güllegrube, der Miststock beziehungsweise der Betrieb gewählt. Das Umweltgefährdungspotenzial der Hofdünger im Stall, der Recyclingdünger bei der Herstellung und beim Transport sowie der Mineraldünger bei der Gewinnung und beim Transport blieben unberücksichtigt.

Düngertyp	Belastungspotenzial für:				Technische und ökonomische Kriterien		
	Boden ¹	Grundwasser ²	Oberflächengewässer ³	Luft ⁴	Aufwand für Lagerung und Handhabung	Aufwand für exakte Ausbringung	Aufwand und Einschränkungen für umweltschonende Ausbringung ⁸
Gülle	3	3	3	3	3	3	3
Mist	2	3	2	2	2	2	3
Gärgut flüssig ⁵	3	3	3	3	2	3	3
Gärgut fest ⁵	2	3	2	2	2	2	3
Kompost	2	2	2	2	2	2	2
Min. N-Dünger ^{6, 7}	1	2	1	2	1	2	2
Min. P-Dünger ^{6, 7}	2	1	1	0	1	2	1
Min. K-Dünger ^{6, 7}	1	2	1	0	1	2	1
Min. Mg-Dünger ^{6, 7}	1	1	1	0	1	2	1
Min. S-Dünger ^{6, 7}	1	2	1	0	1	2	1

Bewertungsskala für Belastungspotenzial sowie technischen und ökonomischen Aufwand:
0 = fehlend, 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch.

Düngertyp: Min. = mineralisch, N = Stickstoff, P = Phosphor, K = Kalium, Mg = Magnesium, S = Schwefel.

¹ Eintrag von Schadstoffen und physikalische Bodenbelastung.

² Belastung mit Nitrat (NO₃⁻), Chlor, Sulfat, Krankheitserregern und weiteren Stoffen.

³ Belastung mit Phosphor und Stickstoff, Krankheitserregern und weiteren Stoffen.

⁴ Emission von Ammoniak und Lachgas.

⁵ Aus landwirtschaftlichen und gewerblich-industriellen Vergärungsanlagen.

⁶ Umweltbelastungen durch Herstellung und Transport zum Hof nicht berücksichtigt.

⁷ Bei Mehrnährstoffdüngern wird bei der Beurteilung der Kriterien jeweils der höchste Wert einer Teilkomponente des Düngers herangezogen.

⁸ Investitionen (Gebäude, Maschinen), Arbeitszeit.

dünger müssen weggeführt und umweltgerecht verwertet werden.

Auch der Einsatz von Mineraldüngern belastet die Umwelt. Zum einen ist ihre Produktion unmittelbar mit der Nutzung von meist nicht erneuerbaren Ressourcen (fossile Energie, Rohstoffe) verbunden, zum anderen können die Dünger bei nicht optimalem Einsatz (Dosierung, Ausbringzeitpunkt, Ausbringtechnik) negative Auswirkungen auf die Umwelt haben (z. B. durch NO₃⁻-Auswaschung, Eutrophierung). Allerdings können die Mineraldünger im Unterschied zu den Hofdüngern meist gezielter eingesetzt werden, da die Gehalte und die Wirkungsgeschwindigkeit der Nährstoffe bekannt sind.

3. Massnahmen zur Verhinderung von Nährstoffverlusten

Nährstoffverluste sind ökonomische Verluste für den landwirtschaftlichen Betrieb und eine ernst zu nehmende Belastung der Umwelt. Von Bedeutung sind hauptsächlich Verluste durch NH₃-Verflüchtigung, Denitrifikation, Versi-

ckerung (Auswaschung und Drainageverluste) und Oberflächenabfluss (Abschwemmung und Erosion). Durch eine unsachgemässe Düngung wird das Verlustrisiko erhöht.

3.1 Ammoniakverflüchtigung

Aus NH₄⁺ entstehendes NH₃ entweicht als Gas in die Luft und wird später zum grössten Teil wieder auf der Erdoberfläche abgelagert. Empfindliche Ökosysteme können durch den N-Eintrag aus der Luft geschädigt werden (Überdüngung, Versauerung) und die NO₃⁻-Auswaschung kann durch den aus der Luft eingetragenen N verstärkt werden. Zusätzlich werden durch NH₃ verschiedene unerwünschte Prozesse in der Atmosphäre beeinflusst. NH₃ reagiert in der Atmosphäre mit Salpetersäure und Schwefelsäure zu sekundären Aerosolen, die massgeblich zur Feinstaubbelastung der Luft beitragen (Spirig und Neftel 2006).

Eine Verringerung der NH₃-Verluste kommt auch dem Landwirtschaftsbetrieb direkt zugute, indem mehr N für die Pflanzen verfügbar ist und die zugeführte Menge N-Dünger entsprechend reduziert werden kann. Eine Reduk-

tion der NH_3 -Verluste im Stall und während der Hofdüngerlagerung wird erreicht, indem die verschmutzte Fläche gering gehalten und oft gereinigt wird sowie Güllelagerbehälter gedeckt werden.

Grosse NH_3 -Verluste treten nach dem Ausbringen der Hofdünger auf. Einfache Massnahmen zur Verringerung dieser Verluste sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Wichtig ist dabei die Wahl eines geeigneten Ausbringzeitpunktes (Witterung, Bodenzustand, Bodenbedeckung im Ackerbau). Zudem können die NH_3 -Verluste und die Geruchsemissionen durch den Einsatz besonderer Ausbringtechniken (Schleppschauch, Schleppschuh, Gülledrill, gleichzeitiges Einarbeiten) deutlich reduziert werden (vgl. Modul 5/ Ausbringtechnik bei Hof-, Recycling- und Mineräldüngern). Wenn die Topographie es erlaubt, sollten daher solche verlustreduzierende Gülleaustbringtechniken (Abbildung 1) eingesetzt werden. Mist sollte beim Einsatz im Ackerbau innerhalb weniger Stunden nach dem Ausbringen eingearbeitet werden.



Abbildung 1 | Mit Hilfe von Schleppschauchverteilern mit bodennaher, streifenförmiger Ablage von flüssigen Düngern können Ammoniakverluste im Vergleich zu breitflächiger Ausbringung mit Pralltellern verringert werden (Foto: Harald Menzi, Agroscope).

Tabelle 2 | Faktoren, welche die Ammoniakverflüchtigung beeinflussen, und Massnahmen zur Reduktion der Emissionen.

Die Angaben in dieser Tabelle basieren auf wissenschaftlichen Grundlagen und Expertenwissen.

Kriterium	Verhältnisse	Risiko	Massnahmen zur Vermeidung hoher Ammoniakverluste	
			Gülle und flüssiges Gärgut	Mist und festes Gärgut
Witterung	hohe Lufttemperatur, trockene Luft, windig	hoch	Ausbringung an Tagen mit kühlfeuchter Witterung durchführen	Ausbringung an Tagen mit kühlfeuchter Witterung durchführen
	kühl, feucht, windstill	mittel	am späten Nachmittag oder abends ausbringen	
	Niederschlag während des Ausbringens	gering	kurz vor oder während leichtem Regen ausbringen (Vorsicht: Abschwemmung)	kurz vor oder während leichtem Regen ausbringen (Vorsicht: Abschwemmung)
Bodenzustand	wassergesättigte, ausgetrocknete, verdichtete, verschlammte, verkrustete Bodenoberfläche	hoch	Gülle nur auf aufnahmefähigen Boden ausbringen	
	feuchter, aufnahmefähiger Boden	gering bis mittel		
Bodenbedeckung im Ackerbau	Strohhäckseldecke, Mulchschicht, Pflanzenreste (Direktsaat)	hoch	Stoppelbearbeitung mit gleichzeitiger Injektion (Güllegrubber) oder Boden vor der Gülleanwendung mit Schälgrubber bearbeiten	
	dichter, hoher Pflanzenbestand	mittel bis hoch	Gülledüngung im Mais: Versickerung der Gülle im Boden fördern (z. B. vorgängig zwischen den Reihen hacken), Unterblattausbringung	
	Boden ohne Bedeckung	mittel	Gülle ausreichend verdünnen	
Verdünnungsgrad der Gülle ¹	unverdünnt	hoch	Rindvieh-Vollgülle: mind. 1 : 1, besser 1 : 2 verdünnen; kotarme Gülle, Schweinegülle: mind. 1 : 2, besser 1 : 3 verdünnen	
	mässig verdünnt (bis 1 : 1)	mittel		
	stark verdünnt (über 1 : 2)	gering		
Ausbringtechnik (vgl. Modul 5/ Ausbringtechnik bei Hof-, Recycling- und Mineräldüngern)	breitflächige Ausbringung	hoch	Ausbringung mittels Schleppschauch-/Schleppschuhverteiler, Schlitzdrill, Tiefinjektion, Güllegrubber	Sofortige Einarbeitung (innerhalb der ersten Stunden nach dem Ausbringen) mit Pflug oder Grubber
	streifenförmige bodennahe Ausbringung ²	mittel		
	direkte Einbringung in Boden ^{2, 3}	gering		

¹ Teile Gülle: Teile Wasser. ² Nur bei Gülle und flüssigem Gärgut möglich. ³ Keine spezielle Verdünnung erforderlich.

3.2 Denitrifikation

Nitrifikation bezeichnet die Umwandlung von NH_4^+ in NO_3^- . Die weitere Umwandlung von NO_3^- in gasförmigen N (N_2) wird als Denitrifikation (NO_3^- -Atmung) bezeichnet und bedeutet aus Sicht der Düngung immer einen Nährstoffverlust. Sowohl bei der Nitrifikation als auch bei der Denitrifikation kann Lachgas (Distickstoffmonoxid, N_2O) als Nebenprodukt respektive Zwischenprodukt entstehen. N_2O ist ein starkes Treibhausgas, das in bedeutendem Ausmass zur Erwärmung der Erdatmosphäre beiträgt. Für die Bestimmung der Emissionen von Lachgas und anderen Spurengasen aus landwirtschaftlichen Systemen ist eine aufwändige Messtechnik nötig (Abbildung 2).

Ideale Bedingungen für die Nitrifikation sind hohe Temperaturen und eine gute Sauerstoffversorgung (nicht zu hoher Bodenwassergehalt). Häufig ist jedoch die Denitrifikation der hauptverantwortliche Prozess für die N_2O -Produktion und den N-Verlust. Sie findet nur statt, wenn praktisch kein Sauerstoff im Boden vorhanden ist, also unter anaeroben Bedingungen. Diese entstehen in Böden an Stellen mit hoher mikrobieller Aktivität, wenn nicht genügend Sauerstoff durch gasförmige Diffusion nachgeliefert werden kann. Optimale Bedingungen für Nährstoffverluste durch Denitrifikation herrschen somit vor allem im Innern von Bodenaggregaten, wenn genügend Nitrat und organisches Material vorhanden sind, die Temperatur



Abbildung 2 | Messung der Lachgasemission in einem Weideversuch mittels der Eddy-Kovarianz-Methode (Foto: Raphael Felber, Agroscope).

nicht zu tief ist und die Diffusion von Sauerstoff durch einen hohen Bodenwassergehalt eingeschränkt ist. Zusätzlich können grössere Mengen an N_2O während Gefrier- und Tauzyklen im Herbst und im Frühjahr gebildet werden, wobei die entsprechenden biochemischen Prozesse noch relativ schlecht bekannt sind.

Durch N-Einträge in Form von Hof-, Mineral-, Recyclingdüngern oder Ernterückständen wird die Verfügbarkeit von NH_4^+ und NO_3^- im Boden erhöht, wodurch Nitrifikation und Denitrifikation in der Regel zunehmen. Diese natürlichen Prozesse sind meist nur schwierig durch Bewirtschaftungsmassnahmen beeinflussbar. Im Durchschnitt wird ein Prozent des Stickstoffeintrages in Form von N_2O emittiert (Default Emission Factor nach IPCC 2006). Durch vollständige Denitrifikation zu N_2 können jedoch im Allgemeinen bis zu 10 %, teilweise noch grössere Anteile des Stickstoffs, verloren gehen. Zudem konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, dass die Emissionen bei hoher Verfügbarkeit von mineralischem Stickstoff, und insbesondere bei Düngung über dem Pflanzenbedarf, überproportional zunehmen (Snyder *et al.* 2009; Van Groenigen *et al.* 2010). Daher gilt es, zeitliche und lokale Überschüsse von NH_4^+ und NO_3^- im Boden durch eine möglichst bedarfsgerechte N-Düngung so gering wie möglich zu halten.

Nitrifikation und Denitrifikation finden nicht nur in den landwirtschaftlichen Böden statt, sondern sind wegen der Verfrachtung von NH_3 und NO_3^- aus der Landwirtschaft in seminaturliche Ökosysteme auch in diesen Systemen von Bedeutung. Die entsprechenden N-Emissionen sind oft überdurchschnittlich hoch. Im Sinne einer klimafreundlichen Landwirtschaft ist es deshalb wichtig, die Gesamtheit der N-Flüsse zu betrachten und sämtliche Verluste von Stickstoff gemäss den Empfehlungen in den Tabellen 2–4 möglichst gering zu halten.

3.3 Versickerung: Auswaschung und Drainageverluste

Bei der Auswaschung werden lösliche Nährstoffe (NO_3^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} usw.) mit dem Wasser, das durch den Boden sickert, bis ins Grundwasser transportiert (Matrixfluss). Flüssige Dünger können unter bestimmten Bodenbedingungen auch über Makroporen versickern (präferenzialer Fluss) und den Wurzelraum der Pflanzen verlassen. Beide Arten der Nährstoffverlagerung in tiefere, nicht durchwurzelte Bodenschichten beeinträchtigen die Qualität des Grundwassers. Die Auswaschung von Nährstoffen in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Nutzung wird häufig mit Lysimetern (Abbildung 3) untersucht.

Spezielle Vorsicht ist bei der Düngung von drainierten Flächen geboten. Auf drainierten Flächen ist die Bodenpassage des Sickerwassers deutlich verkürzt. Dadurch ist das Risiko von Stoffverlusten durch Matrixfluss und präferenzialen Fluss deutlich erhöht. Drainageverluste können deshalb die Qualität der Oberflächengewässer beeinträchtigen.

Im Substratanbau von Spezialkulturen ist das Drainagewasser in Rinnen aufzufangen und zu rezyklieren bzw. agronomisch sinnvoll in anderen Kulturen einzusetzen.

Durch geeignete Massnahmen können die Gefahren von Auswaschung und Drainageverlusten stark vermindert werden (Tabelle 3).

3.4 Oberflächenabfluss: Abschwemmung und Erosion

Auf der Bodenoberfläche liegende Dünger können durch Niederschläge oberflächlich abgeschwemmt oder mit dem Erosionsmaterial abgetragen werden. Die darin enthaltenen Nährstoffe belasten die Oberflächengewässer (Eutro-

Tabelle 3 | Faktoren, welche die Versickerung von Nährstoffen aus Düngern durch Auswaschung und Drainageverluste beeinflussen, sowie Empfehlungen zur verlustarmen Ausbringung von flüssigen Düngern.

Die Angaben in dieser Tabelle basieren auf wissenschaftlichen Grundlagen und Expertenwissen.

Kriterien	Verhältnisse	Risiko von Auswaschung und Drainageverlusten	Belastbarkeit mit flüssigen Düngern; Massnahmen bezüglich des Ausbringens von flüssigen Düngern, u. a. maximale Einzelgaben ¹
Witterungsverhältnisse	starke oder andauernde Niederschläge	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen
Porenzustand des Bodens	a. Porenverteilung und -form:		
	– rasch durchlässig, grobporig, klüftig, künstliche Sickerhilfen	hoch	wenig bis nicht belastbar; bis 25 m ³ /ha
	– gehemmt durchlässig, feinporig, stauend	mittel	reduziert belastbar; bis 40 m ³ /ha
	– normal durchlässig, mittelporig	gering	normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *
	b. Porenfüllung:		
	– Boden nicht saugfähig, wassergesättigt	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen
	– Boden saugfähig, mögliche Flüssigkeitsaufnahme 3–5 mm	mittel	reduziert belastbar; bis 40 m ³ /ha
– Boden gut saugfähig, mögliche Flüssigkeitsaufnahme > 5 mm	gering	normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *	
Mächtigkeit des Bodenfilters	a. ungenügende bis geringe pflanzennutzbare Gründigkeit (< 30 cm)	hoch	wenig belastbar; bis 25 m ³ /ha
	b. genügende pflanzennutzbare Gründigkeit (30–50 cm)	mittel	reduziert belastbar; bis 40 m ³ /ha
	c. gute bis sehr gute pflanzennutzbare Gründigkeit (> 50 cm)	gering	normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *
Rückhaltevermögen des Bodenfilters	a. Böden mit geringem Rückhaltevermögen: Humusgehalt < 2 % Tongehalt < 10 %	hoch	wenig belastbar; bis 25 m ³ /ha
	b. Böden mit reduziertem Rückhaltevermögen: Humusgehalt < 5 % Tongehalt > 30 %	mittel	reduziert belastbar; bis 40 m ³ /ha
	c. Böden mit gutem Rückhaltevermögen: Humusgehalt 2–10 % Tongehalt 10–30 %	gering	normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *
Bepflanzung ² (Nährstoffbedarf der angebauten Kultur)	a. Nährstoffbedarf vorhanden oder kurz bevorstehend	gering	normal belastbar; Ausbringen angemessener Mengen
	b. Nährstoffbedarf nicht vorhanden:		
	– Ackerland	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen
– Wiesland	hoch	wenig belastbar; bis 25 m ³ /ha	

¹ Die angegebenen maximalen Ausbringmengen beziehen sich auf ausreichend verdünnte Gülle. Bei geringerer Verdünnung sind die Mengen unter Berücksichtigung der max. zulässigen N-Einzelgaben zu reduzieren: für Ackerkulturen siehe Tabelle 26 des Moduls 8/ Düngung von Ackerkulturen und für Grünland die Angaben im Modul 9/ Düngung von Grasland.

² Zur Beurteilung, ob ein Nährstoffbedarf von Kulturen vorhanden ist, kann das Konzept der Vegetationsruhe herangezogen werden. Detaillierte Angaben dazu sind in BAFU und BLW (2012) enthalten.

* Diese Menge ist als Einzelgabe in der Regel zu hoch und sollte daher in zwei Teilgaben ausgebracht werden.



Abbildung 3 | Raps-, Kunstwiese- und Zuckerrübenverfahren in einer Lysimeteranlage von Agroscope am Standort Zürich-Reckenholz (Foto: Volker Prasuhn, Agroscope).



Abbildung 4 | Oberflächenabfluss aus einem Acker direkt in einen Strasseneinlaufschacht führt zu Einträgen von Nährstoffen und anderen landwirtschaftlichen Hilfsstoffen in Oberflächengewässer (Foto: Volker Prasuhn, Agroscope).

phierung, Fischsterben usw.). Flüssige Dünger können bei unsachgemäßem Einsatz sowie bei ungünstigen Boden- und/oder Witterungsbedingungen auch direkt nach der Ausbringung oberflächlich abfließen. Geneigte Flächen, die einen direkten Anschluss an ein Oberflächengewässer haben oder die indirekt über Einlaufschächte von entwässerten Strassen und Wegen mit einem Oberflächengewässer verbunden sind (Abbildung 4), haben ein besonders hohes Risiko für Stoffeinträge (sogenannte beitragende

Flächen; Frey *et al.* 2011). Ausreichend breite Pufferstreifen entlang von Gewässern und entwässerten Strassen und Wegen können das Eintragsrisiko reduzieren. Tabelle 4 zeigt, wie die Düngungsmassnahmen zu gestalten sind, damit diesen Gefahren wirksam vorgebeugt werden kann.

4. Folgen einer Überdüngung

Wird während längerer Zeit von einem Nährstoff mehr zuzugewandt als mit dem Pflanzenertrag weggeführt, so reichert sich der Nährstoff im Boden an oder gelangt durch Verluste in Gewässer und/oder in die Atmosphäre. Eine starke Anreicherung im Boden kann verschiedene negative Auswirkungen zur Folge haben:

- ein gestörtes Nährstoffgleichgewicht im Boden
- unerwünscht hohe Nährstoffgehalte in den Pflanzen infolge von Luxuskonsum – z. B. von NO_3^- , Kalium. Dies kann die Qualität von Lebens- oder Futtermitteln reduzieren.
- eine veränderte Artenzusammensetzung von Wiesen (Verunkrautung, Artenverarmung)
- steigende Gefahren von Nährstoffverlusten

Nährstoffverluste in die Umwelt können u. a. zu einer Beeinträchtigung von Gewässern, zur Belastung der Luft und zur Eutrophierung von naturnahen Ökosystemen und damit einhergehend zu einem Artenschwund führen.

Die negativen Auswirkungen einer Überdüngung nehmen überproportional zu, je stärker die Nährstoffzufuhr den Nährstoffbedarf der Kulturen übersteigt. Eine bedarfsgerechte Düngung, unter Einbezug der Nährstoffvorräte des Bodens, ist deshalb zentral für eine möglichst geringe Belastung der Umweltressourcen. Durch eine konsequente Berücksichtigung der Nährstoffgehalte bei der Düngungsbemessung gemäss den Angaben des Moduls 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen können überhöhte Bodennährstoffgehalte wieder in den gewünschten Bereich der Versorgungsklasse C (Beurteilung «genügend») zurückgeführt werden. Dafür sind je nach Nährstoff langjährige Zeiträume nötig.

5. Schadstoffe und Krankheitserreger in Düngern

Schadstoffe können durch die Düngung in den Boden gelangen und sich dort anreichern. Die Zulassungsvorschriften für Dünger in der Dünger- (DüV, Systematische Rechtsammlung SR 916.171) und Düngerbuchverordnung (DüBV, SR 916.171.1) sowie die Schadstoffgrenzwerte in Anhang 2.6 der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, SR 814.81) haben unter anderem das Ziel, die Belastung des Bodens und der Ernteprodukte durch Schadstoffe aus Düngern zu minimieren.

Besonders beachtet werden müssen bei den Schadstoffen in Düngern die Schwermetalle. Diese werden nicht nur über Recyclingdünger zugeführt, sondern auch durch Hof- (z. B. Kupfer und Zink in Schweinegülle) und Mineraldün-

Tabelle 4 | Faktoren, die den Oberflächenabfluss von Nährstoffen aus Düngern durch Abschwemmung und Erosion beeinflussen, und Empfehlungen zur verlustarmen Ausbringung von flüssigen Düngern.

Die Angaben in dieser Tabelle basieren auf wissenschaftlichen Grundlagen und Expertenwissen.

Kriterien	Verhältnisse	Risiko von Abschwemmung und Erosion	Belastbarkeit mit flüssigen Düngern; Massnahmen bezüglich des Ausbringens von flüssigen Düngern, u. a. maximale Einzelgaben ¹
Witterungsverhältnisse	Dauer- oder Gewitterregen bevorstehend	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen
Porenzustand des Bodens	a. unbewachsener Boden²		
	– beschränkt einsickerungsfähig (verdichtet, verkrustet, verschlämmt, wassergesättigt, hart gefroren, undurchlässige Oberfläche)	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen
	– gut einsickerungsfähig (locker, abgetrocknet, Boden mit rauer Oberfläche)	mittel bis gering	reduziert bis normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *
	b. bewachsener Boden		
	– beschränkt einsickerungsfähig (verdichtet, verkrustet, verschlämmt, wassergesättigt, hart gefroren, undurchlässige Oberfläche)	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen
	– gut einsickerungsfähig (locker, abgetrocknet, Boden mit rauer Oberfläche)	gering	normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *
	c. Schneedecke		
	– trockene, unterkühlte Schneedecke	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen
– schmelzende Schneedecke	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen	
Topographische Verhältnisse	Ackerbau Wassererosionsgefährdung gemäss der Erosionsrisikokarte im 2x2-Meter-Raster (ERK2) ³ und der Gewässeranschlusskarte (GAK2) ⁴		
	– keine Erosionsgefährdung	gering	normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *
	– Erosionsgefährdung	mittel	reduziert belastbar; bis 40 m ³ /ha
	– hohe Erosionsgefährdung	hoch	wenig belastbar; bis 25 m ³ /ha Δ
	Futterbau Hangneigung		
	≤ 18 %	gering	normal belastbar; bis 60 m ³ /ha *
	19–35 %	mittel	reduziert belastbar; bis 40 m ³ /ha
	> 50 %	sehr hoch	nicht belastbar; Ausbringen unterlassen

¹ Die angegebenen maximalen Ausbringmengen beziehen sich auf ausreichend verdünnte Gülle. Bei geringerer Verdünnung sind die auszubringenden Mengen unter Berücksichtigung der zu düngenden Nährstoffmengen zu reduzieren.

² Das Feld ist bereits bestellt, oder es wird zeitnah nach dem Ausbringen des flüssigen Düngers gesät oder gepflanzt.

³ Angaben zur Erosionsrisikokarte sind in Gisler *et al.* (2011) und auf der Geoinformationsplattform der Schweizerischen Eidgenossenschaft zu finden: <https://map.geo.admin.ch/> > Geokatalog > Natur und Umwelt > Boden > Erosionsrisiko qualitativ 2.

⁴ Angaben zur Gewässeranschlusskarte sind in Alder *et al.* (2015) und auf der Geoinformationsplattform der Schweizerischen Eidgenossenschaft zu finden: <https://map.geo.admin.ch/> > Geokatalog > Natur und Umwelt > Boden > Gewässeranschluss.

* Diese Menge ist als Einzelgabe in der Regel zu hoch und sollte daher in zwei Teilgaben ausgebracht werden.

Δ Zusätzlich zur Erosionsgefährdung gemäss ERK2 ist für die Bemessung der Düngung die aktuelle Bodenbedeckung durch die angebaute Kultur zu berücksichtigen.

ger (z.B. Cadmium in Phosphordüngern). Die Anwender von Düngern verfügen in der Regel über keine Angaben zu den Schwermetallgehalten der einzelnen zugeführten Düngerchargen. Die gesetzliche Verantwortung für die Bereitstellung von Düngern mit geringen Schwermetallgehalten liegt bei den Düngerherstellern und -importeuren sowie bei den Kompostierungs- und Vergärungsanlagen. Schadstoffgehalte von Düngern werden periodisch von den Kantonen im Auftrag des Bundesamts für Landwirtschaft BLW überprüft.

Noch wenig bekannt sind die Auswirkungen der Anreicherung von Veterinärpharmaka (insbesondere Antibiotika), organischen Schadstoffen, hormonähnlichen Stoffen und des radioaktiven Schwermetalls Uran im Boden. Diese Stoffe werden primär über Hof- und Recyclingdünger zugeführt, mit Ausnahme von Uran, das über mineralische Phosphordünger in die Böden gelangen kann.

Auch **Krankheitserreger** können durch Hof- und Recyclingdünger (Fuchs *et al.* 2014) auf Boden oder Pflanzen gelan-

gen und dort teilweise während mehrerer Monate überleben. Die Güllelagerung und die Hitzeperiode bei der Kompostierung helfen mit, Krankheitserreger auf ein meist unschädliches Mass zu reduzieren.

6. Rechtsgrundlagen

Zum Schutz der Umwelt sind bei der Zulassung und bei der Verwendung von Düngern verschiedene bundesrechtliche Grundlagen zu beachten (BAFU und BLW 2012), u. a.:

- Chemikalienverordnung (ChemV, SR 813.11)
- Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, SR 814.12)
- Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20)
- Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201)
- Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, SR 814.81)
- Umweltschutzgesetz (USG, SR 814.01)
- Landwirtschaftsgesetz (LwG, SR 910.1)
- Dünger-Verordnung (DüV, SR 916.171)
- Düngerbuch-Verordnung (DüBV, SR 916.171.1)

Die Vorgaben dieser Gesetzeswerke für die Verwendung von Düngern werden für den Vollzug durch verschiedene Module der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft konkretisiert, primär durch die Module Nährstoffe und Verwendung von Düngern (BAFU und BLW 2012) und Baulicher Umweltschutz (BAFU und BLW 2011).



Abbildung 5 | Für eine gezielte und umweltschonende Düngung müssen Dünger in bedarfsgerechter Menge und in einem Zeitraum ausgebracht werden, in dem die Pflanzen Nährstoffe effizient nutzen können (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope).

Betriebe, die gemäss dem Ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) bewirtschaftet werden, haben zusätzlich die Vorgaben der Direktzahlungsverordnung (DZV, SR 910.13) und der davon abgeleiteten Vollzugsinstrumente (z.B. Suisse-Bilanz) zu befolgen. Bei der Teilnahme an weiteren freiwilligen Programmen sind auch die Vorschriften der entsprechenden Verordnungen einzuhalten:

- Bio-Verordnung (SR 910.18)
- Verordnung des Eidgenössischen Departements für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF über die biologische Landwirtschaft (SR 910.181)

7. Zusammenfassende Empfehlungen für eine umweltschonende Düngung

Eine gezielte und umweltschonende Düngung gewährleistet eine nachhaltige Ertragsfähigkeit des Bodens, verringert vermeidbare Nährstoffverluste und somit Düngerkosten und leistet einen Beitrag zur Erhaltung unbelasteter Grund- und Oberflächengewässer sowie zur Schonung von Luft und Klima. Allerdings ist es oft schwierig, alle Bedingungen für eine umweltschonende Düngung gleichzeitig zu erfüllen. Es ist die Aufgabe aller Landwirtinnen und Landwirte, mit ihren Erfahrungen, der Hilfe der Beratung sowie der zur Verfügung stehenden Hilfsmittel die Düngung so zu organisieren, dass sie dem Bedarf der Pflanzen gerecht wird, die Bedingungen des Standortes und der Witterung berücksichtigt und zum richtigen Zeitpunkt erfolgt (Abbildung 5). Dabei ist zu beachten, dass Massnahmen, die Nährstoffverluste auf einem bestimmten Verlustpfad reduzieren, Verluste auf anderen Pfaden fördern können (*Pollution Swapping*; Stevens und Quinton 2009). So kann z.B. eine Massnahme, welche die NH_3 -Emissionen verringert, den Gehalt von mineralischem Stickstoff im Boden erhöhen und so die NO_3^- -Auswaschung und die Bildung von Lachgas (Denitrifikation) steigern. Deshalb ist es wichtig, bei Massnahmen zur Reduktion der Umweltbelastungen stets das Gesamtsystem im Auge zu behalten.

Das 4R-Prinzip nach Roberts (2007) veranschaulicht in knapper Form die wesentlichen Punkte zur Optimierung der Düngung:

- richtiger Dünger
- richtige Ausbringungsmenge
- richtiger Anwendungszeitpunkt
- richtiger Anwendungsort

Wichtigste Massnahmen, um Umweltbelastungen durch die Düngung zu minimieren:

- Tierbesatz dem Standort und dem Nährstoffbedarf der Kulturen anpassen.
- Düngungsmassnahmen sorgfältig planen (parzellenscharfe Düngungsplanung) und dabei die Fruchtfolge und zuverlässige Bodenuntersuchungsergebnisse berücksichtigen.
- Die Nährstoffe in den betriebseigenen Hofdüngern gezielt einsetzen. Dafür sind periodische Untersuchungen der Nährstoffgehalte der Hofdünger hilfreich.
- Betriebsfremde Dünger (zugeführte Hofdünger, Recyclingdünger, Mineraldünger) nur zur Deckung eines durch die Hofdünger nicht abgedeckten Bedarfs einsetzen.
- Zeitpunkt, Menge und Form der einzelnen Düngergabe möglichst genau auf die Entwicklung der Pflanzen und den Gehalt des Bodens abstimmen sowie den Standort- und Witterungsverhältnissen anpassen.
- Gaben von stickstoffhaltigen Düngern ausserhalb der Wachstumsperiode der Pflanzen unterlassen (genügend Lagerraum für Gülle und Mist schaffen).
- Flüssige Dünger nur ausbringen, wenn der Boden saugfähig ist (nicht auf wassergesättigte, stark verdichtete, verschlammte, schneebedeckte oder gefrorene Böden). Spezielle Vorsicht ist bei drainierten Böden geboten.
- Flüssige Hof- und Recyclingdünger zur Verringerung der NH_3 -Verluste mit emissionsarmer Technik ausbringen.
- Gülle und Mist bei kühler Witterung und geringen Windgeschwindigkeiten ausbringen (beim Ausbringen und möglichst während der folgenden 24 Stunden: Temperatur $< 15^\circ\text{C}$ und relative Luftfeuchtigkeit $> 70\%$). Im Ackerbau ist vor der Ausbringung, wo immer möglich, zu hacken, oder die Dünger sind möglichst rasch einzuarbeiten.
- Unbewachsene Flächen im Ackerbau vermeiden (durch Zwischenfutterbau, Gründüngung, Unter- und Einsaaten, Mulchsaat usw.).

8. Literatur

8.1 Zitierte Literatur

- Agridea & BLW, 2016. Wegleitung Suisse-Bilanz, Auflage 1.13. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern. 25 S.
- Alder S., Prasuhn V., Liniger H.P., Herweg K., Hurni H., Candinas A. & Gujer H.U., 2015. A high-resolution map of direct and indirect connectivity of erosion risk areas to surface waters in Switzerland – A risk assessment tool for planning and policy-making. *Land Use Policy* 48, 236–249.
- BAFU & BLW, 2011. Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Umwelt-Vollzug Nr. 1101. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 123 S.
- BAFU & BLW, 2012. Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Umwelt-Vollzug Nr. 1225. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 62 S.
- Frey M., Konz N., Stamm C. & Prasuhn V., 2011. Identifizierung von Flächen, die überproportional zur Gewässerbelastung beitragen. *Agrarforschung Schweiz* 2 (4), 156–161.
- Fuchs J., Baier U., Berner A., Philipp W. & Schleiss K., 2014. Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz – Schlussbericht. Publikation Nr. 290982. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- Gisler S., Liniger H.P. & Prasuhn V., 2011. Erosionsrisikokarte im 2x2-Meter-Raster (ERK2). *Agrarforschung Schweiz* 2 (4), 148–155.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 «Agriculture, Forestry and Other Land Use», Chapter 11 « N_2O Emissions from Managed Soils, and CO_2 Emissions from Lime and Urea Application». Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf. Zugang: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> [6. 10. 2016].

- Roberts T.L., 2007. Right product, right rate, right time, and right place ... the foundation of BMPs for fertilizer. *Better Crops* 91 (4), 14–15.
- Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T. L. & Fixen P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133 (3–4), 247–266.
- Spirig C. & Neftel A., 2006. Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft und Feinstaub. *Agrarforschung* 13 (9), 392–397.
- Stevens C.J. & Quinton J.N., 2009. Diffuse pollution swapping in arable agricultural systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39 (6), 478–520.
- Van Groenigen J., Velthof G.L., Oenema O., Van Groenigen K.J. & Van Kessel C., 2010. Towards an agronomic assessment of N_2O emissions: a case study for arable crops. *European Journal of Soil Science* 61 (6), 903–913.

8.2 Weiterführende Literatur

- BDU, 2004. Hofdünger – gezielt eingesetzt. Beratergruppe «Boden Düngung Umwelt» BDU, Lindau. 4 S.
- BDU-Arbeitsgruppe «Ammoniak», 2005. Ammoniakverluste bei der Hofdüngerausbringung reduzieren. *UFA-Revue* 12, 33–34.
- BDU-Arbeitsgruppe «Ammoniak», 2011. Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft – Wissenswertes in Kürze. 2. aktualisierte Auflage. Beratergruppe «Boden Düngung Umwelt» BDU, Lindau. 2 S.
- BLW & BUWAL, 2004. Merkblatt «Düngen zur richtigen Zeit». 2. unveränderte Auflage. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL, Zürich. 4 S.
- UNECE, 2014. Leitfaden zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniakemissionen aus landwirtschaftlichen Quellen. Deutschsprachige Version des Dokuments ECE/EB.AIR/120ECE/EB.AIR/120, erstellt im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern. 98 S.

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Umweltgefährdungspotenzial beim Einsatz verschiedener Düngerarten und Aufwand zur Reduktion der Belastung von Boden, Wasser und Luft.	7/4
Tabelle 2 Faktoren, welche die Ammoniakverflüchtigung beeinflussen, und Massnahmen zur Reduktion der Emissionen.	7/5
Tabelle 3 Faktoren, welche die Versickerung von Nährstoffen aus Düngern durch Auswaschung und Drainageverluste beeinflussen, und Empfehlungen zur verlustarmen Ausbringung von flüssigen Düngern.	7/7
Tabelle 4 Faktoren, die den Oberflächenabfluss von Nährstoffen aus Düngern durch Abschwemmung und Erosion beeinflussen, sowie Empfehlungen zur verlustarmen Ausbringung von flüssigen Düngern.	7/9

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Mit Hilfe von Schleppschlauchverteilern mit bodennaher, streifenförmiger Ablage von flüssigen Düngern können Ammoniakverluste im Vergleich zu breitflächiger Ausbringung mit Pralltellern verringert werden.	7/5
Abbildung 2 Messung der Lachgasemission in einem Weideversuch mittels der Eddy-Kovarianz-Methode.	7/6
Abbildung 3 Raps-, Kunstwiese- und Zuckerrübenverfahren in einer Lysimeteranlage von Agroscope am Standort Zürich-Reckenholz.	7/8
Abbildung 4 Oberflächenabfluss aus einem Acker direkt in einen Strasseneinlaufschacht führt zu Einträgen von Nährstoffen und anderen landwirtschaftlichen Hilfsstoffen in Oberflächengewässer.	7/8
Abbildung 5 Für eine gezielte und umweltschonende Düngung müssen Dünger in bedarfsgerechter Menge und in einem Zeitraum ausgebracht werden, in dem die Pflanzen Nährstoffe effizient nutzen können.	7/10



8/ Düngung von Ackerkulturen

Sokrat Sinaj¹, Raphaël Charles¹, Alice Baux¹, Brice Dupuis¹,
Jürg Hiltbrunner², Lilia Levy¹, Didier Pellet¹, Guillaume Blanchet¹ und
Bernard Jeangros¹

¹ Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

² Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung	8/3
2. Allgemeine Eigenschaften und Nährstoffbedarf	8/3
2.1 Getreide	8/3
2.2 Kartoffeln	8/5
2.3 Ölpflanzen (Raps und Sonnenblumen)	8/7
2.4 Eiweisspflanzen	8/9
2.5 Mais	8/10
2.6 Zuckerrübe	8/12
2.7 Anbausysteme und Zwischenkulturen	8/13
3. Düngungsnormen	8/16
3.1 Stickstoffdüngung	8/16
3.2 Phosphor-, Kalium- und Magnesiumdüngung	8/28
3.3 Schwefel	8/29
3.4 Bor, Mangan und andere Spurenelemente	8/30
4. Ernterückstände	8/32
5. Düngung in der Praxis	8/32
5.1 Düngungsplan	8/32
5.2 Wahl der Dünger	8/32
5.3 Zeitpunkt und Aufteilung der Düngergaben	8/34
5.4 Ausbringungstechnik	8/37
5.5 Möglichkeiten zur Optimierung oder Reduktion der Stickstoffdüngung	8/37
5.6 Möglichkeiten zur Vereinfachung der Düngung mit P, K und Mg	8/37
6. Literatur	8/38
7. Tabellenverzeichnis	8/41
8. Abbildungsverzeichnis	8/42
9. Anhang	8/43

Vorderseite: Einfluss der Stickstoffdüngung auf das Wachstum von Weizen in einem Langzeitversuch in Changins (Foto: Carole Parodi, Agroscope).

1. Einleitung

Für eine ausgewogene Düngung der Ackerkulturen müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden: der Nährstoffbedarf der Pflanzen, die Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden, die Rückführung von Nährstoffen durch Ernterückstände, die Mengen und chemischen Formen der durch Mineraldünger und Hofdünger eingetragenen Nährstoffe, das Verhalten der Nährstoffe im System Boden – Pflanze – Umwelt (Luft, Wasser) sowie die Wirtschaftlichkeit der Kultur.

Die verschiedenen Methoden und Ansätze der Düngung von Ackerkulturen verfolgen das Ziel, diese Kulturen mit ausreichenden Mengen an Nährstoffen zu versorgen, damit die Verfügbarkeit der Nährstoffe nicht zum limitierenden Faktor für die Entwicklung der Kultur wird. Die Düngung ist dabei nur einer von zahlreichen Faktoren, die zum Erfolg einer Kultur beitragen: Die Sortenwahl, die klimatischen Bedingungen (Niederschläge, Temperatur), Befallsdruck durch Krankheiten und Schädlinge usw. spielen ebenfalls eine Rolle.

Das vorliegende Modul stellt der Landwirtschaft aktuelles Wissen zu folgenden Punkten zur Verfügung: (i) Besonderheiten der einzelnen Ackerkulturen im Hinblick auf die Düngung (Physiologie der Nährstoffaufnahme, Anforderungen an die Fruchtbarkeit des Bodens und an die Umwelt, Anforderungen an die Qualität der Ernte usw.), (ii) Nährstoffbedarf der verschiedenen Kulturen, (iii) Methoden zum Abschätzen einer geeigneten Düngung und zur Bestimmung der Düngungsnormen für die einzelnen Kulturen oder Gruppen von Kulturen sowie (iv) die Düngung in der Praxis.

Diese Informationen konnten im Vergleich zur Vorgängerversion «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF)» (Flich et al. 2009) aufgrund der in den letzten sieben Jahren von Agroscope durchgeführten Arbeiten aktualisiert werden.



Phacelia (Foto: Agroscope).

2. Allgemeine Eigenschaften und Nährstoffbedarf



Weizen (Foto: Agroscope).

2.1 Getreide

2.1.1 Allgemeine Eigenschaften

2015 wurden in der Schweiz 128 135 ha Getreide angebaut, davon 75 248 ha Brotweizen, 8 182 ha Futterweizen, 28 182 ha Gerste, 8 447 ha Triticale, 1 974 ha Roggen, 1 633 ha Hafer sowie 4 146 ha Dinkel und weitere Brotgetreide (swiss granum 2015).

Wintergetreide wird zwischen Ende September (beispielsweise Gerste) und Ende Oktober (Weizen oder Triticale) ausgesät. Getreide kann auch später gesät werden, dann nimmt aber die Bestockung und damit das Kornertragspotenzial ab. Die Ernte erfolgt je nach Getreideart und Umweltbedingungen zwischen Ende Juni und Mitte August.

Weizen und Dinkel entwickeln sich gut auf mittelschweren bis schweren Böden mit neutralem pH, während Triticale auch in Randgebieten angebaut werden kann (Vulliod 2005). Roggen kommt mit leichten, kargen Böden mit saurem pH zurecht, Gerste gedeiht nicht gut auf sauren Böden und zieht gut durchlüftete Böden vor. Hafer verfügt über ein leistungsfähiges Wurzelsystem und toleriert saure Böden mit schlechter Struktur solange genügend Wasser vorhanden ist.

Schwierigkeiten bei der Bodenbearbeitung und Saat können eine ungenügende Wurzelentwicklung zur Folge haben, durch die das Wachstum aufgrund einer mangelhaften Aufnahme von Wasser oder Nährstoffen begrenzt wird. Eine Bodenverdichtung oder unzureichende Behandlung von Wurzelkrankheiten wie Schwarzbeinigkeit können ebenfalls zu einer schlechten Wurzelentwicklung führen. Aber auch in diesen Fällen ist der Ertrag von weiteren Faktoren wie den Niederschlägen abhängig (Lucas et al. 2000).

2.1.2 Nährstoffbedarf

Getreide hat einen ziemlich hohen Bedarf an Stickstoff (N), aber keine hohen Ansprüche an die Versorgung mit Phosphor (P) und Kalium (K). Der Schwefel(S)-Bedarf ist zwar nicht hoch, in Risikosituationen (auf leichten Böden mit geringem Wasserrückhaltevermögen oder bei bedeutenden Niederschlägen im Winter) wird eine Düngung in Form von Sulfat empfohlen (UNIFA 2015). Diese Düngung kann mit einer N-Gabe verbunden werden.

In Abbildung 1 ist die Aufnahme der Nährstoffe (N, P, K, S) während des Wachstums des Weizens dargestellt. Die Dynamik der Aufnahme ist je nach Nährstoff unterschiedlich: Die Aufnahme von Kalium, das in

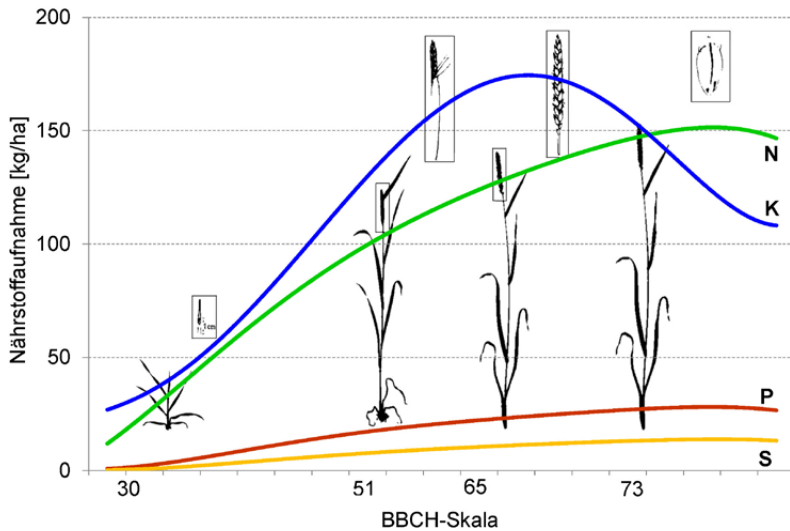


Abbildung 1 | Aufnahme von Nährstoffen (N, P, K und S) durch die Weizenkultur (ganze Pflanze) auf der Grundlage eines Ertrags von 60 dt/ha (SCPA 1995) und in Abhängigkeit des physiologischen Entwicklungsstadiums der Pflanze (BBCH-Skala nach Hack 1993).

grossen Mengen in den Blättern vorkommt, nimmt früh zu und verlangsamt sich dann während der Kornfüllung und Kornreife. N, P und S werden dagegen über das gesamte Wachstum regelmässig aufgenommen. P und N werden während der Kornfüllung in die Körner transportiert, wohingegen K weitgehend in den Blättern verbleibt (Schvartz *et al.* 2005). Bei Gerste variiert der Nährstoffgehalt in den Körnern und im Stroh stark, je nach Umweltbedingungen und je nach Sortentyp (zwei- oder sechszeilig; Charles *et al.* 2012). Die K-Konzentration ist im Stroh drei Mal höher als in den Körnern.

2.1.3 Stickstoffdüngung und Kornertrag

Der Kornertrag von Getreide wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die N-Düngung spielt dabei eine wichtige Rolle (Levy und Brabant 2016; Charles *et al.* 2012; Levy und Schwaerzel 2009; Levy *et al.* 2007; Levy *et al.* 2009). Vielfach erhöht die N-Düngung den Kornertrag. Wenn die optimale Düngungsmenge allerdings überschritten wird, nimmt der Einfluss der N-Düngung auf den Kornertrag ab (Levy und Brabant 2016; Levy und Schwaerzel 2009).

2.1.4 Düngung und Erntequalität

Getreide wird in unterschiedlichen Bereichen verwendet. Der grösste Teil der Produktion wird für die Brotherstellung (Weizen, Roggen, Dinkel) und für Futter (Triticale, Gerste, Futterweizen, Hafer) eingesetzt. Ein geringer Teil fliesst in die Herstellung anderer Produkte wie Biskuits, Flocken, Suppen usw. In der Schweiz werden die Sorten nach ihrer Eignung für die Brotherstellung in Klassen eingeteilt und für verschiedene Anwendungsgebiete empfohlen. Für Weizen der Klasse Top (qualitativ hochstehende Sorten für die Brotherstellung) wurde kürzlich von der Branche ein System zur Bezahlung der Ernte nach ihrem Proteingehalt eingerichtet (Sonderegger und Scheuner 2014). Die Qualitätsanforderungen für die Weiterverarbeitung hängen vom Verwendungszweck ab.

2.1.4.1 Einfluss der N-Düngung auf die Qualität von Brotweizen

Ein Drittel der Variabilität des Eiweissgehalts von Weizen ist auf die Sortenwahl zurückzuführen (Levy und Brabant 2016). Die N-Düngung übt einen ähnlich grossen Einfluss auf den Proteingehalt aus. Der Unterschied zwischen Situationen mit N-Mangel (0 kg N/ha) und Situationen mit einer N-Gabe nahe der Düngungsnorm (140 kg N/ha) ist beim Proteingehalt ausgeprägter als beim Ertrag (Levy und Brabant 2016).

Tabelle 1 | Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Eigenschaften von Weizen, welche die Qualität beeinflussen.

Eigenschaft	Wirkung der Stickstoffdüngung	Wirkung der Eigenschaft auf die Qualität		
		Brotweizen	Biskuitweizen	Futterweizen
Hektolitergewicht	o/+	o/+	o/+	o/+
Tausendkorngewicht	o	o	o	o
Proteingehalt	+	+	-	+
Zelenywert ¹	+	+	-	o
Kornhärte	+	+	-	o
Wasseraufnahme des Mehls	o/+	o/+	o/-	o
Stabilität des Teiges	+	+	-	o
Konsistenzverlust des Teiges	+	+	-	o
Zähigkeit des Teigs	+	+	-	o
Zähigkeit/Dehnbarkeit des Teigs	+	+	+	o
Maximale Verkleisterung	+	o/+	o	o

o kein Einfluss; + positiver Einfluss; - negativer Einfluss.

¹ Zelenywert: Masseinheit für die Eiweissqualität, d. h. die Quellfähigkeit des Eiweisses.

Selbst wenn die N-Düngung den Proteingehalt erhöht, bedeutet ein höherer Gehalt nicht zwingend eine bessere Backqualität (Brabant und Levy 2016). Eine höhere N-Düngung geht mit einer Veränderung der Proteinzusammensetzung einher: Der Feuchtglutengehalt wird erhöht, während der Glutenindex (Indikator für die Gluten-Qualität) sinkt (Brabant und Levy 2016). Der Zelenywert wiederum steigt mit einer Aufteilung der Düngung in drei Gaben, reagiert aber nicht mehr auf eine Intensivierung. Das Hektolitergewicht wird in erster Linie durch die Sorte bestimmt, eine höhere N-Düngung kann dieses Kriterium jedoch positiv beeinflussen (Levy *et al.* 2007; Levy und Brabant 2016).

2.1.4.2 Einfluss der N-Düngung auf die Qualität von Biskuitweizen

Die Anforderungen, die von der Biskuitbranche an die Mehlqualität gestellt werden, sind sehr unterschiedlich und oft gerade gegensätzlich zu den Anforderungen für die Brotherstellung. Die Biskuitbranche verlangt Weizen mit geringem Proteingehalt und geringer Wasseraufnahmefähigkeit sowie einer hohen Dehnbarkeit und einem schwachen Dehnwiderstand des Teigs. Diese Parameter werden nicht nur durch die Sorte, sondern auch durch die N-Düngung beeinflusst (Tabelle 1).

2.1.4.3 Einfluss der N-Düngung auf die Qualität von Futtergetreiden

Verschiedene Getreidearten werden zur Verwendung als Futtermittel angebaut, namentlich Gerste und Triticale. Seit der Liberalisierung des Getreidemarktes 2001 wurde deklassierter Brotweizen durch Futterweizensorten mit hohen Erträgen aber tiefem Proteingehalt ersetzt. Gegenwärtig erfolgt die Einschätzung der Qualität von Futtergetreiden hauptsächlich aufgrund des Hektolitergewichts, ein leicht messbares, aber wenig zuverlässiges Kriterium (Tabelle 1). Das Hektolitergewicht wird nur geringfügig durch die N-Düngung beeinflusst (Charles *et al.* 2012). Weitere Kriterien, die für spezifische Anwendungen relevant sind, spielen ebenfalls eine wichtige Rolle (Gehalt an Proteinen, Lysin, Fettsäuren usw.). Der bei Wintergerstensorten konsequent angegebene Pufa-Mufa-Index (PMI) (Courvoisier *et al.* 2015) ist bei Gerste höher als bei Weizen, aber unabhängig von der N-Ernährung der Pflanze. Ebenso wird auch die Viskosität bei Futtergetreide nicht durch die N-Düngung beeinflusst. Die Viskosität ist für die Fütterung von monogastrischen Tieren wichtig, da sie einen negativen Einfluss unter anderem auf die Nährstoffaufnahme hat (Levy *et al.* 2013).

2.1.5 Düngung und Krankheiten

Mehrere Studien (Neumann *et al.* 2004; Olesen *et al.* 2003; Jordan *et al.* 1989; Smiley und Cook 1973) zeigen, dass nicht nur die Düngermenge, sondern auch der Zeitpunkt und die chemische Form des angewendeten Düngers einen Einfluss auf die Entwicklung von Getreidekrankheiten haben. Bedingungen mit N-Überfluss begünstigen die Entwicklung von Echtem Mehltau (*Blumeria graminis*) und Braunrost (*Puccinia triticina*) und die Massenvermehrung von Läusen auf den Ähren (Charles *et al.* 2011; Mascagni *et al.* 1997; Gash 2012). Andere Krankheiten wie die Ährenfu-

sariose werden weder durch die chemische Form noch durch die Menge des N-Düngers beeinflusst (Krnjaja *et al.* 2015; Lemmens *et al.* 2004). Es ist aber mit Sicherheit keine gute Lösung, die Verfügbarkeit von N oder anderen Nährstoffen zu begrenzen oder die Kultur anderem Stress auszusetzen. Bestimmte Studien (Buschbell und Hoffmann 1992; Olesen *et al.* 2000) zeigen, dass geschwächte Kulturen leichter von Krankheitserregern oder Schädlingen befallen werden.



Kartoffeln (Foto: Agroscope).

2.2 Kartoffeln

2.2.1 Allgemeine Eigenschaften

Kartoffeln werden in der Schweiz auf einer Fläche von 11330 ha angebaut (Swisspatat 2015), davon werden 1500 ha für die Vermehrung eingesetzt. Sorten für den Verzehr machen 60 % der Produktion aus, 40 % fließen in die industrielle Verarbeitung.

Kartoffeln werden normalerweise zwischen Ende März und Anfang Mai gesetzt. Nach dem Setzen braucht es je nach Vorkeimstadium und der Umgebungstemperatur zwei bis drei Wochen, bis die Kartoffelpflanze aus dem Boden austritt. Anschliessend dauert es mehrere Wochen, bis die Pflanzen den Boden vollständig bedecken. Das Wurzelsystem ist sehr oberflächlich und konzentriert sich auf die obersten 30 cm des Bodens. Je nach Sorte bestehen beträchtliche Unterschiede bei der Wurzelmasse, was erklärt, weshalb bestimmte Sorten Nährstoffe besser aufnehmen können (Iwama 2008; Sinaj *et al.* 2014). Diese sortenbedingten Unterschiede sind – unabhängig von Standort, Bodenart, Düngung oder Anbaudichte – ziemlich stabil. Unter günstigen Wachstumsbedingungen, d. h. ohne Wasser- oder Nährstoffmangel, sind die Unterschiede bei der Wurzelmasse vor allem mit der Fröhreife der Sorten verbunden. Spätreife Sorten haben Wurzeln mit grösserem Längenwachstum, die eine höhere Masse erreichen und

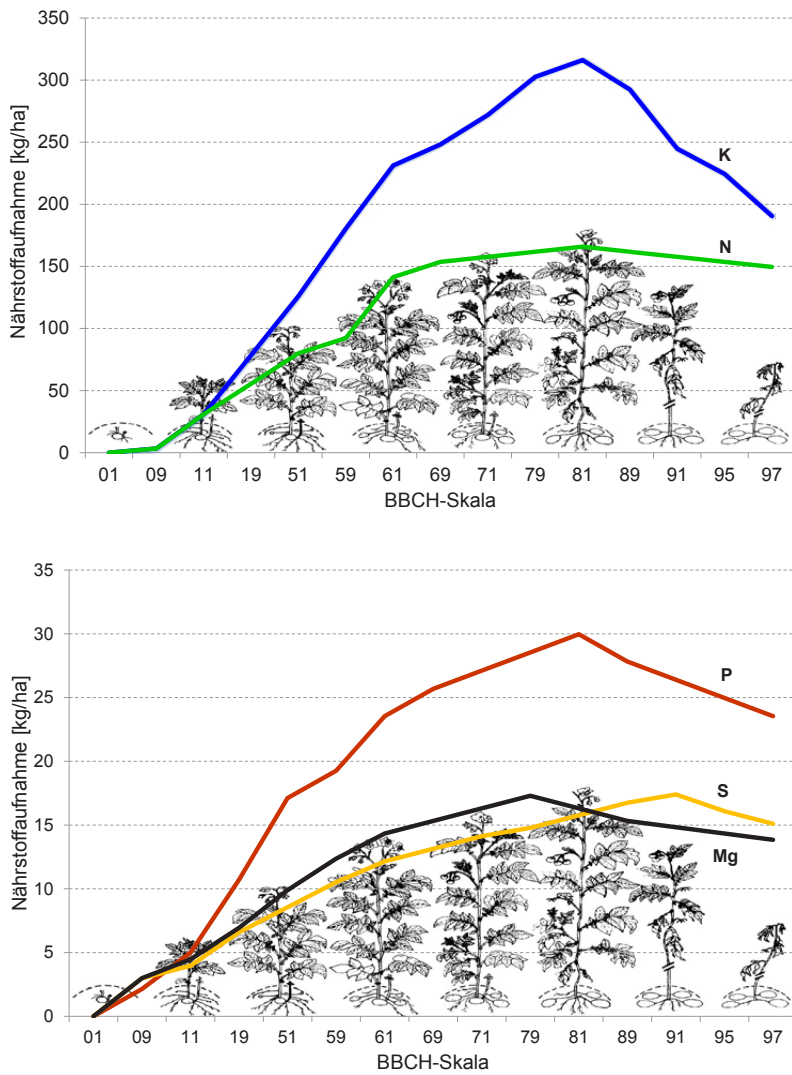


Abbildung 2 | Aufnahme von Nährstoffen (N, P, K, S, Mg) durch die Kartoffelpflanze (Sorte José, Ertrag 45 t/ha; SCPA 1995) in Abhängigkeit des physiologischen Entwicklungsstadiums der Pflanze (BBCH-Skala nach Hack 1993).

tiefer in den Boden eindringen, manchmal bis in eine Tiefe von einem Meter (Iwama 2008). Die Temperatur spielt ebenfalls eine wichtige Rolle für die Entwicklung des Wurzelsystems, wobei rund 20 °C optimal sind (Sattelmacher et al. 1990).

2.2.2 Nährstoffbedarf

Die Kartoffelpflanze braucht viel N, aber auch viel P und K (Abbildung 2). Man schätzt, dass pro Tonne geernteter Knollen Nährstoffe im Umfang von 0,45–0,90 kg P und 3,5–5,0 kg K exportiert werden. Die Pflanze reagiert auch empfindlich auf einen Mangel an Mangan (Mn) und Bor (B).

Im Allgemeinen begünstigen hohe N-Gaben eine starke Entwicklung des Blattwerks und verlängern die Vegetationsperiode, während eine moderate N-Düngung die Alterung der Pflanze beschleunigt und den Trockensubstanzgehalt der Knollen (hauptsächlich Stärke) erhöht (Westermann und Kleinkopf 1985; Cao und Tibbitts 1998).

P ist ein essenzielles Element für Kartoffeln. Ein Verzicht auf eine P-Düngung ist gerechtfertigt, wenn die Bodenanalyse zeigt, dass ausreichende P-Reserven vorliegen. Es ist jedoch Vorsicht angebracht, weil ein P-Mangel zu Ertragsausfällen von bis zu 10 % führen kann (Ryckmans 2009). Der maximale Ertrag wird erreicht, wenn für die Pflanze zu Beginn ihres Vegetationszyklus und während des gesamten Wachstums der Knollen genügend P verfügbar ist. Die P-Aufnahme steigt während der Anfangsphase der Knollenbildung schnell, bleibt dann während des Wachstums der Knollen stabil und kommt schliesslich zum Erliegen, wenn die Alterung der Pflanzen einsetzt (Abbildung 2; Ryckmans 2009; Tindall et al. 1993).

Die Kartoffel gehört zu den Kulturen mit den höchsten Ansprüchen an die K-Versorgung. Ein Verzicht auf die K-Düngung wird nicht empfohlen, da es zu Ernteverlusten von bis zu 40 % führen kann, wenn der Boden nicht gut mit K versorgt ist (Allison et al. 2001b). Der Trockensubstanzgehalt (hauptsächlich Stärke) der Knollen nimmt ab, wenn reichlich mit K gedüngt wird, wobei die Wirkung ausgeprägter ist, wenn K als Kaliumchlorid und nicht in Form von Kaliumsulfat vorliegt (Allison et al. 2001b). Das Maximum der K-Aufnahme liegt im Zeitraum des Knollenwachstums, am Ende der Blüte der Pflanze (Kolbe und Stephan-Beckmann 1997; SCPA 1995; Abbildung 2). Sorten mit ausgeprägter Wurzelentwicklung nehmen mehr K auf (Karam et al. 2009; Trehan und Sharma 2002).

Tabelle 2 | Einfluss der Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdüngung auf die Qualität von Kartoffelknollen.

Eigenschaft	N	P	K
Marktfähigkeit der Knollen (Kaliber)	+	o	+
Schlagempfindlichkeit und Blaufleckigkeit	-	+	+
Stärkegehalt	-	+	o/+
Trockensubstanzgehalt	-	o	o/+
Schwarzfleckigkeit	-	o	+
Braunverfärbung beim Frittieren (Stärkegehalt)	-	o	o/+
Schwarzverfärbung nach dem Kochen	o/-	o/+	o/+
Gewichtsverlust bei der Lagerung	o	o	o

o kein Einfluss; + positiver Einfluss; - negativer Einfluss.

Magnesium (Mg) wird im Zusammenhang mit der Photosynthese und dem N- und P-Metabolismus benötigt und ist für die Pflanzen überlebenswichtig (Colomb 1992). Über den gesamten Vegetationszyklus wird der grösste Teil des von der Pflanze benötigten Mg aus dem Boden aufgenommen. Bei Böden mit Mg-Unterversorgung ist der relative Zuwachs des Ertrags bei einer Mg-Düngung mässig und selten grösser als 15 % (Allison *et al.* 2001a; Colomb 1992). In mehreren Studien wurde festgestellt, dass eine Intensivierung der K-Düngung mit einem Rückgang der Mg-Konzentration in Blattstielen und Knollen verbunden war (induzierter Mangel). Es gibt jedoch keine wissenschaftlichen Beweise dafür, dass diese Konkurrenz zwischen K und Mg einen Einfluss auf den Ertrag hat.

Der Bedarf an S ist gering (Abbildung 2) und die Wachstumsphase der Pflanze fällt mit der Phase der intensivsten Mineralisierung von organischem S im Boden zusammen, wodurch der Boden den grössten Teil des S-Bedarfs der Pflanzen zu decken vermag (Cohan 2014; Fritsch 2003).

2.2.3 Düngung und Erntequalität

Die N-Düngung gehört zu den Faktoren, welche die Qualität der Kartoffelernte entscheidend beeinflussen (Tabelle 2; Reust *et al.* 2006). Sie muss auf die Bodenart, auf die organische Düngung, die klimatischen Bedingungen und die vorgesehene Verwendung der Kartoffeln abgestimmt werden. Weil die Aufteilung der N-Düngung (Tabelle 26) die Qualität der Knollen beeinflusst, ist es ratsam, den Zeitpunkt für die letzte N-Gabe vor die Knollenbildung zu legen. Eine übermässige N-Düngung verlängert die Vegetationsperiode, wobei die Alterung der Pflanzen und die Reifung der Knollen verzögert werden. Die Knollenschale bleibt dadurch verletzlich, was die Knollen gegenüber mechanischen Schäden bei der Ernte anfällig macht und die Lagerungsfähigkeit beeinträchtigt (beschleunigtes Welken).

Auch die P- und K-Düngung beeinflussen die Knollenqualität (Tabelle 2). Eine lokale P-Gabe bei der Pflanzung beschleunigt die Entwicklung der Kartoffel.

2.2.4 Düngung und Krankheiten

Ein N-Überschuss begünstigt die Entwicklung der Kraut- und Knollenfäule, wenn der Druck des Erregers gross ist. Das hohe N-Angebot sorgt für üppiges Wachstum der Blätter, die viel Feuchtigkeit enthalten, was die Entwicklung des Falschen Mehltaus begünstigt. Ausserdem erreichen Fungizide die tieferen Blattschichten schlechter, die damit nicht vor Infektionen geschützt sind (Agu 2006; Kolbe und Stephan-Beckmann 1997).

In sehr kalkreichen Böden besteht ein beträchtliches Risiko für die Entwicklung von Gewöhnlichem Schorf. Dieses Risiko lässt sich durch den Einsatz von Düngern wie Ammoniumsulfat und/oder Kaliumsulfat reduzieren, die eine ansäuernde Wirkung aufweisen (Colin und Goffart 1998; Pavlista 2005).

Vom Einsatz strohreicher organischer Dünger wird bei Kartoffelkulturen wegen des Risikos der Entwicklung von *Rhizoctonia* und Gewöhnlichem Schorf abgeraten.



Raps (Foto: Agroscope).

2.3 Ölpflanzen (Raps und Sonnenblumen)

2.3.1 Allgemeine Eigenschaften

Winterraps ist mit einer Anbaufläche von rund 23 000 ha die wichtigste Ölpflanzenkultur in der Schweiz. Die seit Mitte der 1990er-Jahre in der Schweiz angebaute Sonnenblume bedeckt heute dank der Züchtung leistungsfähiger frühreifer Hybridsorten eine Fläche von rund 3500 ha. Diese beiden Kulturen sind sehr unterschiedlich, was ihre Rolle in der Fruchtfolge und ihren Nährstoffbedarf betrifft.

Der zwischen Ende August und Anfang September ausgesäte Raps kann im Herbst grosse N-Mengen aufnehmen. Er verwertet dabei nicht nur aus organischen Einträgen stammenden N, sondern tritt in diesem Zeitraum auch als Senke für Nitrat auf. Raps nimmt N bis zur Blüte auf, danach werden die in Blättern und Stängeln enthaltenen Reserven für die Proteinbildung in den Körner mobilisiert. Diese einjährige Kultur bedeckt den Boden über einen sehr langen Zeitraum (zehn bis elf Monate), da die Ernte im Allgemeinen im Juli erfolgt. Raps besitzt eine Pfahlwurzel, deren Entwicklung durch verdichtete Bereiche und eine Pflugsohle gestört wird.

Die Sonnenblume ist eine Sommerkultur mit schneller vegetativer Entwicklung, die ziemlich tolerant gegenüber Trockenstress ist und traditionell in warmen Regionen angebaut wird. Sie reagiert weniger empfindlich auf tiefe Temperaturen als Mais und kann ab April und damit etwas früher ausgesät werden. Während den ersten Tagen nach dem Auflaufen hat die Entwicklung des Wurzelsystems gegenüber den oberirdischen Pflanzenteilen Vorrang. Der Lebenszyklus dauert rund 130 bis 150 Tage. Die Sonnen-

blume entwickelt eine Pfahlwurzel, die sehr empfindlich gegenüber strukturellen Störungen in der gepflügten Bodenschicht reagiert, und ein ausgedehntes System sekundärer Wurzeln. Wenn die Wurzel nicht auf Hindernisse trifft, kann sie den Boden bis in eine Tiefe von 2 m nutzen, was ihr eine gewisse Unabhängigkeit von der Nährstoffversorgung und eine gute Toleranz gegenüber Trockenstress verleiht.

2.3.2 Nährstoffbedarf

Der N-Bedarf von Raps ist hoch (Abbildung 3). Rapskulturen können im Herbst bedeutende N-Mengen aufnehmen. Ein Teil dieses N bleibt aufgrund des Abfallens von Blättern im Winter nicht in der Pflanze, kann aber teilweise im Frühling wieder aufgenommen werden. Durch die Düngung im Frühling soll der im Herbst dem Boden entnommene N ergänzt werden. Entsprechend kann der N-Bedarf je nach der Menge, die von der Pflanze Ende Winter bereits aufgenommen wurde, stark variieren. «Terres Inovia» (Frankreich) hat ein System zur Berechnung der erforderlichen N-Düngung entwickelt, das den Zustand des Pflanzenbestands berücksichtigt und somit eine Reduktion der N-Gaben bei hoch gewachsenem Raps ohne Ertragseinbußen ermöglicht (Lagarde und Champolivier 2006). Es werden zwei N-Gaben ab Vegetationsbeginn empfohlen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen wird von einer Düngung im Herbst entschieden abgeraten, da ein zu schnelles Wachstum vor dem Winter nicht erwünscht ist und zum Schossen führen kann. Eine Ausnahme bildet zum Beispiel die N-Düngung nach dem Einarbeiten von Stroh einer Getreidekultur.

Raps gehört zu den Kulturen mit hohen Ansprüchen an die P-Versorgung über den gesamten Vegetationszyklus (Abbildung 3), kann aber

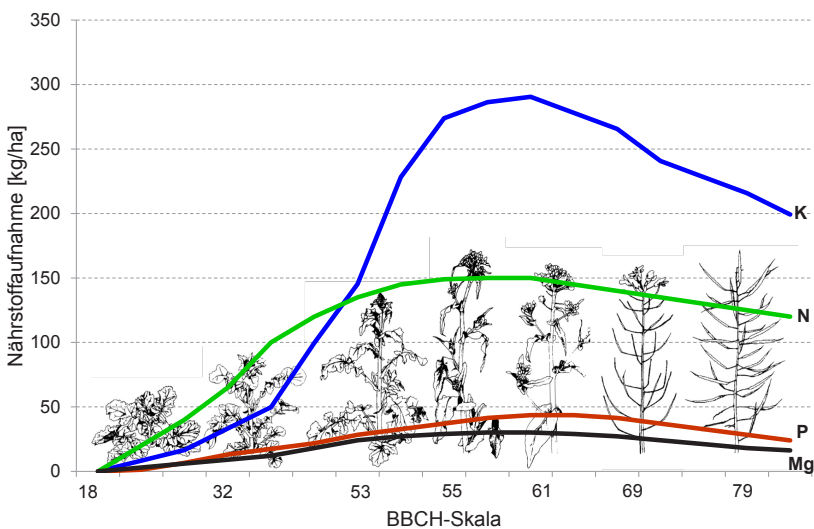


Abbildung 3 | Aufnahme von Nährstoffen (N, P, K, Mg) durch die Rapskultur in Abhängigkeit des physiologischen Entwicklungsstadiums der Pflanze (BBCH-Skala nach Hack 1993).

die Reserven des Bodens nur schwer mobilisieren. Aus diesem Grund kann es zu einem P-Mangel kommen, wenn auf die Düngung verzichtet wird.

K ist für Raps ein essenzielles Element (Abbildung 3). Die Kultur nimmt bedeutende Mengen auf, die mehrheitlich in den Stängeln und Blättern in löslicher Form gelagert werden und bei der Zersetzung der Ernterückstände für die nachfolgende Kultur freigesetzt werden.

Im Frühling weist Raps einen hohen S-Bedarf auf. Wenn dieser Bedarf nicht durch die Mineralisierung von organischem S des Bodens gedeckt werden kann (je nach Bodenart und klimatischen Bedingungen), ist eine S-Düngung am Winterende in Form von Sulfaten unerlässlich, um einen Mangel zu vermeiden, der beträchtliche Ertragseinbußen zur Folge haben kann. Wenn regelmässig organische Substanz zugeführt wird, ist jedoch das Risiko eines Mangels geringer und eine S-Düngung kann überflüssig sein.

Der N-Bedarf von Sonnenblumenkulturen ist mässig und kann aufgrund der gut ausgebildeten Wurzeln zu einem grossen Teil durch die N-Aufnahme in tiefen Bodenschichten gedeckt werden. Der Bedarf wird auf rund 45 kg N pro Tonne geschätzt. Die N-Düngung erfolgt bei der Saat. Eine übermässige Düngung der Sonnenblume ist nicht erwünscht, da sie die Entwicklung von Krankheiten begünstigt, die Reifung verzögert und zu einer Verminderung des Ölgehalts führen kann. Es ist manchmal möglich, auf eine N-Düngung ganz zu verzichten (siehe Kapitel 3.1.3).

Die Sonnenblume hat einen mässigen K-Bedarf und geringe Anforderungen an die P-Versorgung. Ein Mangel kann jedoch das Wachstum verlangsamen und den Ertrag beeinträchtigen. Zu einer Unterversorgung kann es kommen, wenn der Boden arm an diesen Nährstoffen oder das Wurzelwerk ungenügend ausgebildet ist.

2.3.3 Düngung und Erntequalität

Der Ölgehalt und der Gehalt an Glukosinolat beim Raps sind zwei wichtige Qualitätsmerkmale, die durch die Düngung beeinflusst werden können. Nebst der Düngung wird der Ölgehalt von anderen Faktoren wie der Sorte oder den Umweltbedingungen bestimmt. Der Ölgehalt wird bei der Festlegung des Produktpreises in der Schweiz gegenwärtig nicht berücksichtigt.

Tabelle 3 | Einfluss der Stickstoff- und Schwefeldüngung auf den Ölgehalt und den Glukosinolatgehalt bei Raps.

Düngung	Ölgehalt	Glukosinolatgehalt
N-Düngung	–	o
S-Düngung (Risiko für Mangel mittel/hoch)	+	+
S-Düngung (Risiko für Mangel gering)	o	+

o kein Einfluss; + Zunahme; – Abnahme.

2.3.3.1 Einfluss der N- und S-Düngung auf den Ölgehalt

Mit steigender N-Düngung nimmt der Rapsertag bis zum optimalen N-Angebot zu, während der Ölgehalt mit zunehmender N-Düngung abnimmt (Tabelle 3). Der Ölertrag nimmt also nur bis zu einer optimalen N-Düngung zu, die unter der optimalen Düngermenge für den Kornertrag liegt. Der Ölgehalt nimmt um 0,3 bis 1,2 Prozentpunkte pro 40 kg N/ha über dem optimalen N-Angebot ab (Champolivier und Reau 2005). Bei der Sonnenblume lässt sich ein ähnliches Verhalten beobachten.

Die S-Düngung von Raps kann bei mässigem S-Mangel einen positiven Einfluss auf den Ölgehalt in den Rapskörnern haben. Bei geringem Risiko einer Unterversorgung (keine Empfehlung einer S-Düngung) hat eine S-Gabe keine Auswirkung auf den Ölgehalt (Pellet *et al.* 2003a).

2.3.3.2 Einfluss der S-Düngung auf den Glukosinolatgehalt

Glukosinolate sind S-Verbindungen, welche die Qualität des Rapspresskuchens für die Fütterung von Monogastriern (Schweine und Geflügel) vermindern. Als Höchstwert in den Samen gilt in der Schweiz ein Glukosinolatgehalt von 20 $\mu\text{mol/g}$. Beim Glukosinolatgehalt sind grosse Sortenunterschiede bekannt, doch er wird auch durch die Verfügbarkeit des S im Boden bestimmt. Bei einer Reihe von Versuchen auf Böden mit kleinem und mittlerem Risiko von S-Mangel konnte eine starke Zunahme des Glukosinolatgehalts in Abhängigkeit der S-Düngung festgestellt werden (Tabelle 3). Dieser Effekt war in Situationen, die eine S-Düngung erforderten, besonders ausgeprägt (Pellet *et al.* 2003a). Eine zu hohe S-Düngung sollte deshalb vermieden werden.

2.3.4 Düngung und Krankheiten

Söchting und Verreet (2004) haben festgestellt, dass eine hohe N-Düngung bei Raps die Entwicklung von Rapskrebs begünstigt, aber keinen Einfluss auf die Wurzelhals- und Stängelfäule hat. Im Gegensatz dazu zeigten Aubertot *et al.* (2003), dass eine hohe N-Verfügbarkeit im Herbst die Entwicklung der Wurzelhals- und Stängelfäule fördert.

Dank ihrer tiefreichenden Wurzeln kann die Sonnenblume die N-Reserven tiefer Bodenschichten nutzen, mit denen sie einen Grossteil ihres Bedarfs zu decken vermag. Eine zu starke Düngung führt zu einer üppigen Entwicklung des Blattwerks, wodurch sich das Risiko einer beeinträchtigten Standfestigkeit und von Krankheiten erhöht. Debaeke und Estragnat (2003) haben gezeigt, dass bei niedrigem Krankheitsdruck die Intensivierung der N-Düngung zu einem Anstieg der mit *Phomopsis* befallenen Stängel führte. Im Gegensatz dazu begünstigte ein N-Mangel bei höherem Krankheitsdruck und günstigen Feuchtigkeitsbedingungen die Krankheitsentwicklung. Diese wird durch einen dichten Bestand zusätzlich gefördert. Im Gegensatz zur Wurzelhalsfäule wird die Stängelfäule durch die N-Verfügbarkeit positiv beeinflusst (Debaeke und Perez 2003). Schliesslich wird Rapskrebs (*Sclerotinia*), der hauptsächlich

durch ungünstige Witterungsbedingungen und Bewässerung gefördert wird, nur teilweise durch die N-Düngung beeinflusst (Mestries *et al.* 2011).



Schoten von Eiweisserbsen (Foto: Agroscope).

2.4 Eiweisspflanzen

2.4.1 Allgemeine Eigenschaften

Eiweisserbse, Sojabohne, Ackerbohne und Lupine sind die wichtigsten in der Schweiz angebaute Eiweisspflanzen. Die Eiweisserbse nimmt dabei mit rund 3700 ha die Spitzenposition ein. Ackerbohne (465 ha) und Lupine (80 ha) sind weit weniger wichtig. Die wegen des Öls und der Proteine angebaute Sojabohne bedeckt eine Fläche von etwa 1400 ha. Alle diese Kulturen können mit Hilfe von Knöllchenbakterien N aus der Luft fixieren. Die Kulturen lassen sich aufgrund der Struktur ihres Wurzelsystems unterscheiden. Die Eiweisserbse hat eine Pfahlwurzel mit wenig entwickelten Sekundär- und Tertiärwurzeln, an denen sich die Wurzelknöllchen bilden. Aus diesem Grund reagiert diese Kultur empfindlich auf eine schlechte Bodenstruktur oder Verdichtungen. Die Lupine und die Ackerbohne besitzen starke Pfahlwurzeln, die eine Rolle für die Struktur- und Bodenbildung spielen. Die Lupine verfügt über die Fähigkeit, den pH in der Rhizosphäre (um bis zu zwei Einheiten) zu verändern, wodurch sie sich sonst nicht verfügbare Formen von Nährstoffen (P, K, Zn usw.) zugänglich machen kann. Die Sojabohne hat ebenfalls eine Pfahlwurzel, mit der sie den Boden durchdringen kann. Normalerweise beschränkt sie ihr Wachstum aber auf die gepflügten Bodenschichten. Mit vier Reihen von Sekundärwurzeln, die ihrerseits zahlreiche Verästelungen tragen, konzentriert sich die Wurzelmasse der Sojabohne grösstenteils auf die obersten 15–20 cm des Bodens.

Bei den Eiweisserbsen lassen sich zwei Sortengruppen unterscheiden: Wintereiweisserbsen, die Mitte Oktober ausgesät und Anfang Juli geerntet werden, und Sommereiweisserbsen, die etwas kälteempfindlicher sind und im

Februar gesät und im Juli geerntet werden. Die Sojabohne ist eine Sommerkultur, die in einen erwärmten Boden (im Mai) gesät und im Herbst geerntet wird.

2.4.2 Nährstoffbedarf

Eiweisserbse, Lupine, Ackerbohne und Sojabohne benötigen wie alle Eiweisspflanzen keine N-Düngung. Beim Anbau von Lupine und Sojabohne ist eine Inokulation mit den spezifischen Knöllchenbakterien (*Rhizobium*) notwendig. Bei einem regelmässigen Anbau auf einer Parzelle können sich die Bakterien von einer Kultur bis zur nächsten halten. Gelegentlich können Eiweisspflanzen Hofdünger erhalten, der sonst keine Verwendung findet. Wie die Eiweisserbse hat auch die Ackerbohne einen mittleren Bedarf an P und K. Lupine und Sojabohne haben einen geringen P-Bedarf und einen mittleren K-Bedarf.

Der Anbau von Leguminosen hat eine günstige Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit. Die Eiweisserbse ist eine hervorragende Vorkultur für Winterkulturen (Raps, Weizen), bei denen sich dadurch N-Einsparungen ergeben. Besonders hohe Einsparungen sind möglich bei Kulturen wie Raps, die Ende Sommer ausgesät werden und im Herbst grosse N-Mengen aufnehmen können (Charles und Vullioud 2001).



Reife Maiskolben (Foto: Agroscope).

2.5 Mais

2.5.1 Allgemeine Eigenschaften

Obwohl Mais weltweit gesehen ein wichtiges Nahrungsmittel für Menschen ist, wird Mais in der Schweiz zum grössten Teil für die Produktion von Tierfutter angebaut. Insgesamt ist der Maisanbau in der Schweiz mit rund 61 000 ha nach Brot- und anderen Futtergetreidearten flächenmässig die zweitwichtigste Ackerkultur. Aufgrund des Verwendungszweckes ist entweder die Ertragsleistung und die Qualität der gesamten Pflanze (Silomais, Grün-

mais) oder aber vorwiegend der Ertrag und die Qualität der Körner (Körnermais) wichtig. Je nach Anteil in der Futterration, dem Verwendungszweck und den anderen verwendeten Komponenten kommt der Qualität des Mais eine unterschiedliche Bedeutung zu.

Das Wurzelsystem der Maispflanze setzt sich aus sehr kräftigen Keimwurzeln und zahlreichen Kronenwurzeln zusammen, die entweder aus den Stängelknoten (Nodien) im unterirdischen Bereich hervorgehen oder als Luft- und Stützwurzeln am zweiten oder dritten oberirdischen Stängelknoten entstehen. Mit zunehmender Wachstumsdauer und Ausbildung der sprossbürtigen Kronenwurzeln verlieren die Keimwurzeln an Bedeutung. Ihre Ausbildung ist häufig sortenspezifisch. Sobald sie in die Erde eindringen, übernehmen sie Wurzelfunktionen. Mais wurzelt in Abhängigkeit von Bodenart und Nährstoffangebot sowohl flach als auch tief. Die seitliche Ausdehnung der Wurzeln reicht bis zu 1 m, ein Teil kann bis in Tiefen von 2,5 m vordringen. Die Entwicklung hängt jedoch auch vom Bodenzustand (Verdichtungen, Mächtigkeit) und der Wasserverfügbarkeit ab. Bis zum 6-Blattstadium wächst der Mais eher langsam, und auch der Nährstoffbedarf ist verhältnismässig gering (Abbildung 4). Dann steigt der Nährstoffbedarf an, ist aber sehr gut mit der Zunahme der Nährstoffverfügbarkeit im Boden (insbesondere des durch die Mineralisierung freigesetzten N) synchronisiert. Da die Wurzeln erst mit zunehmendem Alter der Pflanzen in tiefere Regionen vordringen, kann das Wachstum mit einer entsprechenden Erhöhung der Nährstoffverfügbarkeit (z.B. Unterfussdüngung) in der Jugendentwicklung begünstigt werden – insbesondere im Falle der Nährstoffe, die im Boden wenig mobil sind (P), oder auch in sich langsam erwärmenden Böden. In diesem Zusammenhang kann auch die Begünstigung von nützlichen Bodenmikroorganismen (Mykorrhizapilze) durch die geschickte Wahl der Hauptkulturenabfolge oder die Verwendung geeigneter Zwischenfrüchte einen positiven Effekt auf die Jugendentwicklung von Mais haben. Die Kornbildung erfolgt, nachdem das Wurzelwachstum eingestellt wurde (Arnon 1975).

2.5.2 Boden- und Nährstoffansprüche

Mais hat grundsätzlich geringe Ansprüche an den Boden, wobei sich günstige Bedingungen positiv auf die Leistung auswirken. Der pH liegt idealerweise zwischen 5,3 und 7,0. Beim Maisanbau sind öfter klimatische als bodenbezogene Faktoren limitierend (Holzkämper et al. 2015). Tiefgründige, nicht zu schwere Böden, die gut durchlüftet sind und sich folglich im Frühjahr schnell erwärmen, eignen sich gut. Obwohl sich auch sandige Böden rasch erwärmen und eine rasche Entwicklung der Maispflanzen im Frühjahr ermöglichen, ist das Risiko für Trockenstress und eine nicht optimale Nährstoffversorgung aufgrund des geringeren Wasser- und Nährstoffrückhaltevermögens erhöht. Grundsätzlich ist der Maisanbau auch auf Moorböden möglich, diese Böden begünstigen aber das Auftreten von Früh- und Spätfrösten. In niederschlagsarmen Gebieten sind Böden mit einem hohen Wasserspeichervermögen (Lehm-böden) geeignet. Verdichtete und zu Staunässe neigende Standorte sind für den Maisanbau nicht geeignet. Ebenso

sind zu Verschlammung neigende Böden wenig geeignet, da aufgrund des Anbaus von Mais in Reihenabständen von 75–80 cm das Risiko für Erosion und Verschlammung erhöht ist – insbesondere in Steillagen und Böden mit einer schlecht ausgebildeten Krümelstruktur. Ebenso sind Böden mit einem tiefen Humusgehalt beziehungsweise zu fein bearbeitete Böden risikoreicher.

Mais verwertet Hofdünger sehr gut. Aufgrund seines Bedarfs und seines Wachstumszyklus kann Mais den mineralisierten N im Boden sehr gut nutzen. Unter günstigen Bedingungen und bei ausreichender Wasserversorgung kann die tägliche N-Aufnahme eines Maisbestandes in der Hauptwachstumsphase bis zu 5 kg N/ha betragen (Abbildung 4).

Für eine gute Entwicklung ist die Versorgung mit P in der Jugendphase (Wachstumswochen 4–10) wichtig. Aufgrund des noch wenig entwickelten Wurzelwerks in dieser Zeit kann ein Angebot von leicht verfügbarem P in der Nähe des Samens die Jugendentwicklung begünstigen. Nach der Befruchtung bis zur Abreife ist die P-Aufnahme sehr gross, und die Pflanzenwurzeln nehmen in dieser Zeit rund 63 % des gesamten P-Bedarfs auf (Arnon 1975).

Gut mit K versorgte Maispflanzen weisen einen ökonomischen Wasserverbrauch auf. Dies hat positive Auswirkungen auf ihre Dürre- und Kälteresistenz. K fördert die Kohlenhydratbildung und erhöht die Standfestigkeit sowie die Widerstandskraft gegen Krankheits- und Schädlingsbefall. Der Hauptbedarf liegt zwischen der Ausbildung des sechsten Blattes und dem Ende der Blüte (Abbildung 4). Während dieser Phase werden täglich bis zu 10 kg K/ha aufgenommen.

Der Bedarf für Mg ist bei Mais im Vergleich zu den anderen Nährstoffen gering, und die Zufuhr wird auf viehhaltenden Betrieben grösstenteils über die Gülle sichergestellt. Ansonsten kann der Mg-Bedarf über magnesiumhaltige Kalke, Kieserit oder auch andere Handelsdünger gedeckt werden.

Der S-Bedarf von Mais beträgt ca. 30 kg/ha und wird in der Regel auf Flächen mit regelmässiger Hofdüngerzufuhr über diese gedeckt bzw. kann über die Mineralisation aus dem Bodenvorrat sichergestellt werden. Auf leichten Böden kann der Einsatz von schwefelhaltigen Düngern sinnvoll sein, da S wie N leicht ausgewaschen wird.

Der grösste Anteil des K wird früh aufgenommen. Bereits im Entwicklungsstadium BBCH 19 (Hack 1993) sind rund 80 % der Gesamtmenge in der Biomasse vorhanden, während dies für N erst kurz vor der Blüte (BBCH 59) und für P und Mg erst nach der Blüte (BBCH 80) der Fall ist.

2.5.3 Düngung und Qualität

Die Qualität bei *Silomais* wird zu einem Teil über den Kolben (Stärkegehalt) bestimmt und zu einem weiteren Teil über die Verdaulichkeit der Restpflanze. In diesem Zusammenhang spielt die Bestandesdichte eine zentrale Rolle, da der Kolben bei einer höheren Bestandesdichte weniger stark entwickelt wird als bei geringeren Bestandesdichten. Allgemein kann mit zunehmendem N-Niveau der Anteil an vollständig ausgebildeten Zweitkolben erhöht werden. Dies ist aber nicht in jedem Fall erwünscht, da die unvollständige Ausbildung der Zweitkolben auch den Befall mit Fusarien begünstigen kann. Übermässige Düngung mit N und P ohne gleichzeitige Düngung mit K, beziehungsweise ohne ausreichende Verfügbarkeit von K, kann zudem die Lageranfälligkeit

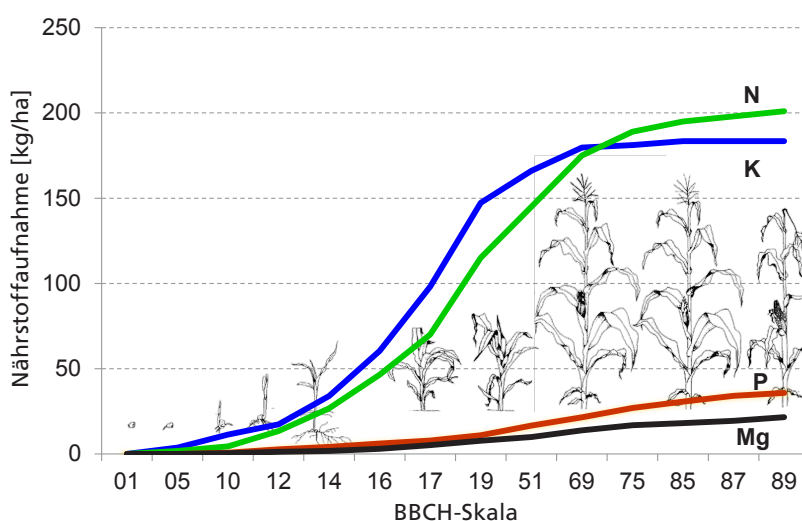


Abbildung 4 | Summe der bis zu einem bestimmten Entwicklungsstadium von Mais aufgenommenen Nährstoffmenge (verändert nach Buchner und Sturm 1985 und UNIFA 2015; BBCH-Skala nach Hack 1993).

Tabelle 4 | Begünstigung verschiedener Maiskrankheiten bei Mangel oder Überschuss von N, K, Mg, und S (Datnoff et al. 2009).

Nährstoffverfügbarkeit	Krankheit/Funktionsstörung	Pathogen
N-Überschuss	Cercospora-Blattflecken	<i>Cercospora zeae-maydis</i>
N-Mangel	Stängelfäule	<i>Gibberella zeae</i> (Schwein.) Petch*; <i>Diplodia maydis</i> (Berk.) Sacc.
N-Mangel	Aflatoxinbildung	<i>Aspergillus-flavus</i> -Gruppe
K-Mangel	<i>Helminthosporium</i> -Blattflecken	<i>Exserohilum turcicum</i>
K-Mangel	Stängelfäule	<i>Fusarium moniliforme</i> ; <i>Gibberella zeae</i> (Schwein.); <i>Diplodia zeae</i> ; <i>Diplodia maydis</i> (Berk.) Sacc.; <i>Fusarium verticilloides</i> (Sacc.) Nirenberg; <i>Colletotrichum graminicola</i> (Ces.) G. W. Wils; <i>Pythium</i> sp.; <i>Fusarium culmorum</i>
Mg-Überschuss	Maydis-Blattflecken	<i>Bipolaris maydis</i>
S-Mangel	Stängelfäule	<i>Pythium aphanidermatum</i> ; <i>Fusarium moniliforme</i> J. Sehd.

* Oder auch bei NH₄-Düngung und tiefem pH-Wert.

erhöhen (Arnon 1975). Dies kann indirekt ebenfalls die Qualität und das Ertragsniveau negativ beeinflussen sowie Folgeprobleme mit Wildschweinen in einer nachfolgend gesäten Kultur verursachen. Mit zunehmender N-Düngung kann der Proteingehalt bei *Körnermais* gesteigert werden (Arnon 1975; Buchner und Sturm 1985). Rund 60 % des für die Kornentwicklung benötigten N wird aus den Blättern, rund 10 % aus den Lieschblättern und 20–25 % aus den Stängeln und weiteren Pflanzenteilen transloziert. Bei einer geringeren Nährstoffaufnahme sind später auch weniger Nährstoffe für den Transfer in den Kolben verfügbar. Dies beeinflusst nicht nur den Gesamtertrag, sondern auch die Qualität negativ. Aufgrund des starken Wachstums um den Zeitpunkt der Blüte kann aber auch mangelnde Wasserverfügbarkeit die Nährstoffaufnahme und damit die Bildung der Biomasse sowie die Qualität beeinträchtigen (Arnon 1975).

2.5.4 Düngung und Krankheiten

Die Nährstoffverfügbarkeit kann die Krankheitsanfälligkeit von Mais beeinflussen. Insgesamt wird die Toleranz gegen Krankheiten bei unterernährten Pflanzen geschwächt. In den meisten Fällen begünstigt eine Unterversorgung den Befall – es gibt jedoch Ausnahmen (Tabelle 4).



Zuckerrüben (Foto: Agroscope).

2.6 Zuckerrübe

2.6.1 Allgemeine Eigenschaften

Die Zuckerrübe wurde 2014 auf rund 21 000 ha angebaut. Es wurden 1,9 Millionen t Wurzeln mit einem Zuckergehalt von 17,7 % produziert, was 340 000 t Zucker entspricht. Die Zuckerrübe ist eine zweijährige Pflanze, deren Anbau sich auf die vegetative Phase (im ersten Jahr) konzentriert, während derer das Wachstum sehr stark von den Umweltbedingungen beeinflusst wird. Die Kultur wächst zu Beginn langsam und der Boden ist der Gefahr der Verschläm- mung und Erosion ausgesetzt. Im Sommer hängt das

Wachstum stark von der Wasserverfügbarkeit (Niederschläge, Bodentiefe) ab. Das Wachstum setzt sich im Herbst fort und die Kultur kann beträchtliche Mengen an Biomasse zulegen. Der Zeitpunkt der Ernte wird vor allem durch die Anforderungen der Verarbeitung, die Bodenbedingungen, den Gesundheitszustand der Kultur und den Wintereinbruch bestimmt. Durch die Züchtung neuer Sorten konnte in den letzten Jahrzehnten ein kontinuierliches jährliches Ertragswachstum von rund 1 % erreicht werden. Die auf der Entwicklung der Ernten von 1995–2014 basierende Hochrechnung ergibt für 2020 einen durchschnittlichen Ertrag von 90 t/ha mit einem Verhältnis von 1,9 für die frische Biomasse der Wurzeln zur Biomasse der Blätter. Das Wurzelsystem ist bei der Zuckerrübe besonders gut entwickelt, sowohl hinsichtlich der Dichte als auch der Tiefe. Die Kultur bevorzugt mittlere Böden, kommt aber auch mit schweren Böden zurecht. Sie kann auch in humusreichen, schwarzen Böden angebaut werden. Aufgrund der tiefreichenden Wurzeln übersteht die Kultur Trockenperioden gut. Der optimale pH liegt zwischen 6,5 und 7,5.

2.6.2 Nährstoffbedarf und Erntequalität

Mit der Düngung sollen ein hoher Rüben-ertrag, ein hoher Zuckergehalt und eine hohe Extrahierbarkeit des Zuckers gewährleistet werden, um eine maximale Zuckerproduktion und Wirtschaftlichkeit der Kultur zu erreichen.

Mit der N-Düngung sollen die dem Boden entzogenen 265 kg N/ha ergänzt werden, die für die Produktion der ober- und unterirdischen Biomasse (90 t/ha Wurzeln) erforderlich sind. Nicht zum Ausdruck kommt bei der Düngungsnorm von 100 kg N/ha die enorme Bandbreite des N-Bedarfs, der zwischen 0 und 200 kg N/ha liegt. Im Hinblick auf eine optimale N-Düngung ist es deshalb wichtig, die Fähigkeit des Bodens zur Mineralisierung der organischen Substanz (OS) genau zu kennen. Höhere N-Mengen sind nur bei Böden mit einem geringen Anteil OS sowie auf viehlosen Betrieben denkbar. Eine Reduktion der N-Düngung sollte für Parzellen erwogen werden, auf denen regelmässig Hofdünger ausgebracht werden oder deren Böden tief, schwer und reich an OS sind, sowie in milden Frühlingen. In jedem Fall sollten die N-Gaben auf den Beginn der Wachstumsphase konzentriert werden und vor dem 6–8-Blattstadium erfolgen, wenn die Mineralisierung der OS noch beschränkt ist. Eine übermässige und späte Düngung beeinträchtigt die Qualität der Zuckerrüben, wobei die Anreicherung mit Zucker begrenzt und der Gehalt an N-Verbindungen, welche die Zuckerextraktion beeinträchtigen, erhöht wird (Tabelle 5). Ein Programm zur

Tabelle 5 | Einfluss der Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdüngung auf Qualitätseigenschaften von Zuckerrüben.

Qualität/Düngung	N	P	K
Zuckergehalt	–	o	+
Extrahierbarkeit	–	o	– (wenn im Überfluss)

o ohne Einfluss; + positiver Einfluss; – negativer Einfluss.

Berechnung des totalen Bedarfs an mineralischem N, mit dem sich zahlreiche Korrekturfaktoren zur N-Düngung berücksichtigen lassen, steht auf der Webseite der Schweizerischen Fachstelle für Zuckerrübenanbau zur Verfügung <http://www.zuckerruebe.ch/deutsch/entscheidungshilfenl.html>.

Die Zuckerrübe vermag das Nährstoffangebot des Bodens gut zu nutzen. Dies gilt auch für ihren K-Bedarf, den sie aus tieferen Bodenschichten decken kann. Unter Berücksichtigung dieser Fähigkeit kann die K-Düngung auf 80 % der entnommenen K-Mengen beschränkt werden. K hat ebenso wie Natrium (Na) einen positiven Effekt auf den Zuckergehalt. Eine übermässige Verfügbarkeit dieses Elements wirkt sich aber ungünstig auf die Verarbeitungsqualität der Zuckerrübe aus, wodurch die Ausbeute bei der Raffinierung beeinträchtigt wird.

Hinsichtlich der Versorgung der Zuckerrübe mit Spurenelementen spielt insbesondere B eine wichtige Rolle, da ein B-Mangel die Herz- und Trockenfäule, eine physiologische Krankheit, hervorruft. Der Mn-Bedarf muss ebenfalls berücksichtigt werden. Allfällige Düngergaben sollten in Form von Blattdünger spätestens beim Reihenschluss erfolgen.

Da die Qualität beim Preissystem für die Zuckerrübenerten direkt berücksichtigt wird, ist es sinnvoll, der Düngung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Lieferungsbestätigung der Zuckerfabrik ist ein gutes Mittel, um zu beurteilen, ob die angewendeten Dünger richtig dosiert wurden. Bei einem Zuckergehalt der Rübe von 18 % rechnet man mit einem Verlust von etwa zwei Prozentpunkten, was einer Ausbeute von rund 90 % entspricht. Verluste bei der Raffinierung von Zucker werden direkt durch bestimmte Inhaltsstoffe der Zuckerrübe verursacht, welche die Extraktion beeinträchtigen, z. B. Alpha-Aminostickstoff (akzeptierbarer Bereich 0,6–1,2 mmol/100 g), Kaliumsalze (3–4 mmol/100 g), Natriumsalze (0,1–0,3 mmol/100 g) sowie weitere lösliche Verbindungen (organische Verbindungen mit und ohne N sowie Mineralstoffe). Alle Werte ausserhalb der oben angegebenen Bandbreiten können für die Korrektur der Düngung in den nachfolgenden Jahren herangezogen werden.



Zwischenkultur mit verschiedenen Arten (Foto: Agroscope).



Bodenbearbeitung. Links: Direktsaat, rechts: Aussaat nach dem Pflügen (Foto: Agroscope).

2.7 Anbausysteme und Zwischenkulturen

Durch die Bemühungen zur Reduktion der Bodenbearbeitung und zur systematischen Bodenbedeckung durch Pflanzen werden die Nährstoffkreisläufe des Ackerbodens verändert. Für eine auf das Anbausystem abgestimmte Düngung sollten die drei wichtigsten Prozesse berücksichtigt werden: (i) Die Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität verändert die Dynamik (zeitlicher Verlauf) und die Stärke (Menge) der Mineralisierung der OS im Boden; (ii) eine Zwischenkultur (Gründüngung) nimmt Nährstoffe verschiedenen Ursprungs und in unterschiedlichen chemischen Formen auf, die dem Boden schliesslich in einer für die Nachfolgekultur gut verfügbaren Form wieder zugeführt werden; und (iii) die Leguminosen einer Zwischenkultur erschliessen dem System über die symbiotische N-Fixierung neuen N. Diese Prozesse können eine Anpassung der Düngung der Hauptkulturen erforderlich machen, einerseits um ihre Ernährung sicherzustellen und andererseits um die Effizienz der Düngung zu verbessern.

2.7.1 Auswirkungen einer reduzierten Bodenbearbeitungsintensität

Durch jede Bodenbearbeitung werden die Struktur, die Durchlüftung und die Temperatur des Bodens verändert. Dabei kommt es zu einer Zunahme der Aktivität der Mikroorganismen des Bodens und zu einer Steigerung der Mineralisierung der OS. Die Bodenart und die klimatischen Bedingungen legen die Dynamik dieser Prozesse fest, die bei der Düngung berücksichtigt werden sollten.

Wegen der geringen Durchmischung bei minimaler Bodenbearbeitung oder Direktsaat wird keine zusätzliche Mineralisierung ausgelöst. Im Vergleich zur intensiven Bodenbearbeitung bleibt in diesen Systemen deshalb die N-Freisetzung in die Bodenlösung bei der Jugendentwicklung der Kulturen reduziert. Bei Sommerkulturen führt eine fehlende Bodenbearbeitung zu einer Verzögerung der Mineralisierung der OS, die noch dadurch verstärkt

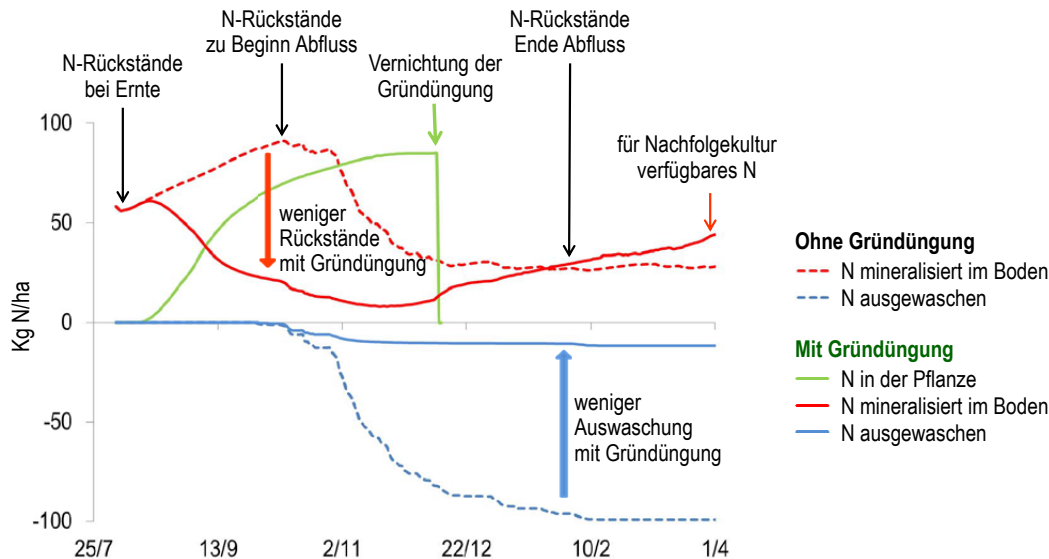


Abbildung 5 | Stickstoff-Management durch Gründüngung als Zwischenkultur von Ende Juli bis Ende März (Justes et al. 2013).

wird, dass der Boden während des Aufbaus der Kulturen länger kalt bleibt. Aus diesem Grund kann eine intensivierte N-Düngung bei der Saat erforderlich sein, insbesondere um eine schnelle Jugendentwicklung und ein rasches Auflaufen der Kultur sicherzustellen. Andererseits hängt die Mineralisierung der OS während des Sommers und Herbsts hauptsächlich von der Vorkultur, vom Gehalt des Bodens an OS und von der Bodenfeuchtigkeit ab. Bei unseren klimatischen Bedingungen reicht der während des Sommers mineralisierte N für die meisten Kulturen aus oder ist sogar im Überschuss vorhanden. Die Einarbeitung von Stroh, die minimale Bodenbearbeitung oder eine länger andauernde Trockenheit können bei frühreifen Winterkulturen (Bodenbedeckungen, Raps, Kunstwiesen, Gerste usw.) zu Situationen mit N-Mangel führen. Dieses Risiko ist bei schlecht mit OS versorgten Böden, viehlosen Betrieben oder Betrieben, die erst seit kurzer Zeit eine reduzierte Bodenbearbeitung praktizieren, erhöht. In diesen Fällen kann der N-Mangel durch ver-

schiedene Massnahmen verringert werden: Bodenbearbeitung (Stoppelbearbeitung), Aufschub der Saat, Anbau von Leguminosen (Mischkultur, Gründüngung) oder N-Gabe (empfohlen bei der Einarbeitung von Stroh).

2.7.2 Auswirkungen von Gründüngern auf den Nährstoffzyklus

Gründünger verbessern die Verfügbarkeit von Nährstoffen für die nachfolgende Kultur durch verschiedene Prozesse. Durch eine hohe Produktion von Biomasse und einen hohen Nährstoffgehalt der Pflanzen können Gründünger grosse Mengen von Nährstoffen speichern (Wendling et al. 2016). Zudem werden durch die Reduktion des Abflusses und den Schutz des Bodens vor Erosion Nährstoffverluste vermieden. Diese in den Pflanzen gelagerten Nährstoffe werden anschliessend bei der Vernichtung der Gründünger dem Boden wieder zugeführt. Das N-Management mit Gründüngern beinhaltet drei aufeinanderfolgende Schritte: das Management der N-Rückstände der Vorkultur, die Aufnahme des mineralisierten N durch die Gründünger und die Bereitstellung dieses N für die Nachfolgekultur (Abbildung 5).

Die Extraktion von Nährstoffen, die für bestimmte Kulturen schwer zugänglich sind, aus dem Boden und deren Verfügbarkeit für die Nachfolgekulturen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. In den vorangehenden Versionen der Düngungsgrundlagen wurden der Nährstoffgehalt von Gründüngern und ihre Nährstoffaufnahme als zusammenfassender Wert angegeben. In Tabelle 6 sind diese Werte genauer aufgeschlüsselt. Das Nährstoffmanagement zielt darauf ab, den Düngewert dieser Gründünger bei ihrer Vernichtung zu berücksichtigen.

Die Rückführung des in der Gründüngung enthaltenen N zugunsten der nachfolgenden Kultur hängt

Tabelle 6 | Aufnahme von Nährstoffen durch ausgewählte Gründünger.

Gründüngungen	Ertrag	Aufnahme (kg/ha)			
	TS ¹ dt/ha	N	P	K	Mg
Rauhafer	35	85	14	142	6
Kreuzblütler	35	73	12	134	6
Phacelia	35	90	19	181	6
Futtererbse	35	156	19	107	11

¹ Trockensubstanz.

Tabelle 7 | Schätzung des für die Nachfolgekultur freigesetzten bzw. blockierten Stickstoffs durch die Gründüngung in Abhängigkeit der Art und ihres Wachstums (Justes et al. 2009).

Kriterium	Leguminosen	Senf	Gräser
C:N-Verhältnis	10 bis 15	15 bis 20	20 bis 30
mineralisierter N in % des N der Zwischenkultur	40 bis 50	15 bis 30	-15 bis 15
freigesetzter bzw. blockierter N (kg/ha)			
- mittleres Wachstum	20 bis 25	7 bis 15	-7 bis 7
- starkes Wachstum	40 bis 50	15 bis 30	-15 bis 15

Tabelle 8 | Zusammenfassung der Auswirkungen, Vorteile und Grenzen der verschiedenen Arten von Gründüngern (Justes *et al.* 2013).

Kriterium	Nicht-Leguminosen Gräser	Nicht-Leguminosen Kreuzblütler	Leguminosen	Mischungen Leguminosen und Nicht-Leguminosen
Voraussetzungen	ziemlich frühe Saat; nicht oder wenig frostempfindlich	frühe Saat; frostempfindlich je nach Art und Temperatur	sehr frühe Saat; frostempfindlich	Mischung an die Boden- bedingungen anpassen
Verminderung der Auswaschung	30 bis 80 %	30 bis 90 %	0 bis 40 %	20 bis 60 %
kurzfristige Auswirkungen auf N (freigesetzter N in % des aufgenommenen N)	-20 bis +10 %	-10 bis +30 %	+1 bis +50 %	+10 bis +40 %
Vorteile	Wirksamkeit bei hohem N-Input	breite Wirksamkeit	Wirksamkeit bei niedrigem N-Input	mittlere Wirksamkeit, unterschiedlich nach Umweltbedingungen
ungünstige Bedingungen	toniger Boden falls Vernichtung spät	toniger Boden falls nicht frostempfindlich oder falls Vernichtung spät	Systeme mit intensiver N-Düngung und Eintra- gung	Systeme mit intensiver N-Düngung

von den relativen Anteilen des Kohlenstoffs (C) bzw. des N in der Biomasse bei der Einarbeitung in den Boden ab. Das C:N-Verhältnis legt die Geschwindigkeit der Mineralisierung der OS fest. Ein hoher N-Gehalt begünstigt die Verrottung des Gründüngers und erhöht den Anteil von N, der für die Nachfolgekultur zur Verfügung steht. Umgekehrt bewirkt der Abbau einer verholzten Gründüngung, die einen hohen C-Gehalt aufweist, die Aufnahme von N durch die Bodenmikroorganismen nach dem Winter. Diese Aufnahme stellt eine Konkurrenz zur Ernährung der Pflanzen dar und kann zu einem N-Mangel führen, der sich mit der Situation vergleichen lässt, die sich bei der Einarbeitung von Stroh ergibt (Maltas *et al.* 2012a & b; Maltas *et al.* 2013). In Tabelle 7 sind verschiedene Werte für die N-Rückführung bei verschiedenen Arten von Zwischenkulturen unter Berücksichtigung des C:N-Verhältnisses dargestellt.

Um das Potenzial einer Gründüngung zur Humusbildung besser auszuschöpfen, sollte sie noch in frischem Zustand vernichtet und mit dem Boden in Kontakt gebracht werden (im Allgemeinen vor dem Winter). Im Falle einer Einarbeitung einer verholzten Gründüngung sollte diese Arbeit rechtzeitig vor der nachfolgenden Kultur erfolgen oder die N-Düngung bei der Jugendentwicklung der nachfolgenden Kultur sogar erhöht werden. Dies betrifft insbesondere Sommerkulturen nach einer Gründüngung, die den Boden während des Winters geschützt hat. Tabelle 8 fasst die Auswirkungen, Vorteile und Grenzen der Gründüngung im Hinblick auf den N-Haushalt zusammen (Justes *et al.* 2013).

Es wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass die Gründünger keine wesentlichen Auswirkungen auf die Kreisläufe der anderen Nährstoffe (P, K, Mg) haben. Dabei wird allerdings die Fähigkeit bestimmter Arten vernachlässigt, dem Boden schwer zugängliche Nährstoffe zu entnehmen und diese bei ihrer Zersetzung in bioverfügbarer Form freizusetzen. Mit der Berücksichtigung der in Gründüngungen enthaltenen Nährstoffmengen (Büchi *et al.* 2016) soll diesen Mechanismen, insbesondere bei Arten mit einer ausgeprägten Fähigkeit zur Nährstoffaufnahme, noch besser Rechnung getragen werden. Bei einem nor-

mal oder gut mit Nährstoffen versorgten Boden wird deshalb empfohlen, alle in der Biomasse enthaltenen Nährstoffe als verfügbar zu betrachten und von der berechneten erforderlichen Düngermenge für die nachfolgende Kultur abzuziehen. Bei schlecht versorgten Böden empfiehlt es sich hingegen, vorsichtshalber davon auszugehen, dass die Gründünger keine Auswirkungen auf die Nährstoffkreisläufe von P, K und Mg haben.

2.7.3 Auswirkungen von Leguminosen in den Anbausystemen

Leguminosen werden immer öfter angebaut, sei es als Gründüngung vor der Kultur oder mit der Kultur (mit Raps) oder als Mischkultur (mit Getreiden). Bei günstigen Wachstumsbedingungen nehmen Leguminosen N aus dem Boden auf (0–50 kg N/ha) und binden über die symbiotische N-Fixierung bis zu 100 kg N/ha (Büchi *et al.* 2015). Diese N-Mengen sind als direkter Ersatz für eine N-Düngung oder als Ausgleich einer Situation mit unzureichender Mineralisierung interessant. Sie bergen aber auch das Risiko von N-Verlusten in Form von Nitraten.

Die Integration von Leguminosen in Anbausysteme bietet verschiedene Vorteile. Der Düngewert einer Gründüngung, die ausschliesslich aus Leguminosen besteht, kann 40 bis 80 kg N/ha erreichen (Büchi *et al.* 2015). Durch den Anbau einer Leguminose als Gründüngung nach dem Einarbeiten von Stroh kann bei schlecht mit OS versorgten Böden oder bei minimaler Bodenbearbeitung eine wirksame Bodenbedeckung erreicht werden. Zudem kann die Gabe einer N-Menge, die für die Zersetzung des Strohs erforderlich ist, eingespart werden (Maltas *et al.* 2012a). Eine Leguminose in Mischkultur mit Raps setzt bis zu 30 kg N/ha frei, die bei der Düngung dieses Kreuzblütlers eingespart werden können (Terres Inovia). Die Nährstoffeffizienz einer Mischung von Getreide und Eiweisspflanze ist einem reinen Anbau überlegen (Bedoussac *et al.* 2015). Ein häufigerer Einsatz von Leguminosen in den Anbausystemen verdient deshalb besondere Beachtung, da dies sowohl im Hinblick auf die Mengen als auch auf die Wirksamkeit der angewendeten N-Dünger interessant ist.

3. Düngungsnormen

Die Düngungsnormen entsprechen den Nährstoffbedarf an N, P, K und Mg der Ackerkulturen, um einen durchschnittlichen Ertrag zu erreichen. Diese Normen werden in Abhängigkeit verschiedener Faktoren bezüglich der Pflanzen, des Bodens und/oder des Klimas korrigiert.

Die Entzüge von N, P, K, Mg sowie die entsprechenden Düngungsnormen sind in Tabellen 9 und 10 aufgeführt. Beim berücksichtigten Ertragsniveau handelt es sich um den in der Schweiz durchschnittlich erreichten Ertrag. Er beruht auf den landwirtschaftlichen Statistiken des Schweizer Bauernverbands (SBV 2014). Die Werte der Nährstoffgehalte stammen aus zahlreichen Versuchen, die von Agroscope durchgeführt wurden. Die Normen für P, K und Mg gehen direkt aus dem entsprechenden Nährstoffentzug hervor, der ausgehend von diesen Daten berechnet wurde. Im Gegensatz dazu umfassen die Normen für N, die auf den von Agroscope durchgeführten Versuchen beruhen, nur einen Teil des effektiven Nährstoffentzugs.

3.1 Stickstoffdüngung

Eine begründete N-Düngung lässt sich als Methode bezeichnen, mit der die Gaben von mineralischen und organischen Düngern auf den Bedarf der Kultur abgestimmt werden können, um ein gegebenes Produktionsziel zu er-

reichen, wobei weitere N-Beiträge des Bodens berücksichtigt werden (COMIFER 2013). Diese auf Bedarf und Angebot abgestimmte Anpassung der Normen trägt zu den technischen und wirtschaftlichen Aspekten der Produktion und zur Vermeidung von N-Verlusten in die Umwelt bei. Das N-Angebot des Bodens lässt sich errechnen, indem zum mineralischen N, der zu einem gegebenen Zeitpunkt vorhanden ist, der gesamte N addiert wird, der ab diesem Zeitpunkt und während des Wachstums der Kultur freigesetzt wird, und der N subtrahiert wird, der im gleichen Zeitraum verloren geht. Es muss jedoch zusätzlich die Entwicklung der zeitlichen und räumlichen Verfügbarkeit des N sowie die Entwicklung der Kultur beachtet werden. So wird einer Kultur mit tief reichenden Wurzeln eine höhere N-Menge zugänglich sein als einer Kultur mit einem oberflächlichen Wurzelsystem. Ausserdem kann eine junge Pflanze den N nicht aufnehmen, der in tieferen Schichten ausserhalb der Reichweite ihrer Wurzeln vorliegt (siehe Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen).

3.1.1 Stickstoffkreislauf

N ist ein für das Wachstum der Kulturen unerlässliches Element. Auf einer Parzelle kann N durch das Ausbringen von synthetischem Mineraldünger, durch das Rezyklieren von Ernterückständen und Hofdünger oder durch biologische Fixierung von atmosphärischem N_2 durch Leguminosen zugeführt werden. Im N-Kreislauf (Abbildung 6) erhöhen die

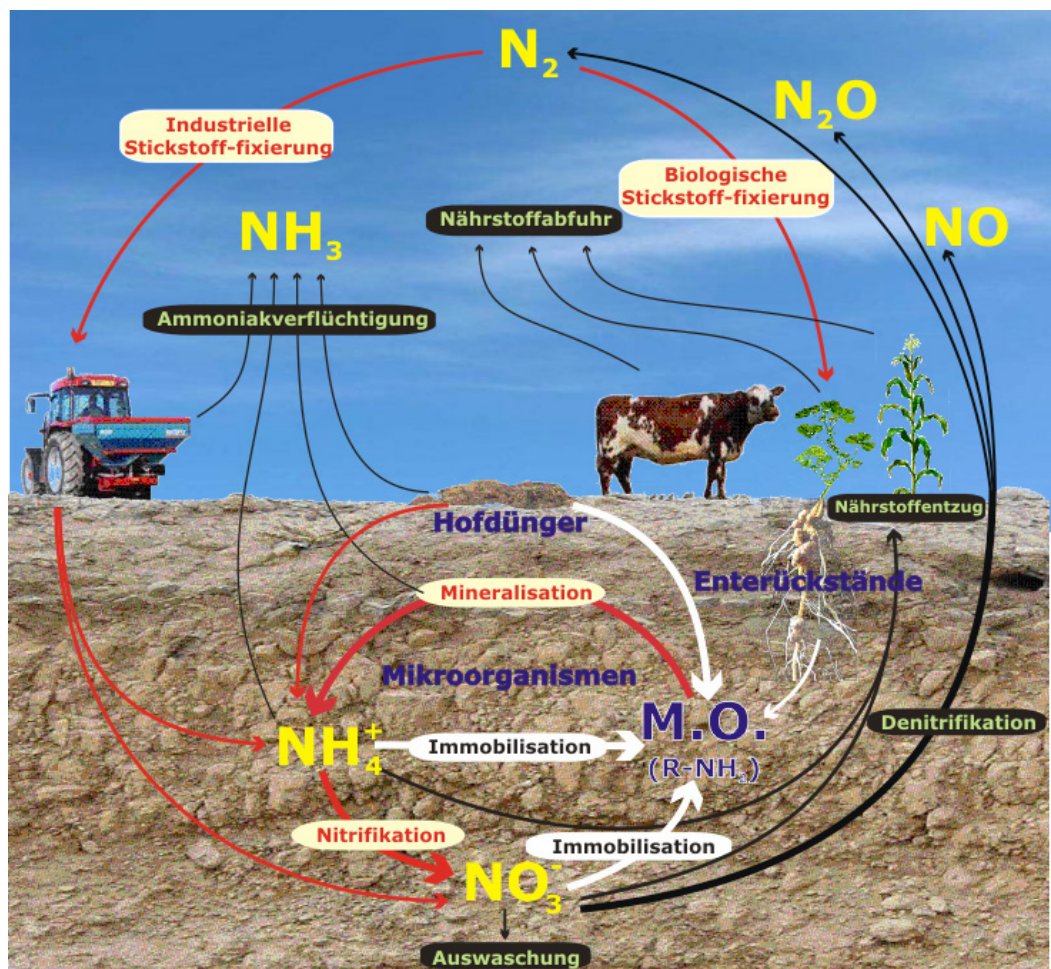


Abbildung 6 | Stickstoffkreislauf auf Parzellenebene.

Tabelle 9 | Referenzertrag, Nährstoffentzug und Düngungsnormen bezüglich N, P, K und Mg für die Ackerkulturen.

Die Düngungsnormen für P, K und Mg berücksichtigen das Nährstoffaneignungsvermögen der Kulturen (Tabelle 21).

Anmerkungen: Als Grundlage für die Berechnung dient der Entzug von P, K und Mg durch die Ernte und die Rückstände.

Der gesamte Nährstoffentzug wurde als Summe der Nährstoffentzüge durch die Ernteprodukte und -rückstände berechnet.

Kultur	Referenzertrag ¹	Produkt	Nährstoffentzug basierend auf dem Referenzertrag				Düngungsnorm			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
	dt/ha	kg/ha				kg/ha				
Winterweizen (Brot- und Biskuitweizen)	60	Körner	121	21 (49)	22 (26)	7				
	70	Stroh	22	6 (13)	62 (75)	5				
	total		143	27 (63)	84 (101)	12	140	27 (63)	67 (81)	15
Futterweizen	75	Körner	130	27 (62)	27 (32)	9				
	75	Stroh	21	6 (14)	66 (80)	5				
	total		151	33 (76)	93 (113)	14	140	33 (76)	74 (90)	15
Sommerweizen	50	Körner	101	18 (41)	18 (22)	6				
	60	Stroh	19	5 (11)	53 (64)	4				
	total		120	23 (52)	71 (86)	10	120	23 (52)	71 (86)	10
Wintergerste	60	Körner	89	22 (50)	27 (32)	7				
	60	Stroh	26	6 (13)	80 (96)	4				
	total		115	28 (64)	107 (128)	11	110	28 (64)	86 (103)	15
Sommergerste	55	Körner	81	20 (46)	25 (30)	6				
	55	Stroh	24	5 (12)	73 (88)	3				
	total		105	25 (58)	98 (118)	9	90	25 (58)	98 (118)	10
Winterhafer	55	Körner	88	19 (44)	23 (28)	6				
	70	Stroh	35	8 (19)	122 (147)	6				
	total		123	27 (63)	145 (175)	12	90	27 (63)	116 (140)	15
Sommerhafer	55	Körner	91	19 (44)	23 (28)	6				
	70	Stroh	29	8 (19)	122 (147)	6				
	total		120	27 (63)	145 (175)	12	90	27 (63)	145 (175)	15
Winterroggen	55	Körner	72	19 (44)	23 (28)	6				
	70	Stroh	21	6 (14)	70 (84)	7				
	total		93	25 (58)	93 (112)	13	90	25 (58)	74 (89)	15

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt.

Tabelle 9 (Fortsetzung)

Kultur	Referenz- ertrag ¹ dt/ha	Produkt	Nährstoffentzug basierend auf dem Referenzertrag				Düngungsnorm			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Winterroggen (Hybridsorten)	65	Körner	85	23 (52)	27 (33)	7				
	75	Stroh	23	7 (15)	75 (90)	8				
	total		108	30 (67)	102 (123)	15	90	30 (67)	82 (98)	15
Dinkel	45	Körner	72	16 (36)	19 (23)	5				
	70	Stroh	35	8 (18)	70 (84)	7				
	total		107	24 (54)	89 (107)	12	100	24 (54)	71 (85)	15
Wintertriticale	60	Körner	96	19 (43)	24 (29)	5				
	75	Stroh	25	5 (11)	112 (135)	5				
	total		121	24 (54)	136 (164)	10	110	24 (54)	109 (132)	10
Sommertriticale	55	Körner	88	17 (40)	22 (27)	5				
	70	Stroh	23	4 (10)	105 (126)	4				
	total		111	21 (49)	127 (153)	9	100	21 (49)	127 (153)	10
Emmer, Einkorn	25	Körner	55	9 (20)	11 (13)	4				
	45	Stroh	18	6 (14)	34 (41)	3				
	total		73	15 (34)	45 (53)	7	30	15 (34)	36 (42)	10
Hirse	35	Körner	58	10 (23)	8 (10)	4				
	45	Stroh	75	11 (25)	85 (102)	11				
	total		133	21 (48)	93 (112)	15	70	22 (51)	95 (114)	12
Körnermais	100	Körner	130	26 (59)	33 (40)	9				
	110	Stroh	80	12 (26)	160 (191)	14				
	total		210	38 (85)	193 (231)	23	110	46 (103)	195 (235)	25
Silomais	185 ²	Ganzpflanze	218	38 (89)	200 (241)	24				
	total		218	38 (89)	200 (241)	24	110	46 (103)	195 (235)	25
Grünmais	60 ²	Ganzpflanze	114	17 (39)	134 (162)	6				
	total		114	17 (39)	134 (162)	6	70	17 (39)	134 (162)	10

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt.

² Trockensubstanzertrag.

Tabelle 9 (Fortsetzung)

Kultur	Referenz- ertrag ¹ dt/ha	Produkt	Nährstoffentzug basierend auf dem Referzertrag				Düngungsnorm			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Kartoffeln (Speisekartoffeln und Kartoffeln für die technische Verarbeitung) Gruppe 1 ^a Gruppe 2 ^b Gruppe 3 ^c	450	Knollen	135	26 (59)	202 (243)	9				
	200	Kraut	28	4 (10)	108 (130)	8				
	total		163	30 (69)	310 (373)	17	80 ^a 120 ^b 160 ^c	36 (82)	372 (448)	20
Kartoffeln (Frühkartoffeln) Gruppe 1 ^a Gruppe 2 ^b Gruppe 3 ^c	300	Knollen	69	20 (45)	125 (150)	6				
	200	Kraut	66	6 (14)	116 (140)	12				
	total		135	26 (59)	241 (290)	18	70 ^a 110 ^b 150 ^c	31 (71)	289 (348)	20
Kartoffeln (Pflanzkartoffeln) Gruppe 1 ^a Gruppe 2 ^b Gruppe 3 ^c	250	Knollen	58	17 (38)	104 (125)	5				
	200	Kraut	66	6 (14)	116 (140)	12				
	total		124	23 (52)	220 (265)	17	60 ^a 100 ^b 140 ^c	28 (62)	264 (318)	20
Zuckerrüben	900	Rüben	108	24 (54)	149 (180)	27				
	475	Kraut/Köpfe	157	17 (38)	248 (299)	43				
	total		265	41 (92)	397 (479)	70	100	40 (92)	318 (383)	70
Futterrüben	175 ²	Rüben	193	38 (88)	261 (315)	23				
	400	Kraut	140	14 (32)	232 (280)	36				
	total		333	52 (120)	493 (595)	59	100	52 (120)	394 (476)	60
Winterraps	35	Hauptprodukt	102	22 (51)	25 (30)	8				
	90	Nebenprodukt	54	6 (14)	142 (171)	4				
	total		156	28 (64)	167 (201)	12	150	28 (69)	167 (202)	15
Sommerraps	25	Hauptprodukt	65	16 (37)	17 (21)	7				
	45	Nebenprodukt	32	4 (9)	46 (56)	7				
	total		97	20 (46)	63 (77)	14	120	20 (46)	63 (77)	15

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt.

² Trockensubstanzertrag.

^{a,b,c} Bei Kartoffeln werden sortenspezifische Korrekturen vorgeschlagen, um Ertrag und Erntequalität sicherzustellen. Die Sorten der Sortenliste für Kartoffeln (Schwaerzel *et al.* 2016) werden nach ihrem N-Bedarf in drei Gruppen eingeteilt (Tabelle 10). Es lassen sich bedeutende Unterschiede in der Reaktion auf die N-Düngung je nach Sorte und Standort feststellen, hauptsächlich aufgrund des Gehalts des Bodens an OS zum Zeitpunkt der Pflanzung (Dupuis *et al.* 2009). Es wird deshalb empfohlen, die N-Düngung nicht nur auf den N-Bedarf der betreffenden Sorte, sondern auch auf den zum Zeitpunkt der Pflanzung im Boden verfügbaren N abzustimmen (Hebeisen *et al.* 2012; Dupuis *et al.* 2009; Fleisch *et al.* 2009; Reust *et al.* 2006).

Tabelle 9 (Fortsetzung)

Kultur	Referenz- ertrag ¹ dt/ha	Produkt	Nährstoffezug basierend auf dem Referenzertrag				Düngungsnorm			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Sonnenblume	30	Körner	95	14 (33)	21 (25)	9				
	60	Stroh	54	7 (16)	306 (369)	45				
	total		149	21 (49)	327 (394)	54	60	21 (49)	327 (394)	55
Ölhaf	13	Körner	60	14 (33)	12 (14)	7				
	60	Stroh	54	10 (23)	70 (84)	9				
	total		114	24 (56)	82 (98)	16	60	24 (56)	82 (98)	20
Faserhanf ³	100	Hauptprodukt	30	13 (30)	75 (90)	5				
	40	Nebenprodukt	110	26 (60)	91 (110)	20				
	total		140	39 (90)	166 (200)	25	100	39 (90)	166 (200)	25
Öllein	20	Körner	109	10 (24)	16 (19)	1				
	25	Stroh	15	6 (13)	37 (45)	2				
	total		124	16 (37)	53 (64)	3	80	16 (37)	53 (64)	5
Faserlein	45	Körner	45	14 (32)	75 (90)	9				
	15	Stroh	82	8 (18)	12 (14)	1				
	total		127	22 (50)	87 (104)	10	60	22 (50)	87 (104)	10
Chinaschilf	200 ²	Ganzpflanze	42	9 (20)	93 (112)	6				
	total		42	9 (20)	93 (112)	6	30	9 (20)	93 (112)	10
Kenaf	50 ²	Ganzpflanze	100	26 (60)	66 (80)	10				
	total		100	26 (60)	66 (80)	10	70	26 (60)	66 (80)	10
Eiweisserbsen	40	Körner	140	17 (39)	40 (48)	5				
	50	Stroh	100	17 (39)	66 (80)	11				
	total		240	34 (78)	106 (128)	16	0	34 (78)	127 (154)	20
Ackerbohnen	40	Körner	160	24 (56)	46 (56)	10				
	45	Stroh	135	7 (16)	75 (90)	15				
	total		295	31 (72)	121 (146)	25	0	31 (72)	145 (175)	25

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt.² Trockensubstanzertrag.³ Je nach Erntezeitpunkt und -methode werden die Ganzpflanzen oder nur die Stängel geerntet.

Tabelle 9 (Fortsetzung)

Kultur	Referenz- ertrag ¹ dt/ha	Produkt	Nährstoffezug basierend auf dem Referenzertrag				Düngungsnorm			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Sojabohne	30	Körner	180	15 (35)	48 (58)	6				
	30	Stroh	105	15 (35)	53 (64)	9				
	total		285	30 (70)	101 (122)	15	0	30 (71)	121 (147)	15
Süsslupine	30	Körner	165	13 (30)	34 (41)	6				
	30	Stroh	105	5 (12)	50 (60)	12				
	total		270	18 (42)	84 (101)	18	0	18 (42)	101 (121)	20
Gründünger (Leguminosen)	35 ²	Ganzpflanze	153	16 (37)	102 (123)	9				
	total		153	16 (37)	102 (123)	9	0	0 (0)	0 (0)	0
Gründünger (Nicht-Leguminosen)	35 ²	Ganzpflanze	85	14 (32)	143 (173)	8				
	total		85	14 (32)	143 (173)	8	0	0 (0)	0 (0)	0
Zwischenfrüchte (pro Nutzung)	25 ²	Ganzpflanze	70	10 (24)	75 (90)	6				
	total		70	10 (24)	75 (90)	6	30	10 (24)	55 (67)	10
Tabak Burley	25 ²	Blätter	75	8 (18)	104 (125)	7				
	30 ²	Stängel	69	10 (22)	112 (135)	6				
	total		144	18 (40)	216 (260)	13	170	18 (40)	216 (260)	15
Tabak Virginie	25 ²	Blätter	63	6 (14)	99 (119)	5				
	25 ²	Stängel	25	9 (21)	104 (125)	10				
	total		88	15 (35)	203 (244)	15	30	15 (35)	203 (244)	15
Reis	60	Körner	66	18 (41)	27 (32)	5				
	60	Stroh	39	8 (18)	102 (123)	11				
	total		105	26 (60)	129 (155)	16	110	26 (60)	120 (145)	10

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt.

² Trockensubstanzertrag.

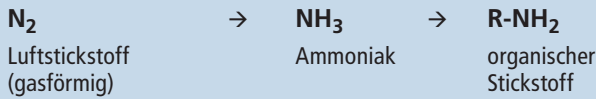
Tabelle 10 | Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit der Kartoffelsorte.

Gruppe	Sorten	Korrektur der Norm
Gruppe 1 (Sorten mit geringem Bedarf)	Agria, Fontane, Jelly und Nicola	Norm – 40 kg N/ha
Gruppe 2 (Sorten mit mittlerem Bedarf)	Agata*, Annabelle*, Amandine*, Bintje, Celtiane*, Challenger, Désirée*, Ditta*, Erika*, Gourmandine, Gwenne*, Hermes*, Lady Christl, Laura, Markies, Panda, Pirol*, Venezia* und Verdi	Norm
Gruppe 3 (Sorten mit hohem Bedarf)	Charlotte, Innovator, Lady Claire, Lady Rosetta und Victoria	Norm + 40 kg N/ha

* Die mit einem Stern versehenen Sorten wurden vorerst standardmässig in die Gruppe 2 eingeteilt, es werden aber Versuche weitergeführt, um ihren N-Bedarf genauer zu bestimmen.

Prozesse Fixierung, Mineralisierung und Nitrifikation den verfügbaren N im Boden, während die Prozesse Denitrifikation, Verflüchtigung, Immobilisation, Auswaschung und Entzug durch die Pflanzen eine Reduktion des N im Bereich des Wurzelsystems zur Folge haben.

Bei der **Stickstofffixierung** wird Luftstickstoff (N_2) in eine von den Pflanzen aufnehmbare N-Form überführt.



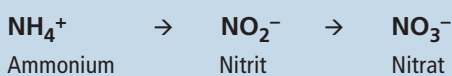
Dies kann industriell (Herstellung von Mineraldüngern) oder biologisch (N-Fixierung durch Bakterien in den Wurzelknöllchen von Leguminosen) erfolgen. Für die N-Fixierung werden Energie, Enzyme und Mineralstoffe benötigt. Falls verfügbarer N im Boden vorhanden ist, ist es für die Pflanze günstiger, diesen zu verwenden, statt N aus der Luft zu fixieren.

Die **Mineralisierung** ist der Prozess, bei dem organischer Stickstoff (Hofdünger, Ernterückstände, organische Substanz des Bodens) durch Mikroorganismen zu Ammoniak (NH_3) abgebaut wird.



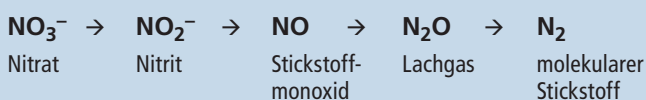
Die Intensität der Mineralisierung hängt von vielen Faktoren wie dem Gehalt und der Qualität der OS des Bodens, der Vorkultur, der Nachwirkung von organischen Düngern (Hofdünger, Ernterückstände, Gründüngung), dem Klima (Temperatur, Feuchtigkeit) und dem Vorhandensein von Sauerstoff im Boden (Durchlüftung) ab.

Die **Nitrifikation** ist der Prozess, bei dem Mikroorganismen (*Nitrosomonas* und *Nitrobacter*) zur Energiegewinnung Ammonium in Nitrit und nachfolgend in Nitrat umwandeln.



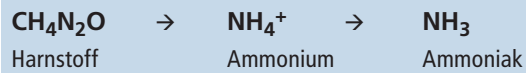
Nitrat ist die für Pflanzen am besten verfügbare N-Form im Boden, gleichzeitig aber am stärksten gefährdet bezüglich Auswaschungsverlusten.

Die **Denitrifikation** ist das Resultat der Umwandlung von Nitrat in gasförmige N-Verbindungen wie Stickstoffmonoxid (NO), Lachgas (N_2O) und molekularer Stickstoff (N_2).



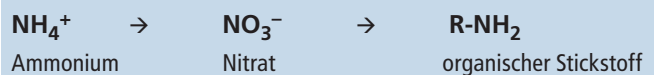
Da die Denitrifikation unter anaeroben Bedingungen abläuft, treten Emissionen von Lachgas vor allem in schweren, verdichteten oder schlecht drainierten Böden sowie in stau- oder grundwasserbeeinflussten Böden auf.

Ammoniakverflüchtigung tritt hauptsächlich während der ersten Stunden nach der oberflächlichen Ausbringung von ammoniumhaltigen Düngern auf.



Dieses Phänomen betrifft vor allem Hofdünger mit einem hohen Gehalt an NH_4^+ . Dadurch kann die N-Wirksamkeit dieser Dünger stark reduziert werden. Eine Einarbeitung – auch oberflächlich – am Tag der Ausbringung der Gülle oder des Mists ist das beste Mittel, um Ammoniakverluste zu vermeiden. Die Wetterbedingungen und die Ausbringtechnik haben ebenfalls einen grossen Einfluss.

Immobilisierung ist der gegenläufige Prozess zur Mineralisation.



Dabei werden dem Boden durch Mikroorganismen Nitrate und Ammonium entnommen und in organische N-Formen überführt, was eine Reduktion des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden zur Folge hat.

Auswaschung von Nitraten aus dem Boden tritt dann auf, wenn mehr Wasser in den Boden gelangt, als dieser aufnehmen kann. Das überflüssige Wasser verlässt zusammen mit dem leicht wasserlöslichen Nitrat den Wurzelraum und gelangt ins Grundwasser oder in Gewässer. Dieser Vorgang tritt hauptsächlich in leichten Böden mit einem geringen Wasserspeichervermögen oder in bereits wassergesättigten Böden auf. Die Verlagerungstiefe des Nitrats hängt von der Menge des Sickerwassers, vom Feuchtigkeitszustand des Bodens vor dem Regen und von der Bodenart ab. Nitrathaltige N-Dünger unterliegen der potenziellen Auswaschungsgefahr ab dem Zeitpunkt der Ausbringung. Ammoniumverluste durch Auswaschung können auch in sandigen Böden mit schwachem Adsorptionsvermögen auftreten.

Aufnahme durch die Pflanzen: Eine effiziente Ausnutzung des N durch die Pflanzen ist das hauptsächliche Ziel bei der Planung und Durchführung der N-Düngung. Dabei gilt es, die spezifischen Eigenschaften mineralischer und organischer Düngemittel zu beachten. Um eine möglichst hohe Stickstoffeffizienz zu erreichen und unerwünschte Verluste in die Umwelt sowie daraus folgende ökonomische Verluste zu vermeiden, muss der Landwirt vor allem drei Punkte beachten: (i) *die N-Menge* (mehrere Versuche zeigen, dass beim Überschreiten des optimalen Düngungsniiveaus die N-Ausnutzungseffizienz bei verschiedenen Kulturen stark abnimmt und das Risiko von Verlusten zunimmt), (ii) *der Anwendungszeitpunkt* (Tabelle 26) und (iii) *der Bodenzustand* (die meisten Umwandlungsprozesse der verschiedenen N-Formen sind von der biologischen Aktivität des Bodens abhängig, die von den klimatischen Verhältnissen und vom physikalisch-chemischen Zustand des Bodens beeinflusst wird. Eine gute Struktur und

Wasserführung des Bodens ist Voraussetzung für eine hohe Wirksamkeit der N-Dünger).

3.1.2 Methoden zur Berechnung der Stickstoffdüngermenge

In der Schweiz werden zwei Methoden zur Berechnung der N-Düngermenge verwendet:

- (i) die Methode der korrigierten Normen, auch Schätzmethode genannt, und
- (ii) die N_{min} -Methode. In einer kürzlich veröffentlichten Studie (Maltas *et al.* 2015) wurde gezeigt, dass beide Methoden gleich leistungsfähig sind und nach beiden Methoden eine N-Düngermenge empfohlen wird, die nahe an der optimalen Menge liegt.

3.1.2.1 Methode der korrigierten Normen

Die Methode der korrigierten Normen schätzt die erforderliche N-Düngermenge, wobei eine Referenzmenge aufgrund von Boden-, Klima- und Anbaubedingungen des Standorts korrigiert wird. Bei dieser Referenzmenge handelt es sich um die Düngungsnorm. Sie entspricht der N-Düngermenge, die einer gegebenen Kultur in einer Standardsituation (normal mit N versorgter Boden) gegeben werden muss, um einen bestimmten Referenzertrag zu erreichen, das heisst den durchschnittlichen Ertrag, der in der Schweiz bei dieser Kultur zu erwarten ist (Tabelle 9). Die Düngungsnormen und Referenzerträge beruhen auf Versuchen, bei denen die Reaktionskurve der Kulturen in Abhängigkeit der N-Düngung ermittelt wurde, auf der Erfahrung der Landwirte und auf Expertenwissen.

Wenn die Situation hinsichtlich der Boden- und Klimabedingungen von der Standardsituation abweicht, werden Korrekturfaktoren auf die Düngungsnorm angewendet. Dabei kommen sieben mögliche Korrekturfaktoren, die negative oder positive Werte annehmen können, zur Anwendung (Gl. 1). Der Faktor Ertrag (f_{Ertrag}) schätzt die Korrektur des N-Bedarfs, wenn ein höherer oder tieferer Ertrag im Vergleich zum Referenzertrag angestrebt wird (Tabelle 11; Richner *et al.* 2010). Mit fünf weiteren Faktoren werden die Auswirkungen von parzellenspezifischen Boden- und Klimabedingungen auf das N-Angebot des Bodens geschätzt. Unter der Annahme, dass sich die Auswirkungen dieser Faktoren einfach addieren und nicht gegenseitig beeinflussen, lässt sich die erforderliche N-Menge (X) mit der folgenden Gleichung beschreiben:

$$X = \text{Norm} + (f_{Ertrag} + f_{OSB} + f_{VF} + f_{NOD} + f_{Regen} + f_{Hacken} + f_{Fr}) \quad \text{Gl.1}$$

Der Faktor f_{OSB} berücksichtigt die Auswirkungen des Gehalts an OS und des Tongehalts des Bodens auf die Mineralisierung der OS (Tabelle 12), f_{VF} berücksichtigt den Einfluss der Vorfrucht und des Zeitpunkts ihrer Einarbeitung in den Boden auf die Mineralisierung der Ernterückstände (Tabelle 13), f_{NOD} bezeichnet den Anteil des mit organischen Düngern ausgebrachten N, der im zweiten Jahr nach der Ausbringung pflanzenverfügbar ist (Tabelle 14), f_{Regen} schätzt den Einfluss von Regen auf die N-Verluste durch Auswaschung während Winter und Frühling (Tabelle 15) und f_{Hacken} simuliert den positiven Effekt von wiederholtem Hacken auf die Mineralisierung der OS (Tabelle 16).

Bei im Frühling gesäten bzw. gepflanzten Kulturen (Mais, Rüben, Sonnenblumen, Kartoffeln usw.) ist der Zeitraum zwischen Winterende und Saat, während dessen kein N von der Kultur aufgenommen wird, aber eine gute Mineralisierung der OS stattfindet, relativ lang. Wenn Niederschläge und Temperaturen während dieses Zeitraums für die Mineralisierung günstig sind, können die Reserven an mineralischem N zum Zeitpunkt der Saat sehr hoch sein (Maltas *et al.* 2015).. Tabelle 17 berücksichtigt diese Situation und beschreibt einen neuen Korrekturfaktor (f_{Fr}), der die Auswirkungen der Bedingungen im Frühling (Feuchtigkeit und Temperatur) auf die Mineralisierung der OS und die N-Verfügbarkeit aufnimmt.

Tabelle 11 | Korrektur der N-Düngung bei einem Zielertrag, der vom Durchschnittsertrag (Referenzertrag) abweicht.

Kultur	Korrektur der N-Düngung in Abhängigkeit des Ertrags (kg N/dt zusätzlicher Kornertrag)	Maximaler Zielertrag (dt Körner/ha)
Winterweizen (Brotgetreide)	1,0	80
Winterweizen (Futtergetreide)	1,0	95
Wintergerste	0,7	90
Winterroggen	0,8	80
Winterroggen (Hybridsorten)	1,2	90
Wintertriticale	0,3	95
Winterraps	3,0	45

Beispiel: Für einen erwarteten Ertrag von 75 dt/ha Winterweizen (Brotgetreide), d. h. 15 dt/ha Mehrertrag im Vergleich zum Referenzertrag, müssen zusätzlich zur Düngungsnorm 15 kg/ha N addiert werden.

Tabelle 12 | Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des Mineralisierungspotenzials der organischen Substanz (OS).

Mineralisierungspotenzial der OS	OS-Gehalt des Bodens (%)			Korrektur gegenüber Norm (kg N/ha)
	Ton < 15 %	Ton 15–30 %	Ton > 30 %	
schwach bis mittel	< 1,2	< 1,8	< 2,5	0 bis +40
mittel	1,2–2,9	1,8–3,9	2,5–5,9	0
mittel bis hoch	3,0–6,9	4,0–7,9	6,0–9,9	0 bis –40
hoch bis sehr hoch	7,0–19,9	8,0–19,9	10,0–19,9	–40 bis –80
sehr hoch	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	–80 bis –120

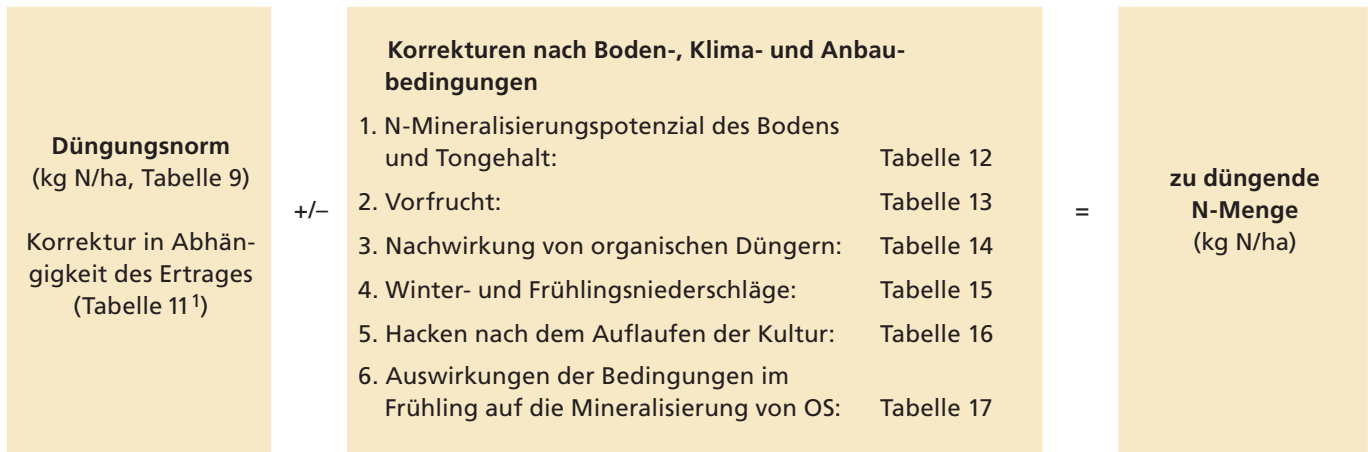


Abbildung 7 | Schematische Darstellung der Methode der korrigierten Normen (Schätzmethode). OS = organische Substanz. ¹Die Düngungsnorm wird nur für die in Tabelle 11 aufgeführten Kulturen in Abhängigkeit des Ertrages korrigiert.

Tabelle 13 | Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit der Vorkultur.

Vorkultur	Korrektur der Folgekultur (kg N/ha)	
	Umbruch/Einarbeitung	
	Herbst	Frühling
Natur- oder Kunstwiese (drei Jahre und älter)	-30	-40
Kunstwiese (zwei Jahre)	-20	-30
Kunstwiese (ein Jahr)	-10	-20
Natur- oder Kunstwiese (drei Jahre und älter) als Vor-Vorkultur ¹	-10	-10
vor Rispenschieben der Gräser gemulchte Kunstwiese		-30 bis -60 ²
vor Blüte der Gräser gemulchte Kunstwiese		-20 bis -40 ²
Getreide oder Mais (Stroh eingearbeitet) vor:		
- im Herbst gesäten Kulturen	+ 20	
- im Frühjahr (Februar–März) gesäten Kulturen	+ 10	
Körnerleguminosen (Eiweisserbsen, Ackerbohnen, Sojabohnen, Lupinen) vor:		
- im Herbst gesäter frühreifer Kultur	40 bis 60	
- im Herbst gesäter spätreifer Kultur	20 bis 40	
- im Frühjahr gesäter bzw. gepflanzter Kultur	0 bis 20	
Rüben (Kraut eingearbeitet)	-20	
Gründüngung mit nicht winterharten Arten (Phacelia, Gelbsenf)	-10	0
Gründüngung mit nicht winterharten Leguminosen	-20	-10
Gründüngung mit winterharten Arten (Raps, Rübsen usw.)	0	-20
Gründüngung mit winterharten Leguminosen	0	-30
Faserhanf	-10	
Kartoffeln	-10	
andere Vorkulturen ³	0	

¹ Diese Korrektur kann zu einer anderen Korrektur dieser Tabelle addiert werden.

² Kleinerer Wert: bei geringem Leguminosenanteil; grösserer Wert: bei hohem Leguminosenanteil.

³ Getreide (abgeführtes Stroh), Silomais, Raps, Sonnenblumen, Sojabohnen, Tabak usw.

Die Vorgehensweise bei der Anwendung dieser Methode zur Optimierung der N-Düngung im Ackerbau ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt.

3.1.2.2 N_{min}-Methode

Die zweite Methode zur Berechnung der erforderlichen N-Menge beruht auf der Messung des mineralischen N im Boden (N_{min}-Methode). Diese Methode beruht auf einem Referenzwert (Schwelle), von dem N_{min} subtrahiert wird. N_{min} entspricht dabei der Messung der Reserven von mineralischem N im Boden zu einem gegebenen Zeitpunkt (vor

der ersten N-Gabe). Der Referenzwert ist höher als die Düngungsnorm, da er den N_{min}-Betrag miteinbezieht. Er wurde mit zahlreichen Feldversuchen ermittelt, bei denen die N_{min}-Messung mit der optimalen N-Menge in Beziehung gesetzt werden konnte (Neeteson 1990). Im Vergleich zur Methode der korrigierten Normen hat dieser Ansatz den Vorteil, dass N_{min} im Boden direkt gemessen werden kann und keine Schätzungen aufgrund von Tabellen mit Referenzwerten erforderlich sind. Der Zeitpunkt und die Tiefe der Entnahme von Proben für die N_{min}-Bestimmung hängen von der Kultur ab (Tabelle 18).

Tabelle 14 | Korrektur der Stickstoff-Normdüngung infolge Nachwirkung organischer Dünger.

Die Stickstoffwirkung der Hofdünger im Anwendungsjahr ist in Tabelle 7 von Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern enthalten.

Organischer Dünger	Anteil (%) des ausgebrachten Gesamtstickstoffs, der im zweiten Jahr nach der Ausbringung pflanzenverfügbar wird und von der Normdüngung abzuziehen ist
Vollgülle und kotarme Gülle (Rindvieh)	10
Stapelmist und Laufstallmist	10
Rottemist	15
Mistkompost	20
Pferdemist	5
Schaf- und Ziegenmist	10
Schweinegülle und Schweinemist	10
Hennenkot (Kotband)	10
Hennenmist (Bodenhaltung)	10
Geflügelmist (Mast), Poulet, Truten	5
Kompost	0
Ricokalk	10

Tabelle 15 | Korrektur der Stickstoff-Normdüngung in Abhängigkeit der Winter- und Frühjahrsniederschläge.

Kultur	Korrektur der N-Düngung (kg N/ha)			
	Niederschlagsperiode und -intensität			
	Winterruhe (November–Januar)		Vegetationsbeginn/Saat (März–Mai)	
	gering (< 60 mm/Monat)	hoch (> 90 mm/Monat)	gering (< 60 mm/Monat)	hoch (> 90 mm/Monat)
Winterraps	-10	+10	0	0
Wintergetreide	-20	+20	0	0
Sommergetreide	-20	0	-10	+10
Frühkartoffeln	-20	+10	-10	+30
Rüben, Mais, Kartoffeln (Pflanzkartoffeln, Kartoffeln für Speisezwecke und technische Verarbeitung)	0	+10	-10	+30

Tabelle 16 | Zusätzliche N-Nachlieferung des Bodens durch mehrmaliges Hacken nach dem Auflaufen der Kultur in Abhängigkeit des Gehaltes an organischer Substanz des Bodens.

OS-Gehalt des Bodens (%)	Korrektur der N-Düngung (kg N/ha)
< 8	-10
8–20	-15
> 20	-20

Für ein einmaliges Hacken von Rüben, Kartoffeln und Mais sind diese Korrekturen nicht zu verwenden, da in den meisten Versuchen, die den N-Normen zugrunde liegen, diese Kulturen einmal gehackt wurden.

Tabelle 17 | Korrektur der N-Normdüngung in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen im Frühling (Feuchtigkeit und Temperatur) und des Bodenzustands.

Bedingungen im Frühling	Korrektur der N-Düngung (kg N/ha)
warmer Frühling mit ausreichend mit Wasser versorgtem und gut strukturiertem Boden	-20
durchschnittliche Bedingungen	0
kalter Frühling mit sehr feuchtem oder sehr trockenem Boden mit ungünstiger Struktur	+20

Tabelle 18 | Zeitpunkt und Probennahmetiefe für die N_{min}-Bestimmung.

Kultur	Zeitpunkt der Probennahme	Probennahmetiefe (cm) ¹
Wintergetreide, Raps	kurz vor Vegetationsbeginn	0–30, 30–60, 60–90
Sommergetreide		0–30, 30–60, 60–90
Rüben ²	4- bis 6-Blattstadium	0–30, 30–60, 60–90
Mais ²	5- bis 6-Blattstadium (nur voll entwickelte Blätter zählen!)	0–30, 30–60, 60–90
Kartoffeln	kurz vor der Pflanzung	0–30, 30–60

¹ In der Praxis wird die Beprobung z. T. nur noch bis auf 60 cm Bodentiefe vorgenommen. Dabei sind an diese Probennahmetiefe angepasste Sollwerte für die Bestimmung der N-Gaben zu verwenden. Diese sind bei den entsprechenden Beratungsdiensten oder Bodenlabors erhältlich.

² Die N_{min}-Methode liefert nur bei geringer N-Düngung (höchstens 40 kg N/ha) kurz vor oder zur Saat beziehungsweise Pflanzung zuverlässige Ergebnisse.

Tabelle 19 | Stickstoffdüngung im Getreidebau aufgrund des N_{\min} -Gehalts des Bodens.

Kultur	Erste N-Gabe	Zweite N-Gabe ¹	Dritte N-Gabe ^{1,2}
	kg N/ha		
Winterweizen	120 – N_{\min}	30	40
Sommerweizen, Dinkel	110 – N_{\min}	30	40
Wintergerste	80 – N_{\min}	30	40
Wintertriticale	90 – N_{\min}	30	40
Sommergerste, Winterroggen, Sommertriticale	80 – N_{\min}	30	30
Hafer	100 – N_{\min}	30	30

Die oben stehenden Empfehlungen gelten nur unter folgenden Voraussetzungen:

- Ertragspotenzial des Standortes: den Angaben in Tabelle 9 entsprechend oder höher
- Risiko der Lagerung minimal (eventuell Einsatz von Wachstumsregulatoren)
- Ertragsausfälle durch Krankheiten & Schädlinge minimal (Sortenwahl, Anbautechnik, Fruchtfolge, eventuell Einsatz von Pflanzenschutzmitteln)
- OS-Gehalt des Bodens unter 5 %, pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens über 70 cm.

Bei speziellen Fällen sind Abzüge vorzunehmen (die Abzüge sind nicht additiv, der maximale Abzug pro Gabe beträgt 30 kg N/ha):

Korrekturgrund	Erste N-Gabe	Zweite N-Gabe	Dritte N-Gabe
	kg N/ha		
mehrfährige Kunstwiese oder Naturwiese als Vorfrucht	-20	-10	-20
Boden mit 5–20 % organischer Substanz	-10	-20	-20
pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens unter 70 cm oder geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes (Grenzlagen des Ackerbaus)	-10	-10	-20
genereller Verzicht auf Wachstumsregulatoren	-10 ³ bis -20 ⁴	-10	0

Die Angaben zur Aufteilung der N-Düngung sowie zu den maximalen Mengen pro Gabe befinden sich in Tabelle 26.

¹ In Abhängigkeit der allgemeinen Wachstumsbedingungen und der Entwicklung der Kulturen können diese N-Gaben um 10 kg N/ha reduziert oder erhöht werden.

² Bei stärkerem Krankheitsbefall ist auf die dritte N-Gabe zu verzichten.

³ Gerste, Triticale, Roggen.

⁴ Weizen, Dinkel, Hafer.

Tabelle 20 | Stickstoffdüngung von Hackfrüchten aufgrund des N_{\min} -Gehaltes des Bodens (Probennahmetiefe 0–90 cm).

Kultur	Erste N-Gabe (kg N/ha)	Zweite N-Gabe ¹ (kg N/ha)
Mais	0–30	$N_{\min} > 120$: 200 – N_{\min} $N_{\min} < 120$: 180 – N_{\min}
Zucker- und Futterrüben	0–30	180 – N_{\min}
Kartoffeln für Speisezwecke und technische Verarbeitung	200 – N_{\min} (bei Pflanzung)	
Früh- und Pflanzkartoffeln	180 – N_{\min} (bei Pflanzung)	
Winterraps	0–40 (bei Saat)	160 – N_{\min}

Korrekturen für erhöhten OS-Gehalt des Bodens und niedriges Ertragspotenzial des Standortes:

OS-Gehalt des Bodens 5–20 %	0 bis -30	-20 bis -40
geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes	0	-20 bis -40

Für eine eventuelle N-Nachwirkung von Zwischenkulturen, Gründüngung oder Hofdünger sind keine Korrekturen vorzunehmen; diese N-Nachwirkung wird bei der Bestimmung des N_{\min} -Gehaltes des Bodens grösstenteils erfasst.

Die Angaben bezüglich Aufteilung der N-Gaben und Höchstmenge pro Einzelgabe in Tabelle 26 sind zu beachten. Die erste N-Gabe erfolgt in der Regel zur Saat oder Pflanzung; sie kann jedoch bei hoher N-Nachlieferung durch die Vorkultur und/oder bei generell hohem N-Mineralisierungspotenzial des Standorts auch weggelassen werden. Die zweite Gabe wird rasch nach Empfang der Ergebnisse der N_{\min} -Analyse verabreicht (Termin für die Probennahme: vgl. Tabelle 18).

¹ Eine Aufteilung in zwei Teilgaben ist zu empfehlen, insbesondere auf Böden mit einer pflanzennutzbaren Gründigkeit von weniger als 70 cm sowie in Gebieten mit höheren Niederschlägen (mehr als 260 mm in der Periode April bis Juni). Je nach Witterung und Wachstumsverhältnissen sind die Teilgaben im Abstand von zwei bis vier Wochen auszubringen.

Die N_{\min} -Messung berücksichtigt die spezifischen Eigenschaften der Parzelle und die klimatischen Verhältnisse direkt, da die Auswirkungen der verschiedenen Faktoren, die bei der Methode der korrigierten Normen einbezogen werden, bei dieser Messung bereits enthalten sind. Zwar vereinfacht diese Methode die Berechnung der optimalen N-Menge, sie vernachlässigt aber die Auswirkungen dieser Faktoren nach dem Zeitpunkt der Messung. Um diesem Aspekt Rechnung zu tragen, werden wie bei der Methode der korrigierten Normen Korrekturfaktoren angewendet. Die Zahl dieser Faktoren ist allerdings begrenzt und es werden nur negative Korrekturen einbezogen (Tabellen 19 und 20). Für Raps konnten die Ergebnisse durch die Einführung eines neuen Korrekturfaktors verbessert werden, der den Zustand von Raps zum Zeitpunkt der N_{\min} -Probennahme berücksichtigt (siehe Kapitel 3.1.3).

Die N_{\min} -Bestimmung berücksichtigt den in verschiedenen Bodenschichten enthaltenen N in Form von Nitrat- ($N-NO_3$) oder Ammonium-Stickstoff ($N-NH_4$). Für eine sichere Anwendung der N_{\min} -Methode ist einigen Punkten besondere Beachtung zu schenken. So müssen Zeitpunkt und Tiefe der Probennahme beachtet werden (Tabelle 18). Angesichts der möglichen Variationen der Bodeneigenschaften müssen mindestens zehn bis zwölf Einstiche pro Parzelle vorgenommen werden, damit die Stichprobe repräsentativ ist. Der Anteil der Steine in den Proben muss objektiv abgeschätzt werden. Die Proben müssen dem Labor unverzüglich und gut vor Erwärmung geschützt in einer Kühltasche oder gefroren übergeben werden. Die Ergebnisse werden in kg $N-NO_3$ und kg $N-NH_4/ha$ ausgedrückt. Von der Verwendung von Schnelltests zur Bestimmung von N_{\min} des Bodens wird abgeraten, auch wenn sie bestätigt sind, weil diese Tests zu ungenau sind.

3.1.3 Andere Steuerungsinstrumente für die Stickstoffdüngung

3.1.3.1 Methode der prognostizierten Bilanz

Die Methode der prognostizierten Bilanz strebt ein Gleichgewicht zwischen dem N-Bedarf der Kultur und dem durch Düngung und Boden zur Verfügung gestellten N an (CO-MIFER 2013). Dazu sind eine präzise Beurteilung des N-Bedarfs der Kultur für einen bestimmten Ertrag sowie eine Schätzung der N-Menge, die der Kultur vom Boden während des Wachstums zur Verfügung gestellt wird, erforderlich. Der mineralische N des Bodens (N_{\min}) kann geschätzt oder gemessen werden, je nach methodischem Ansatz und verfügbaren Mitteln. Diese Methode bietet eine interessante Möglichkeit, da sie es ermöglicht, die vielfältigen, in der Praxis auftretenden Situationen zu berücksichtigen, und selbst während der Vegetationsperiode für aufgeteilte Düngergaben angewendet werden kann (Schvartz *et al.* 2005). Die Methode wird jedoch selten eingesetzt, weil sie einen Kompromiss zwischen einer einfachen Anwendung (Nutzung von Tabellen mit Referenzwerten oder N_{\min} -Methode) und einer komplexen Anwendung (Nutzung eines Simulationsmodells) darstellt (Burns 2006). Zwei Probleme erschweren das Aufstellen einer Bilanz: (i) die präzise Quantifizierung des N, der durch den Boden geliefert wird, und (ii) die Einschätzung des N-Bedarfs aus-

gehend von einem *a priori* festgesetzten Ertragsziel, das sich während der Vegetationsperiode verändern kann. Ein dynamisches Modell, das Anpassungen im Verlaufe der Vegetationsperiode zulässt, wäre deshalb präziser und besser geeignet.

Gegenwärtig lässt sich diese Methode unter den schweizerischen Bedingungen nur für Zuckerrüben nutzen. Mit einem Online-Tool kann eine prognostizierte Bilanz mit Empfehlungen und relativ detaillierten individuellen Daten erstellt werden. Das Tool lässt sich über die Website der Schweizerischen Fachstelle für Zuckerrübenbau aufrufen: http://www.liz-online.de/fileadmin/user_upload/funktions-html/npro/npro.htm.

3.1.3.2 Simulationsmodelle

Dynamische Simulationsmodelle prüfen die Auswirkungen der Witterung, des Bodens, der Anbaumethoden und der Interaktionen zwischen diesen drei Variablen auf die Produktion der Kulturen und auf die Umwelt. Diese Modelle können automatisch den Einfluss der Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Boden auf N-Angebot und N-Bedarf während des Wachstums berücksichtigen. Die Empfehlungen können auch auf die Boden- und Klimabedingungen der Parzelle abgestimmt werden, da diese Modelle Daten zur Bodenart, zur Anbaumethode und zu den klimatischen Bedingungen berücksichtigen. Solche Simulationsmodelle haben ein grosses Potenzial. Wegen der Unsicherheiten bezüglich der betrachteten Parameter und der Gleichungssysteme sind diese dynamischen Modelle jedoch oft ungenau (Naud *et al.* 2008). Die Entwicklung mehrerer Modelle in Europa zeigt das wachsende Interesse an dynamischen Simulationsmodellen. Zu diesen vielversprechenden dynamischen Modellen gehört auch die französische Software AzoFert® (Machet *et al.* 2003), die auf einer vollständigen Bilanzierung von N_{\min} beruht und die Entwicklung des N-Angebots und des Pflanzenwachstums einbezieht. Das Software-Konzept sieht eine Anpassung an die unterschiedlichen Situationen des Anwenders betreffend Boden, klimatische Verhältnisse und Anbausystem vor. Die Prüfung der Leistung dieser Software unter schweizerischen Bedingungen mit einer im Norden Frankreichs verwendeten Version von AzoFert® hat gezeigt, dass sie eine ausreichend genaue Vorhersage der optimalen N-Menge liefert, die der Prognose nach der Methode der korrigierten Normen oder nach der N_{\min} -Methode mindestens ebenbürtig ist. In einem anderen schweizerischen Kontext, namentlich in Bezug auf klimatische, bodenkundliche und anbautechnische Bedingungen, vermag das Werkzeug sein Potenzial wenig überraschend nicht auszuschöpfen (Maltas *et al.* 2015).

3.1.3.3 Instrumente zur Entscheidungshilfe

Trotz aller Bemühungen, das N-Angebot des Bodens so präzise wie möglich zu schätzen, bleibt der mit einer gewissen Unsicherheit verbundene Vorhersagecharakter einer Bilanz oder einer prognostizierten Norm bestehen. Mit ergänzenden Instrumenten können Variationen aufgrund klimatischer und anderer Faktoren während der Vegetationsperiode berücksichtigt werden. Gemäss Schvartz *et al.* (2005) zeigen Feldversuche, dass mit Hilfe von Me-

thoden wie JUBIL[®], Hydro N-Tester, Héliotest und doppelte Saaddichte die Zuverlässigkeit der prognostizierten N-Bilanz in Frankreich verbessert werden kann. Diese ergänzenden Instrumente sind jedoch auf spezifische Kulturen zugeschnitten und können nicht einfach für eine Anwendung bei allen Ackerkulturen verallgemeinert werden.

Düngungsfenster (markierte Fläche von etwa einer Are) mit reduzierter N-Düngung (–40 kg N/ha) oder keiner N-Düngung können als Entscheidungs- und Kontrollinstrument gute Dienste leisten. Dabei ist für jede Einzelgabe ein neues Fenster anzulegen. Der Vergleich zwischen den Beständen inner- und ausserhalb des Düngefensers gibt insbesondere im Getreidebau Hinweise zur Optimierung der folgenden N-Gabe. Ein etwas modifiziertes Konzept wird für Sonnenblumen angewendet. Bei *Héliotest* (Terres Inovia) wird ein zur Saat gedüngter Streifen mit der übrigen, ungedüngten Parzellenfläche visuell verglichen. Vom 6- bis 14-Blattstadium werden die unterschiedlich gedüngten Pflanzen beobachtet (Farbe, Pflanzhöhe, Bestandesdichte). Aufgrund des Stadiums, bei dem Unterschiede auftreten, wird die nötige zusätzliche N-Gabe geschätzt. Je früher die visuellen Unterschiede auftreten, desto grösser dürfte der N-Mangel sein. Aufgrund des Nachlieferungsvermögens des Bodens und des Bedarfs der Kultur (bei der Reife werden 4,5 kg N pro Tonne produzierter Körner von den Pflanzen aufgenommen) kann nach der Methode der korrigierten Normen die erforderliche N-Menge berechnet werden, und zwar in Abhängigkeit vom Stadium, bei dem die visuellen Unterschiede aufgetreten sind, und von der Ertragsersparnis (Pellet und Grosjean 2007).

Doppelte Saaddichte: Diese Methode, die im Getreidebau eingesetzt wird, basiert auf dem Auftreten eines Mangels in einer Kontrollparzelle mit doppelter Saaddichte. Dabei wird zum Zeitpunkt der Saat eine kleine Fläche festgelegt, auf der mit doppelter Dichte gesät wird. Es lässt sich annehmen, dass bei der doppelten Dichte mehr N entzogen wird als bei normaler Dichte. Der im Boden zur Verfügung stehende N wird also schneller erschöpft sein. Dies führt dazu, dass auf der Kontrollfläche N-Mangel (Gelbfärbung der Blätter) früher auftritt als bei der Fläche mit einfacher Saaddichte. Ab diesem Zeitpunkt wird die erste N-Gabe verabreicht. Bei gleich hoher N-Gabe in der Normal-Saat und der doppelt gesäten Kontrollparzelle nimmt man an, dass auf letzterer der N-Mangel erneut früher eintritt. Dadurch kann der Zeitpunkt für die zweite N-Gabe festgelegt werden (Limaux *et al.* 1999).

Pflanzensaftanalyse: Diese Methode misst mit Hilfe von Schnelltests (Nitrachek, Jubil[®] oder andere) den Nitratgehalt des Pflanzensaftes. Im Getreidebau wird dazu zu be-

stimmten Zeitpunkten Pflanzensaft an der Halmbasis entnommen. Dank einer sortenspezifischen Eichung können diese Resultate wertvolle Hinweise zur Bemessung der N-Gaben geben (Pellet 2000a & b).

Chlorophyllmessungen: Bei der Chlorophyllmessung mit einem Schnelltest (N-Tester; Yara, 2008) wird die Farbin-tensität der Blätter gemessen, um den Ernährungszustand der Pflanzen zu bestimmen. Dazu ist eine sortenspezifische Eichung erforderlich. Die Farbe der Blätter wird aber auch durch andere Faktoren als die N-Versorgung (z. B. S-Versorgung) beeinflusst. Dies erschwert eine zuverlässige Interpretation der Messwerte.

Farmstar: Farmstar ist ein weiteres, noch aktuelleres Instrument, das von Astrium (Airbus Defence & Space) und vom pflanzenbaulichen Institut ARVALIS (Frankreich) entwickelt wurde und auf Satellitenbildern beruht. Es schätzt den Chlorophyllgehalt der Pflanzendecke, der mit dem Blattflächenindex (LAI) korreliert ist, indem Messungen mit Sensoren durchgeführt werden, die sich an Bord von Satelliten befinden. Die gesammelten Daten mit räumlicher Zuordnung sind sehr präzise und werden für Modelle verwendet, die zwei landwirtschaftliche Parameter berechnen: (i) die Biomasse und (ii) den N-Status der Pflanzendecke. Für die Festlegung der N-Düngung erfolgt die Diagnose zu Beginn des Schossens (April). Die Empfehlung wird in Form einer Karte zu jeder Parzelle geliefert, auf der die Variabilität der empfohlenen Düngermenge innerhalb der Parzelle sichtbar ist, sowie eine durchschnittliche Düngermenge für die gesamte Parzelle für Landwirtschaftsbetriebe, welche die Ausbringung nicht variieren können.

Réglette Azote Colza (Terres Inovia): Mit dieser Methode lässt sich die N-Düngermenge für Raps im Frühling berechnen, wobei der im Herbst bereits aufgenommene N mit Hilfe einer Wägung der oberirdischen Pflanzenteile am Ende des Winters berücksichtigt wird. Diese Methode ermöglicht eine deutliche Reduktion der N-Düngung von Rapskulturen, die sich vor dem Winter bereits stark entwickelt haben, ohne den Ertrag zu gefährden. Das Werkzeug steht im Internet gratis zur Verfügung (regletteazotecolza.fr). Für eine allgemeine Anwendung ist eine Abstimmung auf die Gegebenheiten des Bodens und die klimatischen Verhältnisse der Schweiz erforderlich (Micheneau *et al.* 2016).

3.2 Phosphor-, Kalium- und Magnesiumdüngung

Im Gegensatz zur N-Düngung beruht die Düngung von Ackerkulturen mit P, K und Mg auf zwei wichtigen Kriterien: (i) der Nährstoffentzug durch die Kultur und (ii) dem Ergebnis der Bodenuntersuchung.

Entzug

$$\frac{\text{Referenzertrag} \times \text{Konzentration in der Pflanze}}{(\text{Düngungsnorm} \times \text{Korrektur Boden}) - \text{Rückstände Vorjahr}} \times \text{Korrektur Kultur} = \text{Düngungsnorm}$$

Abbildung 8 | Vorgehen zur Berechnung der Düngungsnorm für P, K und Mg.

Ausserdem werden das Nährstoffaneignungsvermögen der Kulturen und die Ernterückstände des Vorjahres berücksichtigt (Abbildung 8).

3.2.1 Bestimmung der Düngungsnorm

Die Grundlage für die Abschätzung der Düngung mit P, K und Mg ist der Bedarf der Kultur, das heisst der Entzug von P, K und Mg (Tabelle 9). Dieser Entzug wird durch ein Ertragsziel (Referenzertrag) und die Nährstoffkonzentration der geernteten Pflanzenprodukte (Anhang 1) bestimmt. Um genetische Verbesserungen der Kulturen und die Entwicklung der Anbautechniken zu berücksichtigen, ist es sinnvoll, die Referenzerträge bei jeder Ausgabe dieses Dokuments zu aktualisieren. Auch die Nährstoffkonzentration der verschiedenen Produkte der Ackerkulturen muss regelmässig mit Hilfe von Düngungsversuchen bei optimalen Bedingungen, und nicht anhand von Ergebnissen der Praxis, regelmässig geprüft werden.

Das Nährstoffaneignungsvermögen unterscheidet sich je nach Pflanzenart. Selbst wenn die Menge eines im Boden verfügbaren Nährstoffs theoretisch ausreicht, den Bedarf der Pflanze zu decken, sind bestimmte Kulturen nicht in der Lage, die für ihr Wachstum notwendigen Mengen zu entnehmen, während andere Kulturen mehr als die ei-

Tabelle 21 | Korrekturfaktoren der Normdüngung für P, K, Mg nach Kultur.

Kultur	P	K	Mg
Wintergetreide	1,0	0,8	1,0
Mais	1,2	1,0	1,0
Kartoffeln	1,2	1,2	1,2
Zucker- und Futterrüben	1,0	0,8	1,0
Körnerleguminosen	1,0	1,2	1,0
Zwischenfrüchte	1,0	0,8	1,2
übrige Kulturen	1,0	1,0	1,0



Feld mit Langzeitversuch zur P- und K-Düngung (Foto: Agroscope).

gentlich erforderliche Menge aufnehmen können. Der aktuelle Ansatz der GRUD legt die Klasse «genügende Bodenversorgung» unabhängig von der Kultur fest. Aus diesem Grund muss ein Korrekturfaktor angewendet werden, um den Bedarf und das Aneignungsvermögen der Kulturen zu berücksichtigen. Die in Tabelle 21 vorgeschlagenen Korrekturfaktoren wurden empirisch auf der Grundlage von Expertenwissen festgelegt.

3.2.2 Korrektur der Düngungsnorm in Abhängigkeit von Bodenanalysen

Mit Bodenanalysen lassen sich die Düngungsnormen für P, K und Mg in Abhängigkeit der Verfügbarkeit des betreffenden Nährstoffs im Boden anpassen. Bei P beispielsweise ist der tatsächlich verfügbare Anteil stets ein etwas theoretischer Begriff, weil es keine allgemeingültige Methode zur Bestimmung des verfügbaren P gibt, bei der gleichzeitig die Vielfältigkeit des Bodens, der klimatischen Bedingungen und der Kulturen präzise erfasst wird (Demaria *et al.* 2005; Frossard *et al.* 2004). Die Mehrzahl der Länder konzentriert sich auf eine begrenzte Anzahl (in der Regel zwei) Extraktionsmittel und auf eine Interpretation der Resultate, die für die häufigsten Bodeneigenschaften gilt. Seit der ersten Veröffentlichung der GRUD wurde die Versorgungsklasse des Bodens aufgrund der Extraktion mit CO₂-gesättigtem Wasser festgelegt (Dirks und Scheffer 1930). Seit 1995 ist die AAE10-Extraktionsmethode (Agroscope 1996) die neue offizielle Standardmethode.

3.2.2.1 Korrektur der P- und K-Normdüngung aufgrund der CO₂-Methode

Die Anpassung der Normdüngung an den Nährstoffvorrat im Boden (Versorgungsklasse) wird für die CO₂-Methode mit Hilfe der Korrekturfaktoren der Tabellen 10 und 11 des Moduls 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen vorgenommen. Diese Korrekturfaktoren gelten für die meisten Böden des schweizerischen Mittellands, der Voralpen und des Jura, die einen OS-Gehalt von weniger als 10 % aufweisen. Für Böden mit einem OS-Gehalt über 10 % sind die Daten der Tabelle 9 von Modul 2 zu verwenden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass schluffige Böden aus Bündner-Schiefer-Verwitterung sowie saure, sandige Böden im Kanton Tessin eine spezielle Beurteilung für P benötigen. Die entsprechenden Korrekturfaktoren für die P-Düngung sind in Tabelle 10 von Modul 2 enthalten.

3.2.2.2 Korrektur der Mg-Normdüngung aufgrund der CaCl₂-Methode

Die Interpretation der Analyseergebnisse beziehungsweise die Korrektur der Normdüngung ist wie bei P und K vom Tongehalt des Bodens abhängig. Aufgrund der Eigenschaften des Extraktionsmittels (Austauschlösung) steigt die optimale Versorgung des Bodens (Korrekturfaktor 1,0) mit zunehmendem Tongehalt an (Modul 2, Tabelle 12).

3.2.2.3 Korrektur der P-, K- und Mg-Normdüngung aufgrund der AAE10-Methode

Die Anpassung der Düngungsnorm für P, K und Mg erfolgt mit Hilfe der Korrekturfaktoren der Tabellen 16 bis 18 von Modul 2 aufgrund des P-, K- beziehungsweise Mg-Gehalts

Tabelle 22 | Kriterien zur Beurteilung des Risikos eines Schwefelmangels und zur Abschätzung des Schwefelbedarfs der Kulturen.

Kriterium	Ausprägung des Kriteriums	Punkte
OS-Gehalt des Bodens (%)	< 2	1
	2–5	3
	> 5	5
Tongehalt des Bodens (%)	< 10	1
	10–30	3
	> 30	5
Skelettgehalt des Bodens (Volumen-%)	> 30	1
	10–30	3
	< 10	5
pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens (cm)	10–30	1
	31–70	5
	> 70	7
Niederschläge von Oktober (Vorjahr) bis März (mm)	> 540	1
	370–540	3
	< 370	5
Hofdüngereinsatz	nie	1
	weniger als ein Mal in drei Jahren	3
	mindestens ein Mal in drei Jahren	5
Abweichung der effektiven gedüngten von der vorgesehenen Stickstoffdüngermenge ¹	Erhöhung > 40 kg N/ha	1
	empfohlene Menge +/- 40 kg N/ha	3
	Reduktion > 40 kg N/ha	5

Die Punkte für jedes einzelne Beurteilungskriterium sind zu addieren und die Summe mit den Angaben in Tabelle 23 zu vergleichen.

¹ N-Düngermenge abgeleitet mit Hilfe der Schätzmethode oder der N_{\min} -Methode.

sowie des Tongehalts des Bodens. Für Böden mit einem OS-Gehalt von über 10 % sind die Angaben in Tabelle 9 von Modul 2 zu beachten.

3.3 Schwefel

Der S-Bedarf der Kulturen wird heute hauptsächlich durch Ernterückstände, Hof- und Recyclingdünger sowie Mineraldünger gedeckt. In den Jahrzehnten vor 1980 kam es zusätzlich zu einem wesentlichen S-Eintrag über die Luft als Folge der Verbrennung von Kohle und Erdölprodukten. Die Einträge bewegten sich in einer Grössenordnung von 30 bis 50 kg S/ha/Jahr. In der Nähe von städtischen Gebieten konnten sie bis zu 100 kg S/ha/Jahr erreichen. Dadurch wurde auch die S-Versorgung anspruchsvoller Kulturen (Tabelle 23) gesichert. Der Ersatz der Kohle durch Erdöl und vor allem der Beginn der Entschwefelung der Erdölprodukte in den 1980er-Jahren führten zu einer starken Reduktion des S-Eintrages durch den Regen. Als Folge davon ist S-Mangel heute bei bedürftigen Kulturen nicht selten zu beobachten.

3.3.1 Vorgehen zur Abschätzung des Risikos von Schwefelmangel

Der weitaus grösste Teil des S-Vorrates im Boden (> 95 % von S_{tot}) liegt in organischer Form vor (organische Substanz, organische Dünger). Die Pflanze nimmt S in Form

von Sulfat (SO_4^{2-}) auf. Durch die Berücksichtigung der Standorteigenschaften (Boden, Pflanze und Klima) lässt sich abschätzen, ob das Potenzial einer gegebenen Parzelle ausreicht, um den S-Bedarf der angebauten Pflanzen abzudecken. Als Grundlage dienen dabei (i) der OS-, Ton- und Skelettgehalt, (ii) die Gründigkeit des Bodens, (iii) die Niederschläge von Oktober bis März sowie (iv) die Häufigkeit des Hofdünger- und N-Düngereinsatzes. Durch einen Vergleich des Risikos eines S-Mangels (Tabelle 22) mit dem S-Entzug der Kulturen (Tabelle 23; Pellet *et al.* 2003a & b) lässt sich die Notwendigkeit einer S-Düngung abschätzen.

3.3.2 Form und Zeitpunkt der Schwefeldüngung

Da sich das von den Pflanzen aufnehmbare Sulfat im Boden sehr ähnlich wie Nitrat verhält, ist eine gezielte S-Düngung nach den Regeln der mineralischen N-Düngung durchzuführen. Die Grundversorgung des Bodens erfolgt oft durch Hofdünger (1 t Stallmist oder 1 m³ Rindervollgülle enthält etwa 0,3–0,4 kg S). Eine gezielte kulturspezifische S-Düngung erfolgt am sichersten durch die Verwendung schwefelhaltiger N-Dünger (Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Tabelle 13). Mineralische K-, Mg- oder Mehrnährstoff-Dünger mit ausreichendem S-Anteil sind ebenfalls gut geeignet (Modul 4). Bei bereits sichtbaren Mangelsymptomen kann eventuell eine Blattdüngung mit Magnesiumsulfat (Bittersalz) kurzfristig den S-Bedarf der Pflanzen teilweise decken.

Tabelle 23 | Schwefelentzug einiger Kulturen sowie Bemessung der Schwefeldüngung.

Kultur	S-Entzug (kg/ha)	Bemessung der S-Düngung nach Angebotspunkten (Tabelle 22) (kg S/ha)		
		< 15 Punkte	15–23 Punkte	> 23 Punkte
starkbedürftige Kulturen				
Raps	80	60	35	0
mittelbedürftige Kulturen				
Zucker- und Futterrüben	35	25	15	0
Luzerne	30	20	15	0
Mais	28	20	15	0
wenigbedürftige Kulturen				
Weizen	23	20	10	0
Gerste	20	10	0	0
Kartoffeln	20	10	0	0
übrige Kulturen	< 20	0	0	0

Tabelle 24 | Bemessung der B- und Mn-Düngung aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen, der Bodeneigenschaften und der Bedürftigkeit der Kulturen.

Nährstoff	Versorgungs-kategorie	Bezeichnung	Gehalt des Bodens (mg/kg)	OS-Gehalt des Bodens > 10 %					
				OS-Gehalt des Bodens < 10 %		saure und schwach saure Böden		neutrale und alkalische Böden	
				wenig bedürftige Kulturen	bedürftige Kulturen ¹	wenig bedürftige Kulturen	bedürftige Kulturen ¹	wenig bedürftige Kulturen	bedürftige Kulturen ¹
B	A	arm	< 0,6	1,5–2,0 kg B/ha ²	2,5–3,0 kg B/ha ²	1,5–2,0 kg B/ha ²	2,5–3,0 kg B/ha ²	1,5–2,0 kg B/ha ²	2,5–3,0 kg B/ha ²
	B	mässig	0,6–1,5	–	1,5–2,0 kg B/ha ²	–	2,0–2,5 kg B/ha ²	–	2,0–2,5 kg B/ha ²
	C D E	genügend reich sehr reich	1,6–2,0 2,1–5,0 > 5,0	–					
			austausch-bar	leicht reduzierbar					
Mn	A	arm	< 2	–	20–40 kg Mn/ha ³	30–50 kg Mn/ha ³	40–60 kg Mn/ha ³	10–15 kg Mn/ha ³	
	B	mässig	> 2	< 50	20–40 kg Mn/ha ³		20–40 kg Mn/ha ³	10–15 kg Mn/ha ³	
	C	genügend	> 2	> 50	–				

¹ B: Rüben, Raps, Sonnenblumen. Mn: Getreide, Leguminosen, Rüben.

² Bodendüngung: B kann als Borax gestreut, als Borsäure gespritzt (auf den Boden!) oder in Form von ausreichend borhaltigen Mehrnährstoffdüngern ausgebracht werden.

³ Eine Bodendüngung ist unter diesen Bodenverhältnissen meistens wirkungslos. Vorzuziehen ist die Blattdüngung (in 600 bis 1000 l Wasser pro ha). Oft ist eine mehrmalige Anwendung dieser Mengen notwendig. Anstelle von Mn-Sulfat (MnSO₄) können auch andere für die Blattdüngung geeignete Mn-Dünger eingesetzt werden (Anwendungsvorschriften beachten).

3.4 Bor, Mangan und andere Spurenelemente

Eine regelmässige Düngung mit Spurenelementen ist unter schweizerischen Verhältnissen in der Regel nicht notwendig. Die meisten Böden enthalten aufgrund der Zusammensetzung des Muttergesteins ausreichende Mengen an Spurenelementen, um optimale Erträge von einwandfreier Qualität zu erzielen. Unter speziellen Bedin-

gungen ist eine Düngung mit Bor (B) oder Mangan (Mn) notwendig. Insbesondere in alkalischen Böden ist eine B-Düngung von borbedürftigen Kulturen (Rüben, Raps, Sonnenblumen) in der Grössenordnung von 1,5 bis 2 kg B/ha empfehlenswert. Die Mn-Verfügbarkeit ist in alkalischen, humusreichen Böden stark eingeschränkt. Unsachgemässe Kalkgaben können auch zu ernsthaften Schwierigkeiten bezüglich der B- und Mn-Versorgung der Pflanzen führen.

In bestimmten Fällen ist es unumgänglich, dass der B- und Mn-Gehalt des Bodens bestimmt wird. Für die Interpretation der Ergebnisse dieser Analysen und die Bemessung der B- und Mn-Düngung kann Tabelle 24 gebraucht werden. Die Untersuchung des Bodens auf weitere Spurenelemente ist nur ausnahmsweise nach Rücksprache mit einem Beratungsdienst oder Agroscope angezeigt.

4. Ernterückstände

Die Düngungsnormen enthalten stets den Nährstoffbedarf der üblicherweise geernteten Haupt- und der anfallenden Nebenprodukte (Tabelle 9). Wenn die Nebenprodukte (Stroh, Stauden, Stängel, Kraut usw.) bei der Ernte auf dem Feld verbleiben, sind die enthaltenen Nährstoffmengen von der Düngungsnorm der nachfolgenden Kultur abzuziehen. Wie bei den Hofdüngern müssen die gesamten in den Ernterückständen enthaltenen P-, K- und Mg-Mengen (Tabelle 9) im Düngungsplan berücksichtigt werden. Bei der Verwendung der Methode der korrigierten Normen sind die in den Ernterückständen enthaltenen N-Mengen, die der Folgekultur zur Verfügung stehen, gemäss den in Tabelle 13 angegebenen Werten zu berücksichtigen. Bei teilweiser Abfuhr der Nebenprodukte kann der auf dem Feld verbleibende Anteil geschätzt werden.

5. Düngung in der Praxis

Bei der Planung der Düngung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb müssen die betriebsspezifischen Eigenheiten berücksichtigt werden. Ein Düngungsplan muss auf die Anforderungen des Betriebstyps (Ackerbaubetrieb, Futterbaubetrieb mit Hofdüngern, gemischter Acker-/Futterbaubetrieb), der Eigenschaften der Böden, der Standortfaktoren der Parzellen (Exposition, Neigung), das Anbausystem (wie konventionell oder biologisch), das Klima usw. abgestimmt werden. Die Kenntnis der realisierbaren Erträge, des Versorgungszustands der Böden sowie der Mengen und Eigenschaften der organischen und mineralischen Dünger ist Voraussetzung für die Erstellung eines Düngungsplans.

5.1 Düngungsplan

Die vielseitigen Anforderungen und Randbedingungen für eine zweckmässige, gezielte, pflanzengerechte und umweltschonende Düngung lassen sich am besten auf der Grundlage eines alljährlich sorgfältig erstellten Düngungsplanes realisieren. Entsprechende Formulare und Informatikprogramme sind bei den landwirtschaftlichen Beratungsdiensten und bei den meisten Laboren für Bodenanalysen erhältlich.

Vorgehen für das Aufstellen des Düngungsplans

1. Festlegen des Bedarfs der anzubauenden Kulturen in Abhängigkeit des Ertrags (Tabelle 9, 10 und 11).
2. Korrektur der Düngung für P, K und Mg (Tabelle 9) gemäss den Ergebnissen der Bodenuntersuchung (Mo-

dul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Tabellen 10 bis 18) und Abzug der Nährstoffe aus Ernterückständen der Vorkultur (Tabelle 13).

3. Anpassung der N-Düngungsnorm durch Anwendung der Korrekturfaktoren gemäss der Methode der korrigierten Normen (Tabellen 12 bis 17) oder aufgrund einer Bodenanalyse gemäss der N_{\min} -Methode (Tabellen 18 bis 20).
4. Schätzung des Nährstoffgehalts der Hofdünger (Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Tabelle 6) und der erforderlichen Gaben für jede Kultur.
5. Berechnung der Differenz zwischen dem Bedarf der zu düngenden Kultur und der Nährstoffzufuhr durch Hofdünger.
6. Wahl betriebsfremder Dünger (betriebsfremde Hofdünger, Recyclingdünger, Mineraldünger) und Berechnung der notwendigen Menge zur Deckung der Differenz unter Berücksichtigung ökologischer, bodenkundlicher, pflanzenbaulicher, arbeitstechnischer, wirtschaftlicher und gesetzlicher Aspekte.

Wenn für die Erstellung des Düngungsplans ein Informatikprogramm verwendet wird, ist es wichtig, vorher zu prüfen, ob dieses nach dem oben beschriebenen Ablauf vorgeht. In Tabelle 25 ist ein Beispiel eines Düngungsplans aufgeführt.

5.2 Wahl der Dünger

Die Wahl betriebsfremder Dünger stützt sich in erster Linie auf ihre Eigenschaften hinsichtlich der Ansprüche von Boden und Pflanze, wobei gleichzeitig die technischen Gegebenheiten berücksichtigt werden müssen. Die wichtigsten Kriterien für die Düngerwahl sind die spezifischen Eigenschaften und Ansprüche der verschiedenen Kulturpflanzen, die Eigenschaften des Bodens hinsichtlich der Speicherung der Nährstoffe in verfügbarer Form (pH, organische Substanz, Struktur, Versorgungszustand des Bodens usw.), die erwünschte Wirkungsgeschwindigkeit der Dünger sowie der Gehalt an erwünschten Nebenbestandteilen (Kalk, S, Spurenelemente) und unerwünschten Inhaltsstoffen (Schadstoffe). Die wirtschaftlichen Aspekte sollten nur bei Produkten mit ähnlichen Eigenschaften, die dieselben Anforderungen an die Düngung erfüllen, eine Rolle spielen. Angaben zu Eigenschaften und Wirkungen verschiedener Nährstoffformen und Dünger finden sich in den Tabellen 9 bis 12 des Moduls 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern.

5.2.1 Getreide

Bei Getreide lässt sich mit flüssigem Dünger, der N sowohl in Form von Nitrat als auch in Form von Harnstoff enthält, eine regelmässige N-Versorgung der Pflanze erreichen. Die Entwicklung dieser Anwendungsmethode wurde durch verschiedene Faktoren gebremst. Sie setzt entsprechende technische Einrichtungen voraus (Speicherung und Ausbringung von Flüssigdünger), und es besteht – je nach Stadium der Kultur und Witterungsbedingungen zum

Tabelle 25 | Beispiel eines Düngungsplans.

Düngungsbeschränkung	keine						
Nutzung	Bezeichnung	Fläche	Ertrag				
Parzelle	Hinter-dem-Wald	1,17 ha					
Vorkultur	Winterweizen, Stroh eingearbeitet	1,17 ha	60 dt/ha				
Zwischenkultur	nicht winterharte Gründüngung, Leguminose	1,17 ha	35 dt/ha				
Hauptkultur	Körnermais trocken	1,17 ha	100 dt/ha				
Bodenanalyse	Ergebnis	Einheit	Methode	Interpretation	Korrekturfaktor		
Jahr	2016						
Ton	20	[%]		mittel, toniger Schluff			
Schluff	70	[%]					
Sand	10	[%]					
pH	6,4	[H ₂ O]		neutral			
OS	4,5	[%]		mittel–hoch			
P	22,7	[mg/kg]	AA-EDTA	mässig	1,2 (Tab. 16, Modul 2)		
K	137	[mg/kg]	AA-EDTA	genügend	1,0 (Tab. 17, Modul 2)		
Mg	112,8	[mg/kg]	AA-EDTA	mässig	1,2 (Tab. 18, Modul 2)		
Bedarf [kg/ha] (+)				N	P	K	Mg
Düngungsnorm Zwischenkultur/Gründünger	(Tabelle 9)			0	0	0	0
Düngungsnorm Hauptkultur	(Tabelle 9)			110	38	195	25
Korrektur Ertrag Hauptkultur	(Tabelle 11)			0	0	0	0
Mineralisierungspotenzial	(Tabelle 12)	mittel bis hoch		–20	0	0	0
Vorkultur	(Tabelle 13)	Gründüngung		–10	0	0	0
Winter- und Frühjahrsniederschläge	(Tabelle 15)	hoch (März–Mai)		30	0	0	0
Hacken	(Tabelle 16)			0	0	0	0
Bedingungen im Frühling	(Tabelle 17)	warmer Frühling		–20	0	0	0
Korrekturfaktor	(gemäss Bodenanalyse)				1,2	1,0	1,2
(1) Summe korrigierter Bedarf				90	46	195	30
Beiträge aus dem Vorjahr [kg/ha] (–)				N	P	K	Mg
Bilanz des Vorjahres	(Werte > 0: Düngerüberschuss)			–	–15	–10	7
N-Nachwirkung	(Tabelle 14)			0	–	–	–
Ernterückstände der Vorkultur	(Tabelle 9)			0	6	62	5
freie Korrektur				0	0	0	0
(2) Summe der Beiträge aus dem Vorjahr				0	–9	52	12
(3) Korrigierter Gesamtbedarf = (1) – (2)				90	55	143	18
Beiträge durch Handelsdünger [kg/ha] (–)		Gabe/ha	N	P	K	Mg	
Ammoniumnitrat 27 %		3,30 dt/ha	89	0	0	0	
Kali-Magnesia (25 % K / 6 % Mg)		5,70 dt/ha	0	0	143	34	
Triplesuperphosphat (20 % P)		2,75 dt/ha	0	55	0	0	
(4) Summe der Düngergaben				89	55	143	34
Zu deckender Saldo = (3) – (4) (Werte > 0: Düngerdefizit)				1	0	0	–16
Bemerkungen							

Zeitpunkt der Ausbringung – das Risiko von Verätzungen sowie – je nach pH-Wert des Bodens – das Risiko von Verflüchtigung. Gegenwärtig wird mit Nachdruck an der Entwicklung von N-Düngern mit verzögerter Freisetzung gearbeitet. Solche Dünger könnten dazu beitragen, dass sich die heute empfohlene Aufteilung von Ammoniumnitrat-Düngern auf mehrere Gaben erübrigen würde (Tabelle 26).

5.2.2 Kartoffeln

Die Kartoffel ist eine säureliebende Pflanze und reagiert daher positiv auf sauer wirkende Düngemittel. Durch die Verwendung von sauer wirkenden Düngern wie zum Beispiel Ammoniumsulfat und/oder K-Sulfat auf gefährdeten Standorten kann der pH des Bodens oftmals etwas günstiger eingestellt werden (Fritsch 2003).

N-Dünger in flüssiger Form oder auf der Basis von Harnstoff ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) sind anfälliger gegenüber der Ammoniakverflüchtigung (NH_3) als Ammoniumnitrat-Dünger (NH_4NO_3). Die unterschiedliche Wirksamkeit dieser drei N-Verbindungen beruht hauptsächlich auf ihrer Anwendungsart. Durch das Einarbeiten des Düngers in den Boden beim Anhäufeln (Dammformung) können Verluste durch Verflüchtigung begrenzt oder sogar vermieden werden. In diesem Fall weisen die drei Formen eine vergleichbare Wirksamkeit auf. Wenn der Dünger dagegen ohne Einarbeitung in den Boden mehrere Tage vor oder nach dem Anhäufeln ausgebracht wird, bietet Ammoniumnitrat den Vorteil, dass insbesondere auch bei fehlenden Niederschlägen kaum Verflüchtigungsverluste auftreten.

Wenn die gesamte Düngermenge bei der Pflanzung oder beim Anhäufeln ausgebracht wird, ist die Verwendung von Harnstoff oder Ammoniumsulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ vorzuziehen, weil diese Formen den N langsamer freisetzen als Ammoniumnitrat.

Bei den K-Düngern haben K-Chlorid und K-Sulfat einen ähnlichen Einfluss auf den Ertrag. K-Chlorid-Dünger reduzieren die bräunliche Verfärbung beim Frittieren und senken auch leicht den Stärkegehalt. Im Gegensatz dazu kann mit einer K-Sulfat-Düngung der Stärkegehalt von Kartoffeln erhöht werden.

Bei den P-Düngern sind leicht lösliche, von der Pflanze gut aufnehmbare P-Formen vorzuziehen (Cohan 2014; Ryckmans 2009).

5.2.3 Mais

Aufgrund ihrer spezifischen und weit in den Herbst reichenden Wachstumszeit kann die Maispflanze organische Dünger, die ihre Nährstoffe langsam freisetzen, gut verwerten. Ebenso kann der aus dem Bodenvorrat mineralisierte N gut genutzt werden.

Unter den organischen Düngern tierischer Herkunft wie Gülle, Stallmist und Jauche kommt der Gülle die grösste Bedeutung zu. Wird Gülle vor der Saat ausgebracht, so



Unterschiedliche Düngungen auf einem Weizenfeld (Foto: Agroscope).

sollte dies möglichst nahe zum Saatzeitpunkt des Mais mit einer anschliessenden Einarbeitung erfolgen, um gasförmigen N-Verlusten vorzubeugen. Auch eine Ausbringung nach der Saat oder in den wachsenden Bestand ist sinnvoll, wenn sich eine sofortige Einarbeitung zwischen den Reihen anschliesst und so gut wie möglich verhindert wird, dass die Blätter mit Gülle benetzt werden, um Ammoniakverluste gering zu halten.

Aber auch Mineraldünger können problemlos – entsprechend dem Bedarf der Kultur und dem Vorrat des Bodens – eingesetzt werden. Bei der Platzierung eines Düngers mit leicht verfügbarem P und N in der Nähe des Samens kann die Jugendentwicklung vor allem in kalten Böden begünstigt werden.

5.3 Zeitpunkt und Aufteilung der Düngergaben

5.3.1 Getreide

Die N-Menge wird gewöhnlich in zwei bis drei Gaben aufgeteilt (Tabelle 26), die in spezifischen Stadien der Pflanzenentwicklung ausgebracht werden (Abbildung 1). Ihre Verwertung hängt von verschiedenen Faktoren ab, namentlich von den Niederschlägen, der Bodenart und der Entwicklung der Kultur. Verschiedene Studien zeigen, dass der Ausnutzungskoeffizient des N im Dünger im Verlaufe der Entwicklung der Kultur zunimmt, von 40–50 % im Stadium der Bestockung auf etwa 80 % beim Erscheinen des Fahnenblattes (Arvalis 2014).

In aktuellen Versuchen wurde gezeigt, dass die N-Menge und ihre Aufteilung einen wichtigen Einfluss auf den Kornertrag und die Proteinsynthese haben (Levy und Brabant 2016). Bei gleicher N-Menge führt eine späte Gabe zum Zeitpunkt der Blüte konsequent zu einem niedrigeren Ertrag als eine frühere Gabe. Eine dritte Gabe erhöht oft den Proteingehalt, was bei der Klasse Top wichtig ist. Bei gleicher N-Gesamtmenge (140 kg N/ha) erhöht eine hohe Gabe zum Zeitpunkt des Erscheinens des Fahnenblattes (80 kg N/ha anstelle von 40 kg N/ha) den Proteingehalt (um 0,4 Prozentpunkte) ohne den Ertrag zu beeinflussen

Tabelle 26 | Optimaler Zeitpunkt und Höchstmenge einzelner Stickstoffgaben für verschiedene Kulturen in Abhängigkeit von Niederschlags- und Bodenverhältnissen.

Kultur bzw. Gruppe von Kulturen	Trockenere Gebiete ¹ oder tiefgründigere Böden ²		Feuchtere Gebiete ³ oder flachgründigere Böden ⁴	
	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	maximale N-Gabe (kg N/ha)	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	maximale N-Gabe (kg N/ha)
Getreide, Hirse und Mais				
Wintergetreide	Herbst (vor/nach der Saat)	0	Herbst (vor/nach der Saat)	0
	Ende Winter bis Vegetationsbeginn	60	Vegetationsbeginn	60
	Beginn des Schossens bis ein Knoten	80	ein Knoten	70
	Erscheinen des letzten Blatts	80	Erscheinen des Fahnenblattes bis Ährenschieben	80
	keine dritte Gabe für Biskuitweizen		keine dritte Gabe für Biskuitweizen	
Sommergetreide	Saat	40	Saat	30
	Bestockung bis Beginn des Schossens	80	drei Blätter bis Beginn der Bestockung	50
	zwei Knoten bis Öffnen der Blattscheide	40	ein Knoten	40
			Erscheinen des letzten Blatts bis Beginn des Ährenschiebens	40
Hirse	Saat	40	Saat	40
	Bestockung	40	Bestockung	40
Körnermais und Silomais	Saat	80	Saat	40
	sechs bis acht Blätter	80	vier bis sechs Blätter	40
			sechs bis acht Blätter	80
Grünmais	Saat	60	Saat	40
	vier bis sechs Blätter	30	vier bis sechs Blätter	40
Knollen und Wurzelfrüchte				
Kartoffeln Speisezwecke und techn. Verarbeitung	Pflanzung	80	Pflanzung	40
	Auflaufen bis Staudengrösse 10 cm	80	Stauden 10–15 cm	80
			kurz vor dem Schliessen der Stauden in der Reihe	40
Frühkartoffeln	Pflanzung	60	Pflanzung	40
	Auflaufen bis Staudengrösse 10 cm	60	Stauden 5–10 cm	80
Pflanzkartoffeln	Pflanzung	50	Pflanzung	40
	Auflaufen bis Staudengrösse 10 cm	50	Stauden 5–10 cm	60
Zucker- und Futter- rüben	Saat	80	Saat	40
	vier bis sechs Blätter	80	vier bis sechs Blätter	60
			sechs bis acht Blätter	60
Öl- und Faserpflanzen				
Winterraps	Saat	0	Saat	0
	Ende Winter bis Vegetationsbeginn	80	Vegetationsbeginn	80
	Beginn der Streckung	80	Streckung (Pflanzenhöhe 30–40 cm)	80
Sommerraps	Saat	50	Saat	30
	Rosettenbildung bis Beginn der Streckung	80	Rosettenstadium	60
			Streckung (Pflanzenhöhe 30–40 cm)	40
Sonnenblumen	Saat	80	Saat	60
Ölhanf	Saat	40	Saat	40
	Pflanzenhöhe 15–20 cm	40	Pflanzenhöhe 15–20 cm	30
Faserhanf	Saat	50	Saat	40
	Pflanzenhöhe 15–20 cm	70	Pflanzenhöhe 15–20 cm	80

¹ Niederschlagssumme von Januar bis Juni unter 450 mm.

² Speichervermögen an leicht verfügbarem Wasser über 70 mm.

³ Niederschlagssumme von Januar bis Juni über 450 mm.

⁴ Speichervermögen an leicht verfügbarem Wasser unter 70 mm.

Tabelle 26 (Fortsetzung)

Kultur bzw. Gruppe von Kulturen	Trockenere Gebiete ¹ oder tiefgründigere Böden ²		Feuchtere Gebiete ³ oder flachgründigere Böden ⁴	
	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	maximale N-Gabe (kg N/ha)	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	maximale N-Gabe (kg N/ha)
Öl- und Faserpflanzen				
Öllein	Saat	50	Saat	20
	Pflanzenhöhe 15–20 cm	30	Pflanzenhöhe 15–20 cm	40
Faserlein	Saat	30	Saat	20
	Pflanzenhöhe 15–20 cm	30	Pflanzenhöhe 15–20 cm	40
Chinaschilf	Vegetationsbeginn	40	Vegetationsbeginn	40
Kenaf	Saat	50	Saat	30
	Pflanzenhöhe 15–20 cm	50	Pflanzenhöhe 15–20 cm	60
Übrige Kulturen				
Gründüngung	Saat	40	Saat	40
Tabak Burley	Pflanzung	100	Pflanzung	80
	vier bis sechs Blätter	80	vier bis sechs Blätter	100
Tabak Virginia	Pflanzung	30	Pflanzung	30

¹ Niederschlagssumme von Januar bis Juni unter 450 mm.

² Speichervermögen an leicht verfügbarem Wasser über 70 mm.

³ Niederschlagssumme von Januar bis Juni über 450 mm.

⁴ Speichervermögen an leicht verfügbarem Wasser unter 70 mm.

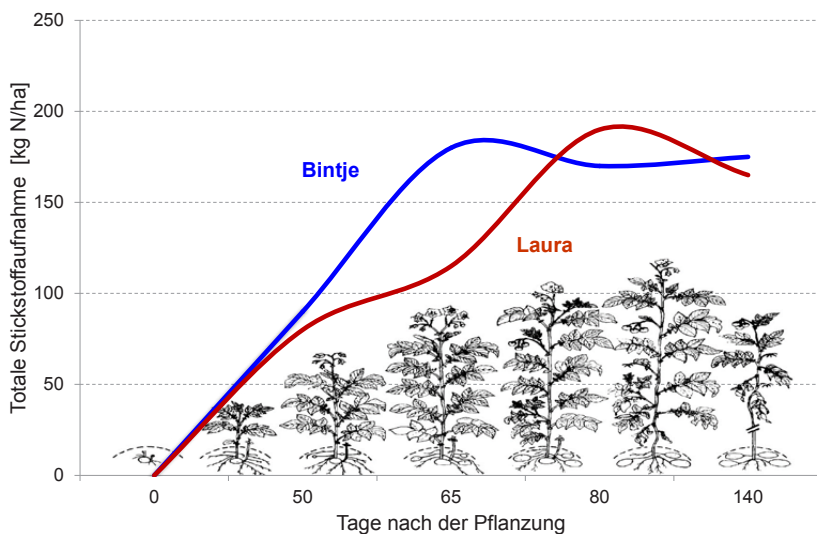


Abbildung 9 | Stickstoff-Aufnahmekurven der Sorten Bintje und Laura bei einer Düngung mit 120 kg N/ha (Sinaj et al. 2014).

(Levy und Brabant 2016). Mit der Wahl der Sorte kann der Proteingehalt von Weizen jedoch am einfachsten beeinflusst werden.

5.3.2 Kartoffeln

Mit einer Aufteilung der N-Menge auf mehrere Gaben, die an den Bedarf der Kultur angepasst werden, lassen sich die Verluste durch Auswaschung begrenzen (Tabelle 26, Abbildung 2). Die letzte Gabe darf allerdings nicht zu spät erfolgen, weil dadurch die Entwicklung des Krauts zu stark gefördert wird, ohne dass dies der Entwicklung der Knollen zugutekommt. Idealerweise findet die letzte Gabe vor der Knollenbildung statt, d. h. wenn die Pflanzen etwa 20 cm hoch sind (BBCH-Code 105). Bei den verschiedenen Sorten ist der Verlauf der N-Aufnahme unterschiedlich. Beispielsweise nimmt die Sorte Laura zu Beginn der Vegetations-

periode weniger N auf als die Sorte Bintje (Abbildung 9), da sie mehr Zeit benötigt, um ihr Wurzelsystem zu entwickeln und die Knollenbildung auszulösen (Sinaj et al. 2014). Dies legt nahe, die Gaben so aufzuteilen, dass der für die Entwicklung erforderliche N der jeweiligen Sorte zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung steht.

Auch die K-Düngung kann in mehrere Gaben aufgeteilt werden, insbesondere bei leichten Böden, bei denen die Gefahr der Auswaschung besteht. In der Praxis wird die Hälfte des K zwischen Januar und März (in Form organischer oder mineralischer Dünger) ausgebracht, die andere Hälfte bei der Pflanzung. Eine ergänzende Gabe kann nach dem Anhäufeln oder sogar bei der Knollenbildung erfolgen.

Um zu verhindern, dass sich der P des Düngers an die feste Phase des Bodens bindet und um die Verfügbarkeit des P für die Pflanze zu erhöhen, ist die Ausbringung der P-Dünger bei der Pflanzung vorzuziehen. Es kann eine zweite Gabe in Form einer Blattdüngung bei Beginn der Knollenbildung ausgebracht werden. Bei einer einzigen, kombinierten P-K-Düngung wird eine Ausbringung möglichst früh in der Vegetationsphase empfohlen, um die Schwäche des noch nicht voll entwickelten Wurzelsystems auszugleichen.

5.3.3 Mais

Der Nährstoffbedarf ist bei Mais bis ca. zum 6-Blattstadium gering (Abbildung 4). In sich langsam erwärmenden Böden kann aber mit einer Unterfussdüngung die Jugendentwicklung beschleunigt werden. Wenig mobile Nährstoffe (P, K) werden idealerweise vor der Saat ausgebracht, während N aufgrund der Auswaschungsgefahr besser in Teilmengen ausgebracht wird (Tabelle 26), dies insbesondere in niederschlagsreichen Regionen oder in Einzugsgebieten von Gewässern. In diesen Fällen sollte die Kopfgabe möglichst erst zur Hauptbedarfsphase ausgebracht werden (Abbildung 4). Aufgrund der Parallelität der N-Mineralisation im Boden und des Bedarfs sind N-Gaben bis zum 8-Blattstadium am wirksamsten, damit der hohe Bedarf bis zum Zeitpunkt der Blüte abgedeckt werden kann.

5.4 Ausbringungstechnik

5.4.1 Kartoffeln

Eine Aufteilung der N-Düngung (Tabelle 26) wird von den Kartoffelproduzenten immer seltener angewendet. Stattdessen wird die gesamte N-Düngermenge oft mit einer einzigen Gabe zur Pflanzung ausgebracht. Diese Praxis geht oft mit dem immer weiter verbreiteten *All-in-one*-Verfahren einher, bei dem die Pflanzung, die Dammformung sowie die Düngung in einem Arbeitsgang erfolgen. Während früher die N-Düngung auf den Erddämmen vor einem Anhäufeln erfolgte, ist es heute üblicher, den N-Dünger vor dem Setzen oder direkt in die Reihe zu geben (Martin 2014). Im Hinblick auf die Optimierung der N-Verfügbarkeit für die Pflanze ist dies nicht ideal, weil ein beträchtlicher Teil des ausgebrachten N durch Auswaschung verlorengehen kann, bevor die Pflanze ihr Wurzelsystem ausreichend entwickelt hat (Sinaj *et al.* 2014).

In den USA und den Ländern des Mittelmeerraumes wird seit vielen Jahren die Fertigation angewendet. Bei diesem Verfahren wird der Dünger durch das Bewässerungssystem ausgebracht. Die Fertigation bietet zwei wichtige Vorteile: (i) Sie ist einfach durchzuführen (wenn das Bewässerungssystem installiert ist) und (ii) ihre Anwendung ist «dynamisch», das heisst die Methode ermöglicht es, der Pflanze das Wasser und die Nährstoffe dann zu liefern, wenn sie diese benötigt. Mit der Technik der Tröpfchenbewässerung lassen sich N-Verluste durch Auswaschung im Vergleich zu Sprinkleranlagen reduzieren (Darwish *et al.* 2003). Bei der Anwendung der Fertigation lässt sich aber keine Ertragssteigerung gegenüber einer klassischen Düngung beobachten (Battilani *et al.* 2008; Mohammad *et al.* 1999).

5.4.2 Mais

Die Dünger werden vor der Saat ganzflächig verteilt und in den Boden eingearbeitet oder aber zur Saat als Unterfussdüngung (P, N) ausgebracht. Nachfolgende N-Gaben sind aufzuteilen und maximale Mengen je nach Boden und Witterung nicht zu überschreiten (Tabelle 26). Obwohl für Ausbringungen in späteren Stadien eine Breitverteilung

möglich ist, sollte darauf geachtet werden, dass keine Blattverbrennungen verursacht werden. Die Reihendüngung, gekoppelt mit Einarbeitung, hat den Vorteil, dass die Nährstoffe in der Nähe der Wurzeln abgelegt werden. Bei der Düngung zur Reihe oder auch beim Vorhandensein von Nährstoffdepots bilden sich die Wurzeln vorwiegend in der unmittelbaren Umgebung der Nährstoffe aus. Dies im Gegensatz zu einer breitflächigen Nährstoffverfügbarkeit, die zu einem weit verzweigten Wurzelwerk führt.

Hofdünger sollten wenn immer möglich direkt in den Boden injiziert oder aber unmittelbar nach der Ausbringung eingearbeitet werden, um N-Verluste zu minimieren.

5.5 Möglichkeiten zur Optimierung oder Reduktion der Stickstoffdüngung

Auch bei der Bemessung der N-Düngung mit Hilfe der weiter oben vorgeschlagenen Methoden (siehe Kapitel 3.1) kann auf Stufe Betrieb durch weitere Massnahmen die N-Ausnutzung verbessert werden oder die N-Düngung intensiviert werden: Für diese Fälle lassen sich folgende Empfehlungen formulieren:

- Im Rahmen einer ausgewogenen Düngung auf Stufe Betrieb die begrenzte N-Menge nach wirtschaftlichen Kriterien auf die Kulturen verteilen
- Güllegaben ausreichend verdünnen (mindestens 1:2, idealerweise 1:3), um Verluste durch Verflüchtigung zu begrenzen (Modul 7/ Düngung und Umwelt)
- Das Risiko von N-Verlusten durch Verflüchtigung durch die Wahl von Düngern mit einem höheren Nitratanteil vermindern
- Die Ausbringung von Einzelgaben von mehr als 60 kg N/ha sollte vermieden werden
- Die Bodenreserven sind konsequent zu berücksichtigen (N_{\min} -Methode oder Methode der korrigierten Normen)
- Die N-Düngung sollte auf Stufe Betrieb geplant werden, um diejenigen Kulturen bevorzugt zu düngen, die am meisten N benötigen und/oder diesen am besten in Ertrag umsetzen
- Bei Getreide die dritte N-Gabe reduzieren oder sogar darauf verzichten oder bei Futterweizen die zweite Gabe verschieben, insbesondere bei extensiven Kulturen
- Mittelfristige Wetterprognosen berücksichtigen, um zu vermeiden, dass der N in zu grossen Mengen vor einem besonders regenreichen Zeitraum oder zu spät in Bezug auf eine angekündigte Trockenperiode ausgebracht wird
- Die N-Gabe zur Saat oder Pflanzung von Zuckerrüben, Mais und Kartoffeln kann reduziert oder ganz weglassen werden
- Bei Zwischenkulturen ganz auf N-Gaben verzichten und bei schwacher Mineralisierung Mischungen mit Leguminosen verwenden

5.6 Möglichkeiten zur Vereinfachung der Düngung mit P, K und Mg

Die Fruchtfolgedüngung erlaubt eine Vereinfachung der P-, K- und Mg-Düngung bei eindeutig festgelegten Frucht-

folgen. Dazu wird der Nettobedarf der Fruchtfolge insgesamt bestimmt, dieser durch die Anzahl Kulturen geteilt und die dabei errechnete durchschnittliche Menge jährlich ausgebracht. Dieses Vorgehen erfordert die Ausarbeitung eines mehrjährigen Düngungsplans und eignet sich nur für Parzellen mit stabiler Fruchtfolge und mit ausreichender oder reicher Nährstoffversorgung (Versorgungsklasse C oder D). Wenn Parzellen zur Nährstoffversorgungsklasse «arm» gehören und die Fruchtfolge (i) eine Kultur mit einem hohen Nährstoffbedarf oder (ii) eine zu Nährstoff-Luxuskonsum neigende Kultur enthält, dann ist von der Fruchtfolgedüngung abzusehen.

Bei der Berechnung des Düngungsplanes können sich für einzelne Parzellen nur geringe Düngermengen für P, K und Mg ergeben, die aus technischen Gründen schwierig auszubringen sind. In diesem Fall kann ein Verzicht nach den Kriterien von Tabelle 27 erwogen werden.

Verzicht: Verzicht auf die Ausbringung von Mineraldüngern, da der Bedarf der Folgekultur durch den Bodenvorrat, Ernterückstände der Vorkultur und/oder vorgesehene Hofdünger beziehungsweise vorweggenommene Ernterückstände der Folgekultur (z. B. Sonnenblumen) gedeckt wird. In bestimmten Fällen kann auf die Ausbringung von Mineraldüngern verzichtet werden, wenn diese nur einen kleinen Teil der korrigierten Düngungsnorm umfasst.

Verzichtsgrenzen: Ein Verzicht ist denkbar (i) bei weniger als 100 kg P-, K- oder P-K-Dünger pro Hektare und (ii) bei weniger als 50 kg Mg-Dünger pro Hektare.

6. Literatur

- Agroscope, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1: Bodenuntersuchung zur Düngberatung, Ausgabe 2015. Agroscope, Zürich.
- Agu C. M., 2006. Effect of nitrogen and phosphorus combination on late blight disease and potato yield. *Tropical Science* 44 (4), 163–165.
- Allison M. F., Fowler J. H. & Allen E. J., 2001a. Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum*). *Journal of Agricultural Science* 137, 397–409.
- Allison M. F., Fowler J. H. & Allen E. J., 2001b. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers. *Journal of Agricultural Science* 136, 407–426.
- Arvalis, 2014. Optimiser l'alimentation de la plante en fractionnant l'azote. In: Interventions de printemps: un tournant décisif pour réussir ses cultures. ARVALIS-CETIOM infos, janvier 2014, 3–4.
- Arnon I., 1975. Mineral nutrition of Maize. International Potash Institute, Bern. 452 S.
- Aubertot J. N., Pinochet X. & Doré T., 2003. The effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative stages on *Leptosphaeria maculans* development on winter oilseed rape. *Crop Protection* 23 (7), 635–645.
- Battilani A., Plauborg F., Hansen S., Dolezal F., Mazurczyk W., Bizik J. & Coutinho J., 2008. Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of fertigated potatoes. *Acta Horticulturae* 792, 61–67.
- Bedoussac L., Journet E.-P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Jensen E. S., Prieur L. & Justes E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 911–935.

Nicht ausgebrachte Dünger: Der Verzicht auf die Ausbringung kleinerer Mineraldüngermengen bedingt, dass die Nährstoffmengen im Düngungsplan des Folgejahres berücksichtigt werden.

Tabelle 27 | Möglichkeiten zum Verzicht auf die P-, K- und Mg-Düngung in Abhängigkeit des Gehaltes und der Gründigkeit des Bodens.

Versorgungs-klasse (Boden-untersuchung)	Pflanzennutz-bare Gründig-keit des Bodens ¹	Möglichkeit zum Verzicht von P-/K-Düngung	Möglichkeit zum Verzicht von Mg-Düngung
arm	mässig tiefgründig	Nein	Nein
	tiefgründig	Nein	Nein
mässig	mässig tiefgründig	Nein	Nein
	tiefgründig	Ja	Ja
genügend	mässig tiefgründig	Ja	Nein
	tiefgründig	Ja	Ja
Vorrat	mässig tiefgründig	Ja	Ja
	tiefgründig	Ja	Ja

¹ Mässig tiefgründig: weniger als 70 cm pflanzennutzbare Gründigkeit; tiefgründig: mehr als 70 cm pflanzennutzbare Gründigkeit.

- Brabant C. & Levy Häner L., 2016. Einfluss der Stickstoffdüngung und ihrer Aufteilung auf die Backqualität von Weizen. *Agrarforschung Schweiz* 7 (2), 88–97.
- Büchi L., Gebhard C.-A., Liebisch F., Sinaj S., Ramseier H. & Charles R., 2015. Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. *Plant and Soil* 393 (1), 163–175.
- Büchi L., Mouly P., Amossé C., Bally C., Wendling M. & Charles R., 2016. Zerstörungsfreie Methode zur Schätzung der Biomasse von Zwischenkulturen. *Agrarforschung Schweiz* 7 (3), 136–143.
- Buchner A. & Sturm H., 1985. Gezielter Düngen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main. 381 S.
- Burns I. G., 2006. Assessing N fertilizer requirements and the reliability of different recommendation systems. *Acta horticulturae* 700, 35–48.
- Buschbell T. & Hoffmann G. M., 1992. The effects of different nitrogen regimes on the epidemiologic development of pathogens on winter-wheat and their control. *Journal of Plant Diseases and Protection* 99, 381–403.
- Cao W. & Tibbitts T. W., 1998. response of potatoes to nitrogen concentrations differ with nitrogen forms. *Journal of Plant Nutrition* 21 (4), 615–623.
- Champolivier L. & Reau R., 2005. Améliorer la richesse en huile des oléagineux pour répondre aux besoins du marché. *Oléoscope* 82, 10–13.
- Charles R., Cholley E. & Mascher-Frutschi F., 2011. Krankheiten beim Winterweizen: Einfluss des Anbausystems und Auswirkungen auf den Ertrag. *Agrarforschung Schweiz* 2 (6), 264–271.

- Charles R. & Vullioud P., 2001. Pois protéagineux et azote dans la rotation. *Revue suisse d'Agriculture* 33 (6), 265–270.
- Charles R., Collaud J.-F., Levy L. & Sinaj S., 2012. Sorten, Saatedichte und Stickstoffdüngung bei Wintergerste. *Agrarforschung Schweiz* 3 (2), 88–95.
- Cohan J. P., 2014. Engrais, bien choisir la forme à apporter. In: *Innovations et performances pour la pomme de terre*. ARVALIS infos, juin 2014, 14–15.
- Colin J. & Goffart J. P., 1998. La gale commune de la pomme de terre en Belgique: Ses causes, ses conséquences, ses remèdes. Centre de Recherche Agronomique, Gembloux; Station de Phytotechnie, Louvain-la-Neuve; Université Catholique du Louvain, Clinique des Plantes (CORDER). 35 S.
- Colomb B., 1992. Le magnésium: bases disponibles pour l'élaboration d'un système de recommandation de fumure. In: *Le magnésium en agriculture*. Editions C.H.E.M.C., INRA, Paris. S. 187–209.
- COMIFER, 2013. Calcul de la fertilisation azotée – Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales – Cultures annuelles et prairies. Editions COMIFER, Puteaux. 159 S. Zugang: http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf [10. 5. 2017].
- Courvoisier N., Levy Häner L., Schwaerzel R., Bertossa M., Thévoz E., Hiltbrunner J., Anders M., Stoll P., Weissflog T., Scheuner S., Dugon J. & Grünig K., 2015. Liste der empfohlenen Getreidesorten für die Ernte 2016. *Agrarforschung Schweiz* 6 (6), 1–8.
- Darwish T., Atallah T., Hajhasan S. & Chranek A., 2003. Management of nitrogen by fertigation of potato in Lebanon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67 (1), 1–11.
- Datnoff L. E., Elmer W. H. & Huber D. M., 2009. Mineral nutrition and plant disease. 2nd edition. APS Press, St. Paul. 278 S.
- Debaeke P. & Estragnat A., 2003. A simple model to interpret the effects of sunflower crop management on the occurrence and severity of a major fungal disease: *Phomopsis stem canker*. *Field crop research* 83, 139–155.
- Debaeke P. & Perez, A. 2003. Influence of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop management on Phoma black stem (*Phoma macdonaldii* Boerema). *Crop Protection* 22, 741–752.
- Demaria P., Flisch R., Frossard E. & Sinaj S., 2005. Exchangeability of phosphate extracted by four chemical methods. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 89–93.
- Dirks B. & Scheffer H., 1930. Der Kohlensäure-Bikarbonatauszug und der Wasserauszug als Grundlage zur Ermittlung der Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden. *Landwirtschaftliche Jahrbücher* 71; 73–99.
- Dupuis B., Reust W., Hebeisen T. & Ballmer T., 2009. Stickstoffdüngung bei neuen Kartoffelsorten: Ertrag und Qualität. *Agrarforschung Schweiz* 16 (11+12), 484–489.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung* 16 (2), 1–100.
- Fritsch F., 2003. Anwendung von Düngemitteln in landwirtschaftlichen Kulturen: Kartoffeln. In: *Praxishandbuch Dünger und Düngung*, AGRIMEDIA GmbH, Bergen/Dumme. S. 311.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Phosphor in Böden. Standortbestimmung Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 368, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. S. 180.
- Gash A. F. J., 2012. Wheat nitrogen fertilisation effects on the performance of the cereal aphid *Metopolophium dirhodum*. *Agronomy* 2 (1), 1–13.
- Hack H., 1993. Echelle BBCH des stades phénologiques de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). *JKI Open Journal System* 7.
- Holzämper A., Fossati D., Hiltbrunner J. & Fuhrer J., 2015. Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland. *Regional Environmental Change* 15 (1), 109–122.
- Hebeisen T., Ballmer T., Wüthrich R. & Dupuis B., 2012. Reaktion neu zugelassener Kartoffelsorten auf unterschiedliche Stickstoffversorgung. *Agrarforschung Schweiz* 3 (2): 82–87.
- Iwama K., 2008. Physiology of the Potato: New Insights into Root System and Repercussions for Crop Management. *Potato research* 51 (3–4), 333–353.
- Jordan V. W. L., Stinchcombe G. R. & Hutcheon J. A., 1989. Fungicide and nitrogen applications in relation to the improvement of disease control and yield in winter barley. *Plant Pathology* 38, 26–34.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J. P., Souchère V., Tournebize J., Savini I. & Réchauchère O., 2013. Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable. Editions Quae, Versailles. 112 S.
- Justes E., Mary B. & Nicolardot B., 2009. Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. *Plant and Soil* 325, 171–185.
- Karam F., Roupheal Y., Lahoud R., Breidi J. & Colla G., 2009. Influence of genotypes and potassium application rates on yield and potassium use efficiency of potato. *Journal of agronomy* 8 (1), 27–32.
- Kolbe H. & Stephan-Beckmann S., 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). II. Tuber and whole plant. *Potato Research* 40 (2), 135–153.
- Krnjaja V., Mandic V., Levic J., Stankovic S., Petrovic T., Vasic T. & Obradovic A., 2015. Influence of N-fertilisation on Fusarium head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection* 67, 251–256.
- Lagarde F. & Champolivier L., 2006. Le raisonnement et les avancées techniques permettent de réduire la fertilisation azotée : le cas de Farmstar-colza®. *OCL* 13, 384–387.
- Lemmens M., Haim K., Lew H. & Ruckenbauer P., 2004. The Effect of Nitrogen Fertilization on *Fusarium* Head Blight Development and Deoxynivalenol Contamination in Wheat. *Journal of Phytopathology* 152 (1), 1–8.
- Levy L., Schwaerzel R., Kleijer G. & Crozet N., 2009. Influence de la fumure azotée sur la qualité des blés biscuitiers. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (5), 277–282.
- Levy L., Schwaerzel R. & Kleijer G., 2007. Influence de la fumure azotée sur la qualité des céréales panifiables. *Revue suisse d'Agriculture* 39, 255–260.
- Levy L. & Schwaerzel R., 2009. Fumure azotée et performances agronomiques de variétés de blé et de triticale. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (3), 161–165.
- Levy Häner L., Stamp P., Kreuzer M., Bouguennec A. & Pellet D., 2013. Experimental Determination of Genetic and Environmental Influences on the Viscosity of Triticale. *Cereal Research Communications* 41 (4), 613–625.
- Levy Häner L. & Brabant C. 2016. Die Kunst, den Stickstoffdünger für einen optimalen Ertrag und Proteingehalt von Weizen aufzuteilen. *Agrarforschung Schweiz* 7 (2), 80–87.
- Limaux F., Recous S., Meynard J.M. & Guckert A., 1999. Relationship between rate of crop growth at date fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat. *Plant and Soil* 214, 49–59.
- Lucas M. E., Hoad S. P., Russell G. & Bingham I. J., 2000. Management of cereal root systems. Home-Grown Cereals Authority, London. HGCA Research review No. 43.
- Machet J. M., Recous S., Jeuffroy M. H., Mary B., Nicolardot B. & Parnaudeau V., 2003. A dynamic version of the predictive balance sheet method for fertilizer N advice. In: *Controlling nitrogen flows and losses*, 12th Nitrogen Workshop, 21.–24. September 2003, Exeter.
- Maltas A., Oberholzer H., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012a. Langfristige Wirkung von organischen Düngern auf die Bodenigenschaften. *Agrarforschung Schweiz* 3 (3), 148–155.
- Maltas A., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012b. Ertrag und Stickstoffdüngung im Pflanzenbau: Langfristige Wirkung organischer Dünger. *Agrarforschung Schweiz* 3 (3), 156–163.
- Maltas A., Charles R., Jeangros B. & Sinaj S., 2013. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nit-

- rogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. *Soil & Tillage Research* 126, 11–18.
- Maltas A., Charles R., Pellet D., Dupuis B., Levy L., Baux A., Jeangros B. & Sinaj S., 2015. Evaluation zweier Methoden für eine optimale Stickstoffdüngung im Ackerbau. *Agrarforschung Schweiz* 6 (3), 84–93.
- Martin M., 2014. Implantation : attention à la structure du sol. In: *Innovations et performances pour la pomme de terre*, ARVALIS infos, Juin 2014, 10–12.
- Mascagni H. J. Jr., Harrison S. A., Russin J. S., Desta H. M., Colyer P. D., Habetz R. J., Hallmark W. B., Moore S. H., Rabb J. L., Hutchinson R. L. & Boquet D. J., 1997. Nitrogen and fungicide effects on winter wheat produced in the Louisiana Gulf Coast region. *Journal of Plant Nutrition* 20 (10), 1375–1390.
- Mestries E., Desanlis M., Seassau C., Moinard J., Debaeke P. & Dechamp-Guillaume G., 2011. Impact de la conduite de culture sur les maladies du tournesol. *Innovations agronomiques* 14, 91–108.
- Micheneau A., Champolivier L., Courtois N., Sinaj S., & Baux A., 2016. Réglette azote colza®: Anpassung eines Tools für die Stickstoffdüngung von Raps an die Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* 7 (9), 378–383.
- Mohammad M. J., Zuraïqi S., Quasameh W. & Papadopoulos I., 1999. Yield response and nitrogen utilization efficiency by drip-irrigated potato. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 54 (3), 243–249.
- Naud C., Makowski D. & Jeuffroy M. H., 2008. Is it useful to combine measurements taken during the growing season with a dynamic model to predict the nitrogen status of winter wheat? *European Journal of Agronomy* 28, 291–300.
- Neeteson J. J., 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fertilizer research* 26 (1–3), 291–298.
- Neumann S., Paveley N.D., Beed F.D. & Sylvester-Bradley R. 2004. Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis f.sp. tritici* epidemics in winter wheat. *Plant Pathology* 53 (6), 725–732.
- Olesen J. E., Mortesen J. V., Jorgensen L. N. & Andersen M. N., 2000. Irrigation strategy, nitrogen application and fungicide control in winter wheat on a sandy soil. I. Yield yield components and nitrogen uptake. *Journal of Agricultural Science* 134 (1), 1–11.
- Olesen J. E., Jorgensen L. N., Petersen J. & Mortensen J. V., 2003. Effects of rate and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 1. Grain yield and foliar disease control. *Journal of Agricultural Science* 140 (1), 1–13.
- Pavlista A. D., 2005. Early-Season Applications of Sulfur Fertilizers Increase Potato Yield and Reduce Tuber Defects. *Agronomy Journal* 97, 599–603.
- Pellet D., 2000a. Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne. I. La méthode Jubil est-elle adaptée aux variétés cultivées en Suisse? *Revue suisse d'Agriculture* 32 (3), 103–108.
- Pellet D., 2000b. Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne. II. La méthode Jubil comme complément à celle des normes corrigées. *Revue suisse d'Agriculture* 32 (4), 165–171.
- Pellet D., Mercier E., Lavanchy J., Pfeiffer H., Keiser A. & Bezençon N., 2003a. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. I. Colza d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 35 (4), 161–167.
- Pellet D., Mercier E. & Balestra U., 2003b. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. II. Blé d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 35 (4), 181–186.
- Pellet D. & Grosjean Y., 2007. Fumure azotée du tournesol: intérêt de la méthode Héliotest pour la Suisse. *Revue suisse d'Agriculture* 39 (1), 5–9.
- Reust W., Hebeisen T. & Ballmer T., 2006. Fumure azotée et nouvelles variétés de pommes de terre cultivées en Suisse. *Revue suisse d'Agriculture* 38 (6), 309–313.
- Richner W., Flisch R., Sinaj S. & Charles R., 2010. Ableitung der Stickstoffdüngungsnormen von Ackerkulturen. *Agrarforschung Schweiz* 1 (11–12), 410–415.
- Ryckmans D., 2009. Quelques rappels sur la fumure phospho-potassique. In: *Fiwap info*, février 2009, 8.
- Sattelmacher B., Kuene R., Malagampa P. & Moreno U., 1990. Evaluation of tuber bearing *Solanum* species belonging to different ploidy levels for its yielding potential at low soil fertility. *Plant and Soil* 129, 227–233.
- SBV, 2014. Kapitel 2: Pflanzenbau. In: *Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung 2013*, Agristar, Schweizer Bauernverband, Brugg.
- Schwartz C., Decroux J. & Muller J. C., 2005. Guide de la fertilisation raisonnée: grandes cultures et prairies. Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée. Editions France Agricole, Paris. 414 S.
- Schwaerzel R., Torche J.-M., Ballmer T., Musa T. & Dupuis B., 2016. Schweizerische Sortenliste für Kartoffeln 2017. *Agrarforschung Schweiz* 7, 11–12.
- SCPA, 1995. Les courbes d'absorption d'éléments minéraux. Ministère de l'agriculture, France.
- Sinaj S., Maltas A., Dupuis B. & Pellet D., 2014. Response of two potato cultivars to nitrogen fertilization in Switzerland. In: *19th Triennial Conference of the European Association for Potato Research*, 2014. Editions EAPR, Brüssel.
- Smiley R. W. & Cook R. J., 1973. Relationship between take-all of wheat and rhizosphere pH in soils fertilized with ammonium vs. nitrate-nitrogen. *Phytopathology* 63, 882–890.
- Söchting H. P. & Verreet J.-A., 2004. Effects of different cultivation systems (soil management, nitrogen fertilization) on the epidemics of fungal diseases in oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*). *Journal of Plant Diseases and Protection* 111 (1), 1–29.
- Sonderegger O. & Scheuner S., 2014. Bekenntnis zur Qualitätsstrategie – Getreidebranche einigt sich auf Proteinbezahlung. *SwissGranum*, Bern.
- Swiss granum, 2015. Produktionsflächen / Surfaces de production. Zugang: https://www.swissgranum.ch/files/2015-12-18_anbauflaechen.pdf [6. 2. 2017].
- Swisspatat, 2015. Statistische Angaben 2014 über Kartoffelbau und Kartoffelverarbeitung. *Swisspatat*, Bern.
- Tindall T. A., Westermann D. T., Stark J. C., Ojala J. C. & Kleinkopf G. E., 1993. Phosphorus Nutrition of Potatoes. *Current Information Series No. 903*, University of Idaho, USA.
- Trehan S. P. & Sharma R. C., 2002. Potassium uptake efficiency of young plants of three potato cultivars as related to root and shoot parameters. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 33 (11–12), 1813–1823.
- UNIFA, 2015. Les outils de raisonnement de l'apport de soufre. Zugang: <http://fertilisation-edu.fr/le-raisonnement-de-la-fertilisation/azote-et-soufre/les-outils-de-raisonnement.html> [6. 2. 2017].
- Vullioud P., 2005. Rotation des cultures en terres assolées. *Revue suisse d'Agriculture* 37 (4), 1–4.
- Wendling M., Büchi L., Amossé C., Sinaj S., Walter A. & Charles R., 2016. Influence of root and leaf traits on the uptake of nutrients in cover crops. *Plant Soil* 409 (1), 419–434.
- Westermann D. T. & Kleinkopf G. E., 1985. Nitrogen requirements of potatoes. *Agronomy Journal* 77, 616–621.
- Yara, 2008. N-Tester®, le pilotage de l'azote tout simplement. Zugang: <http://www.yara.fr/fertilisation/outils-et-services/n-tester/> [6. 2. 2017].

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Eigenschaften von Weizen, welche die Qualität beeinflussen.	8/4
Tabelle 2 Einfluss der N-, P- und K-Düngung auf die Qualität von Kartoffelknollen.	8/6
Tabelle 3 Einfluss der N- und S-Düngung auf den Ölgehalt und den Glukosinolatgehalt bei Raps.	8/8
Tabelle 4 Begünstigung verschiedener Maiskrankheiten bei Mangel oder Überschuss von N, K, Mg und S.	8/11
Tabelle 5 Einfluss der N-, P- und K-Düngung auf Qualitätseigenschaften von Zuckerrüben.	8/12
Tabelle 6 Aufnahme von Nährstoffen durch ausgewählte Gründünger.	8/14
Tabelle 7 Schätzung des für die Nachfolgekultur freigesetzten bzw. blockierten N durch die Gründüngung in Abhängigkeit der Art und ihres Wachstums.	8/14
Tabelle 8 Zusammenfassung der Auswirkungen, Vorteile und Grenzen der verschiedenen Arten von Gründüngern.	8/15
Tabelle 9 Referenzertrag, Nährstoffentzug und Düngungsnormen bezüglich N, P, K und Mg für die Ackerkulturen.	8/17
Tabelle 10 Korrektur der N-Düngung in Abhängigkeit der Kartoffelsorte.	8/21
Tabelle 11 Korrektur der N-Düngung bei einem Zielertrag, der vom Durchschnittsertrag (Referenzertrag) abweicht.	8/23
Tabelle 12 Korrektur der N-Düngung in Abhängigkeit des Mineralisierungspotenzials der OS.	8/23
Tabelle 13 Korrektur der N-Düngung in Abhängigkeit der Vorkultur.	8/24
Tabelle 14 Korrektur der N-Normdüngung infolge Nachwirkung organischer Dünger.	8/25
Tabelle 15 Korrektur der N-Normdüngung in Abhängigkeit der Winter- und Frühjahrs-Niederschläge.	8/25
Tabelle 16 Zusätzliche N-Nachlieferung des Bodens durch mehrmaliges Hacken nach dem Auflaufen der Kultur in Abhängigkeit des Gehaltes an organischer Substanz des Bodens.	8/25
Tabelle 17 Korrektur der N-Normdüngung in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen (Feuchtigkeit und Temperatur) im Frühling und des Bodenzustands.	8/25
Tabelle 18 Zeitpunkt und Probennahmetiefe für die N_{\min} -Bestimmung.	8/25
Tabelle 19 N-Düngung im Getreidebau aufgrund des N_{\min} -Gehaltes des Bodens.	8/26
Tabelle 20 N-Düngung von Hackfrüchten aufgrund des N_{\min} -Gehaltes des Bodens.	8/26
Tabelle 21 Korrekturfaktoren der Normdüngung für P, K, Mg nach Kultur.	8/29
Tabelle 22 Kriterien zur Beurteilung des Risikos eines Schwefelmangels und zur Abschätzung des Schwefelbedarfs der Kulturen.	8/30
Tabelle 23 Schwefelentzug einiger Kulturen sowie Bemessung der Schwefeldüngung.	8/31
Tabelle 24 Bemessung der B- und Mn-Düngung aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen, der Bodeneigenschaften und der Bedürftigkeit der Kulturen.	8/31
Tabelle 25 Beispiel eines Düngungsplans.	8/33
Tabelle 26 Optimaler Zeitpunkt und Höchstmenge einzelner Stickstoffgaben für verschiedene Kulturen in Abhängigkeit von Niederschlags- und Bodenverhältnissen.	8/35
Tabelle 27 Möglichkeiten zum Verzicht auf die P-, K- und Mg-Düngung in Abhängigkeit des Gehaltes und der Gründigkeit des Bodens.	8/38
<hr/>	
Anhang Nährstoffgehalte pflanzlicher Produkte.	8/43

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Aufnahme von Nährstoffen (N, P, K und S) durch die Weizenkultur (ganze Pflanze) auf der Grundlage eines Ertrags von 60 dt/ha und in Abhängigkeit des physiologischen Entwicklungsstadiums der Pflanze.	8/4
Abbildung 2 Aufnahme von Nährstoffen (N, P, K, S, Mg) durch die Kartoffelpflanze (Sorte José – Ertrag 45 t/ha) in Abhängigkeit des physiologischen Entwicklungsstadiums der Pflanze.	8/6
Abbildung 3 Aufnahme von Nährstoffen (N, P, K, Mg) durch die Rapskultur in Abhängigkeit des physiologischen Entwicklungsstadiums der Pflanze.	8/8
Abbildung 4 Summe der bis zu einem bestimmten Entwicklungsstadium von Mais aufgenommenen Nährstoffmenge.	8/11
Abbildung 5 Stickstoff-Management durch Gründüngung als Zwischenkultur von Ende Juli bis Ende März.	8/14
Abbildung 6 Stickstoffkreislauf auf Parzellenebene.	8/16
Abbildung 7 Schematische Darstellung der Methode der korrigierten Normen (Schätzmethode).	8/24
Abbildung 8 Vorgehen zur Berechnung der Düngungsnorm für P, K und Mg.	8/28
Abbildung 9 Stickstoff-Aufnahmekurven der Sorten Bintje und Laura bei einer Düngung mit 120 kg N/ha.	8/36

9. Anhang

Nährstoffgehalte pflanzlicher Produkte.															
Kultur	Ertrag des Ernteprodukts dt/ha	Produkt	TS-Gehalt %	Nährstoffgehalt (kg/t Frischsubstanz)											
				N			P (P ₂ O ₅)			K (K ₂ O)			Mg		
				Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert
Winterweizen (Brot- und Biskuitweizen)	60	Körner	85	15,0	25,0	20,2	3,3 (7,5)	4,4 (10,0)	3,6 (8,2)	2,9 (3,5)	4,6 (5,5)	3,6 (4,3)	0,8	1,2	1,2
	70	Stroh	85	3,0	7,0	3,1	0,4 (1,0)	1,3 (3,0)	0,8 (1,9)	5,8 (7,0)	12,5 (15,0)	8,9 (10,7)	0,6	1,0	0,7
Winterweizen (Futterweizen)	75	Körner	85	15,0	25,0	17,3	3,3 (7,5)	4,4 (10,0)	3,6 (8,2)	2,9 (3,5)	4,6 (5,5)	3,6 (4,3)	0,8	1,2	1,2
	75	Stroh	85	2,8	7,0	2,8	0,4 (1,0)	1,3 (3,0)	0,8 (1,9)	5,8 (7,0)	12,5 (15,0)	8,9 (10,7)	0,6	1,0	0,7
Sommerweizen	50	Körner	85	18,0	26,0	20,2	3,1 (7,0)	4,3 (9,8)	3,6 (8,2)	2,5 (3,0)	4,2 (5,0)	3,6 (4,3)	1,0	1,4	1,2
	60	Stroh	85	3,0	7,0	3,1	0,5 (1,2)	1,0 (2,2)	0,8 (1,9)	6,6 (8,0)	11,6 (14,0)	8,9 (10,7)	0,3	0,7	0,7
Wintergerste	60	Körner	85	13,0	17,0	14,8	3,5 (8,0)	4,4 (10,0)	3,7 (8,4)	2,7 (4,5)	6,2 (7,5)	4,5 (5,4)	0,8	1,2	1,1
	60	Stroh	85	3,0	6,0	4,3	0,8 (1,8)	1,2 (2,8)	1,0 (2,2)	10,0 (12,0)	19,9 (24,0)	13,3 (16,0)	0,2	0,6	0,6
Sommergerste	55	Körner	85	10,0	16,0	14,8	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,7 (8,4)	4,2 (5,0)	5,8 (7,0)	4,5 (5,4)	0,9	1,3	1,1
	55	Stroh	85	3,0	7,0	4,3	0,8 (1,8)	1,2 (2,6)	1,0 (2,2)	13,3 (16,0)	19,9 (24,0)	13,3 (16,0)	0,2	0,6	0,6
Winterhafer	55	Körner	85	13,0	19,0	16,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,0
	70	Stroh	85	3,0	7,0	5,0	0,9 (2,3)	1,7 (3,1)	1,2 (2,7)	14,9 (18,0)	19,9 (24,0)	17,4 (21,0)	0,6	1,2	0,9
Sommerhafer	55	Körner	85	13,0	19,0	16,5	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,0
	70	Stroh	85	3,0	7,0	4,1	1,0 (2,3)	1,4 (3,1)	1,2 (2,7)	14,9 (18,0)	19,9 (24,0)	17,4 (21,0)	0,6	1,2	0,9
Winterroggen	55	Körner	85	13,0	18,0	13,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,1
	70	Stroh	85	3,0	7,0	3,0	0,9 (2,0)	1,3 (3,0)	0,9 (2,0)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,8	1,2	1,0
Winterroggen (Hybridsorten)	65	Körner	85	13,0	18,0	13,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,1
	75	Stroh	85	3,0	7,0	3,0	0,9 (2,0)	1,3 (3,0)	0,9 (2,0)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,8	1,2	1,0
Dinkel	45	Körner	85	14,0	18,0	16,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,1
	70	Stroh	85	3,0	7,0	5,0	0,9 (2,0)	1,3 (3,0)	1,1 (2,5)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,8	1,2	1,0
Wintertriticale	60	Körner	85	15,0	20,0	16,0	3,1 (7,0)	4,8 (11,0)	3,1 (7,2)	4,1 (4,9)	5,8 (7,0)	4,1 (4,9)	0,8	1,2	0,9
	75	Stroh	85	3,3	10,0	3,3	0,6 (1,4)	1,5 (3,5)	0,6 (1,4)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	14,9 (18,0)	0,6	0,9	0,6
Sommertriticale	55	Körner	85	15,0	20,0	16,0	3,1 (7,0)	4,8 (11,0)	3,1 (7,2)	4,1 (4,9)	5,8 (7,0)	4,1 (4,9)	0,8	1,2	0,9
	70	Stroh	85	3,3	10,0	3,3	0,6 (1,4)	1,5 (3,5)	0,6 (1,4)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	14,9 (18,0)	0,6	0,9	0,6

Kultur	Ertrag des Ernteprodukts dt/ha	Pro- dukt	TS- Gehalt %	Nährstoffgehalt (kg/t Frischsubstanz)											
				N			P (P ₂ O ₅)			K (K ₂ O)			Mg		
				Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert
Emmer, Einkorn	25	Körner	85	17,0	27,0	22,0	2,6 (6,0)	4,4 (10,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,8	2,0	1,4
	45	Stroh	85	3,0	5,0	4,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	1,3 (3,0)	5,8 (7,0)	9,1 (11,0)	7,5 (9,0)	0,4	0,8	0,6
Hirse	35	Körner	85	15,2	18,4	16,6	2,4 (5,5)	3,2 (7,3)	2,8 (6,4)	1,8 (2,2)	2,7 (3,3)	2,4 (2,9)	0,9	1,4	1,2
	45	Stroh	85	9,3	11,6	10,7	1,3 (3,0)	3,3 (7,6)	2,4 (5,5)	12,6 (15,2)	25,3 (30,5)	18,8 (22,7)	1,8	2,7	2,4
Körnermais	100	Körner	85	11,0	15,0	13,0	1,7 (4,0)	3,5 (8,0)	2,6 (5,9)	3,3 (4,0)	4,6 (5,6)	3,3 (4,0)	0,6	1,4	0,9
	110	Stroh	85	4,0	8,0	7,3	1,0 (2,4)	1,9 (4,4)	1,1 (2,4)	11,6 (14,0)	24,9 (30,0)	14,5 (17,4)	0,7	1,9	1,3
Silomais ¹	185	Ganz- pflanze	100	10,0	15,0	11,8	1,7 (4,0)	3,1 (7,0)	2,1 (4,8)	8,3 (10,0)	17,4 (21,0)	10,8 (13,0)	0,9	1,5	1,3
Grünschnitt- mais ¹	60	Ganz- pflanze	100	14,0	24,0	19,0	2,4 (5,5)	3,3 (7,5)	2,8 (6,5)	18,3 (22,0)	26,6 (32,0)	22,4 (27,0)	0,8	1,2	1,0
Kartoffeln (Speisekartof- feln und Kartoffeln für die technische Verarbeitung)	450	Knollen	22	2,2	3,8	3,0	0,4 (1,0)	0,9 (2,0)	0,6 (1,3)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,5 (5,4)	0,2	0,2	0,2
	200	Kraut	14	0,9	1,9	1,4	0,1 (0,3)	0,3 (0,7)	0,2 (0,5)	3,3 (4,0)	7,5 (9,0)	5,4 (6,5)	0,2	0,5	0,4
Kartoffeln (Frühkartof- feln)	300	Knollen	18	1,7	2,9	2,3	0,4 (1,0)	0,9 (2,0)	0,7 (1,5)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,2	0,2	0,2
	200	Kraut	8	2,5	4,1	3,3	0,2 (0,5)	0,4 (0,9)	0,3 (0,7)	3,3 (4,0)	8,3 (10,0)	5,8 (7,0)	0,3	0,8	0,6
Kartoffeln (Pflanzkartof- feln)	250	Knollen	18	1,7	2,9	2,3	0,4 (1,0)	0,9 (2,0)	0,7 (1,5)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,2	0,2	0,2
	200	Kraut	8	2,5	4,1	3,3	0,2 (0,5)	0,4 (0,9)	0,3 (0,7)	3,3 (4,0)	8,3 (10,0)	5,8 (7,0)	0,3	0,8	0,6
Zuckerrüben	900	Rüben	22	1,2	2,5	1,2	0,3 (0,6)	0,4 (1,0)	0,3 (0,7)	1,7 (2,0)	3,3 (4,0)	1,7 (2,0)	0,2	0,4	0,3
	475	Kraut/ Köpfe	15	2,0	4,0	3,3	0,3 (0,6)	0,9 (2,0)	0,3 (0,7)	4,2 (5,0)	5,8 (7,0)	5,2 (6,3)	0,4	1,0	0,9
Futterrüben	175	Rüben ¹	100	9,0	13,0	11,0	1,7 (4,0)	2,6 (6,0)	2,2 (5,0)	12,5 (15,0)	17,4 (21,0)	14,9 (18,0)	1,1	1,5	1,3
	400	Kraut/ Köpfe	15	2,0	4,5	3,5	0,3 (0,6)	0,4 (1,0)	0,3 (0,8)	5,0 (6,0)	6,6 (8,0)	5,8 (7,0)	0,5	1,3	0,9
Winterraps	35	Haupt- prod.	90	26,0	34,0	26,1	5,7 (13,0)	8,3 (19,0)	6,4 (14,6)	6,6 (8,0)	9,1 (11,0)	7,1 (8,5)	2,0	3,2	2,4
	90	Neben- prod.	85	5,0	10,0	7,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	0,9 (2,0)	10,3 (12,4)	14,9 (18,0)	10,3 (12,4)	0,6	2,0	0,6
Sommer- raps	25	Haupt- prod.	90	26,0	34,0	26,1	5,7 (13,0)	8,3 (19,0)	6,4 (14,6)	6,6 (8,0)	9,1 (11,0)	7,1 (8,5)	2,0	3,2	2,6
	45	Neben- prod.	85	5,0	10,0	7,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	0,9 (2,0)	10,3 (12,4)	14,9 (18,0)	10,3 (12,4)	1,0	2,0	1,5
Sonnen- blumen	30	Körner	85	28,0	35,0	31,5	3,9 (9,0)	5,7 (13,0)	4,8 (11,0)	6,0 (7,2)	8,0 (9,6)	7,0 (8,4)	2,3	3,7	3,0
	60	Stroh	60	8,0	10,0	9,0	1,1 (2,5)	1,2 (2,8)	1,2 (2,7)	45,7 (55,0)	56,4 (68,0)	51,0 (61,5)	6,5	8,5	7,5
Ölhanf	13	Körner	90	40,0	52,0	46,0	8,7 (20,0)	13,1 (30,0)	10,9 (25,0)	5,8 (7,0)	12,5 (15,0)	9,1 (11,0)	4,1	6,7	5,4
	60	Stroh	85	7,0	11,0	9,0	1,3 (3,0)	2,2 (5,0)	1,7 (4,0)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	11,6 (14,0)	1,0	2,0	1,5

¹ Erträge und Gehalt bezogen auf die Trockensubstanz (TS).

Kultur	Ertrag des Ernteprodukts dt/ha	Produkt	TS-Gehalt %	Nährstoffgehalt (kg/t Frischsubstanz)											
				N			P (P ₂ O ₅)			K (K ₂ O)			Mg		
				Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert	Min.	Max.	Wert
Faserhanf	100	Stängel	85	2,0	4,0	3,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	1,3 (3,0)	5,8 (7,0)	9,1 (11,0)	7,5 (9,0)	0,3	0,7	0,5
	40	Körner/ Blätter	90	23,0	32,0	27,5	5,2 (12,0)	7,8 (18,0)	6,5 (15,0)	16,6 (20,0)	29,1 (35,0)	22,8 (27,5)	3,0	7,0	5,0
Öllein	20	Körner	90	45,0	64,0	54,5	3,9 (9,0)	6,5 (15,0)	5,2 (12,0)	5,8 (7,0)	10,0 (12,0)	7,9 (9,5)	0,3	0,7	0,5
	25	Stroh	85	4,0	8,0	6,0	1,7 (4,0)	2,6 (6,0)	2,2 (5,0)	10,8 (13,0)	19,1 (23,0)	14,9 (18,0)	0,5	1,2	0,9
Faserlein (Flachs)	45	Körner	85	8,0	12,0	10,0	2,6 (6,0)	3,5 (8,0)	3,1 (7,0)	12,5 (15,0)	20,8 (25,0)	16,6 (20,0)	1,0	3,0	2,0
	15	Stroh	90	45,0	64,0	54,5	3,9 (9,0)	6,5 (15,0)	5,2 (12,0)	5,8 (7,0)	10,0 (12,0)	7,9 (9,5)	0,3	0,7	0,5
Chinaschilf ¹	200	Ganz- pflanze	100	1,8	2,4	2,1	0,3 (0,8)	0,5 (1,1)	0,4 (1,0)	3,7 (4,5)	5,6 (6,7)	4,6 (5,6)	0,2	0,3	0,3
Kenaf ¹	50	Ganz- pflanze	100	15,0	25,0	20,0	3,9 (9,0)	6,5 (15,0)	5,2 (12,0)	10,0 (12,0)	16,6 (20,0)	13,3 (16,0)	1,0	3,0	2,0
Eiweisserbsen	40	Körner	85	30,0	40,0	35,0	3,5 (8,0)	5,2 (12,0)	4,4 (10,0)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,9	1,5	1,2
	50	Stroh	85	16,0	24,0	20,0	2,2 (5,0)	4,4 (10,0)	3,3 (7,5)	10,8 (13,0)	15,8 (19,0)	13,3 (16,0)	1,8	2,6	2,2
Ackerbohnen	40	Körner	85	30,0	50,0	40,0	4,8 (11,0)	7,4 (17,0)	6,1 (14,0)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	11,6 (14,0)	2,0	3,0	2,5
	45	Stroh	85	20,0	40,0	30,0	1,3 (3,0)	1,7 (4,0)	1,5 (3,5)	12,5 (15,0)	20,8 (25,0)	16,6 (20,0)	2,8	3,8	3,3
Sojabohne	30	Körner	85	45,0	75,0	60,0	4,4 (10,0)	7,8 (18,0)	5,1 (11,7)	12,5 (15,0)	19,1 (23,0)	16,0 (19,3)	2,0	3,0	2,0
	30	Stroh	85	25,0	45,0	35,0	4,4 (10,0)	6,5 (15,0)	5,1 (11,7)	16,6 (20,0)	33,2 (40,0)	17,8 (21,4)	2,9	8,0	2,9
Süsslupine	30	Körner	88	45,0	65,0	55,0	3,5 (8,0)	5,2 (12,0)	4,4 (10,0)	9,1 (11,0)	13,3 (16,0)	11,2 (13,5)	1,6	2,4	2,0
	30	Stroh	85	25,0	45,0	35,0	1,3 (3,0)	2,2 (5,0)	1,7 (4,0)	12,5 (15,0)	20,8 (25,0)	16,6 (20,0)	3,0	5,0	4,0
Gründung ¹ (Leguminosen)	35	Ganz- pflanze	100	34,1	49,4	43,6	3,0 (6,9)	5,8 (13,3)	4,5 (10,3)	22,8 (27,5)	41,2 (49,6)	29,1 (35,1)	1,9	3,4	2,7
Gründung ¹ (Nicht- Leguminosen)	35	Ganz- pflanze	100	10,6	38,6	24,2	2,7 (6,2)	10,2 (23,4)	3,9 (8,9)	16,1 (19,4)	64,8 (78,1)	40,9 (49,3)	1,1	6,1	2,2
Zwischen- futter ¹	25	Ganz- pflanze	100	24,0	32,0	28,0	3,5 (8,0)	4,8 (11,0)	4,1 (9,5)	20,8 (25,0)	37,4 (45,0)	29,1 (35,0)	2,0	3,0	2,5
Tabak Burley ¹	25	Blätter	100	25,0	35,0	30,0	2,8 (6,5)	3,5 (8,0)	3,2 (7,3)	33,2 (40,0)	49,8 (60,0)	41,5 (50,0)	2,3	3,3	2,8
	30	Stängel	100	20,0	26,0	23,0	2,8 (6,5)	3,5 (8,0)	3,2 (7,3)	29,1 (35,0)	45,7 (55,0)	37,4 (45,0)	1,5	2,5	2,0
Tabak Virginie ¹	25	Blätter	100	20,0	30,0	25,0	2,2 (5,0)	2,6 (6,0)	2,4 (5,5)	33,2 (40,0)	45,7 (55,0)	39,4 (47,5)	1,5	2,5	2,0
	25	Stängel	100	8,0	12,0	10,0	3,3 (7,5)	4,1 (9,5)	3,7 (8,5)	33,2 (40,0)	49,8 (60,0)	41,5 (50,0)	3,0	5,0	4,0
Reis	60	Körner		9,0	13,0	11,0	2,6 (4,0)	3,5 (8,0)	3,0 (6,0)	3,3 (4,0)	5,8 (7,0)	4,6 (5,5)	0,6	1,2	0,9
	60	Stroh		6,0	7,0	6,5	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	1,3 (3,0)	10,8 (13,0)	23,2 (28,0)	17,0 (20,5)	1,2	2,4	1,8

¹ Erträge und Gehalt bezogen auf die Trockensubstanz (TS).



9/ Düngung von Grasland

Olivier Huguenin-Elie¹, Eric Mosimann², Patrick Schlegel³,
Andreas Lüscher¹, Willy Kessler¹ und Bernard Jeangros²

¹ Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

² Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

³ Agroscope, 1725 Posieux, Schweiz

Auskünfte: olivier.huguenin@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einführung.....	9/3
2. Grundprinzipien	9/3
3. Erträge von Wiesen und Weiden	9/3
4. Nährstoffgehalt des Wiesenfutters.....	9/5
5. Nährstoffentzug	9/7
6. Düngungsempfehlungen	9/7
6.1 Stickstoffdüngung	9/7
6.2 Phosphordüngung.....	9/13
6.3 Kaliumdüngung	9/13
6.4 Magnesiumdüngung	9/14
6.5 Schwefeldüngung.....	9/14
7. Diagnose aufgrund des Nährstoffgehalts des Futters	9/14
8. Hofdünger	9/15
9. Nährstoffrücklieferungen auf der Weide	9/16
10. Kalkung.....	9/16
11. Literatur	9/17
12. Tabellenverzeichnis.....	9/20
13. Abbildungsverzeichnis.....	9/20
14. Anhang	9/21

1. Einführung

Wiesen und Weiden sind Gemeinschaften zahlreicher Pflanzenarten von unterschiedlichem agronomischem und naturschützerischem Wert. Ihre Düngung unterscheidet sich von derjenigen anderer Kulturen darin, dass sie auf eine langfristig ausgerichtete Strategie der Aufrechterhaltung des gewünschten botanischen Gleichgewichts ausgerichtet sein muss. Die Düngung hat also zum Ziel, zur Erhaltung einer Vegetation beizutragen, die den Umweltbedingungen und den Zielen des Bewirtschafters oder der Bewirtschafterin angepasst ist, damit eine gute Futterqualität und ein angemessener Ertrag sichergestellt werden kann. Die Düngung beeinflusst die Qualität des geernteten Futters in erster Linie durch die Auswirkungen auf die botanische Zusammensetzung des Graslands. Die Qualität des geernteten Produkts betrifft ausserdem – im Unterschied zu den meisten anderen Kulturen – die Blätter und die Stängel der Pflanzen. In diesem Modul bezieht sich der Begriff «Grasland» auf das System Boden–Pflanzen einer Wiese oder Weide, und das darauf produzierte Erntegut wird als «Futter» bezeichnet.

2. Grundprinzipien

- Die Düngung von Wiesen und Weiden berücksichtigt nicht nur den Nährstoffentzug der Pflanzen und den Nährstoffversorgungszustand des Bodens, sondern auch die botanische Zusammensetzung, d. h. den Bedarf des Vegetationstyps, der gefördert werden soll. In Naturwiesen mit 50–70 % Gräsern, 10–30 % Leguminosen und 10–30 % Kräutern fällt in den meisten Fällen schmackhaftes Futter von guter Qualität an. Die verschiedenen Arten, die sich in einer Wiese entwickeln, haben unterschiedliche Ansprüche an das Nährstoffangebot.
- Um eine gute und langfristig stabile botanische Zusammensetzung zu begünstigen und zu erhalten sowie die übermässige Entwicklung unerwünschter Arten zu vermeiden, muss die Düngung zwingend an die Bewirtschaftungsintensität angepasst werden (Abbildung 1). Diese richtet sich in erster Linie nach den natürlichen standörtlichen Voraussetzungen. Sind die Bedingungen dem Gedeihen guter Futterpflanzen wenig förderlich (raues Klima, Nordhang, flachgründiger oder schwerer Boden, schattige Lage usw.), ist eine intensive Bewirtschaftung nicht zu empfehlen. Bei günstigen Bedingungen kann eine der vier Intensitätsstufen der Bewirtschaftung ausgewählt werden.

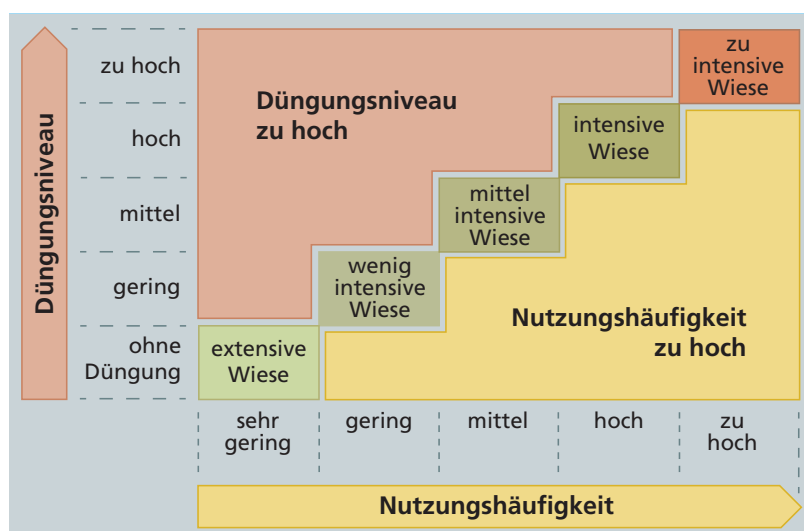


Abbildung 1 | Intensitätsstufen im Futterbau in Abhängigkeit der Nutzungshäufigkeit und des Düngungsniveaus (insbesondere Stickstoffdüngung).

Nährstoffreiche Böden lassen allerdings die Entwicklung artenreicher extensiver Wiesen nicht zu.

- Hofdünger stellen auf Graslandbetrieben die wichtigste Nährstoffquelle dar. Eine fundierte Steuerung der Düngung erfordert deshalb einen optimalen Einsatz des Hofdüngers auf Stufe des Betriebs. Grundsätzlich wird der Bedarf des Graslands zu einem beträchtlichen Teil, oder sogar ganz, durch das Ausbringen von Hofdüngern gedeckt, die einen grossen Teil der mit dem Wiesenfutter von der Fläche weggeführten Nährstoffe enthalten.
- Die Erträge des Graslands werden normalerweise nicht gemessen und sind deshalb selten direkt bekannt. Die für die Berechnung des Düngungsplans für das Grasland im Voraus geschätzten Ertragswerte müssen deshalb über den Vergleich mit dem geschätzten Futterverzehr der Tiere überprüft werden.
- Die Folgen von Nutzungs- und Düngungsfehlern sind im Grasland normalerweise nicht sofort wahrnehmbar. Das Verbessern von degenerierten Naturwiesen oder -weiden ist aber immer schwierig und erfordert mehrere Jahre.

3. Erträge von Wiesen und Weiden

Die Erträge von Grasland werden durch die botanische Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft (z. B. Nyfeler *et al.* 2009; Husse *et al.* 2016), durch die klimatischen Bedingungen sowie durch die Eigenschaften des Bodens (Mosimann 2005) beeinflusst. Die Erträge gehen im Allgemeinen mit zunehmender Höhe zurück (kürzere Vegetationsperiode). Bei gedüngtem Grasland beträgt diese Ertragsminderung pro Hektare zwischen drei und sechs Dezitonnen Trockensubstanz (dt TS) pro 100 m höherer Lage, je nach Nutzungsart, Bewirtschaftungsintensität sowie Boden- und Klimabedingungen (Dietl 1986). Die in Tabelle 1a aufgeführten Gleichungen dienen der Berechnung des Richtwerts für den durchschnittlichen Ertrag bei der entsprechenden Höhenlage. Tabelle 1b enthält als Beispiele die Richtwerte für die Durchschnittserträge einiger Höhenlagen. Die vorhandenen Daten zeigen, dass sich der Ertrag in der Schweiz unterhalb von 500 m ü. M. nicht mehr wesentlich mit der Höhenlage verändert. Der geschätzte Ertrag in tieferen Lagen entspricht demnach dem für eine Höhenlage von 500 m berechneten Durchschnittsertrag.

Da landwirtschaftliche Flächen futterbaulich genutzt werden, die bezüglich ihrer Boden- und Klimabedingungen ausserordentlich heterogen sind, variiert selbst innerhalb einer bestimmten Höhenlage der potenzielle Ertrag sehr stark. Aus diesem Grund ist in Tabelle 1b für die Erträge einer bestimmten Höhenlage ein relativ breites Intervall ($\pm 15\%$) angegeben. Die Weite dieses Intervalls entspricht dem 75%-Prädiktionsintervall für die mit dem verfügbaren Datensatz berechneten Regressionen. Wenn die Bedingungen für das Graswachstum besonders günstig sind, ist es möglich, einen höheren Ertrag als den angegebenen Durchschnittswert zu erreichen, insbesondere mit bestimmten Kunstwiesen (obere Ertragswerte der Intervalle). Im Gegensatz dazu ist bei einer unzureichenden Sonneneinstrahlung (Nordhang, Waldrand), oder wenn die Pflanzen wiederholt unter Wassermangel oder -überfluss leiden (flachgründiger und leichter Boden, schwerer und verdichteter Boden, zu geringe oder zu ausgiebige Niederschläge; Mosimann *et al.* 2013; Hoekstra *et al.* 2014), der Ertrag vermindert (untere Ertragswerte der Intervalle). Im Jura zum Beispiel, wo das Klima bei gleicher Höhenlage rauer ist als in den Voralpen oder Alpen (Lauber *et al.* 2012), werden eher Erträge im unteren Bereich der in Tabelle 1b aufgeführten Intervalle erreicht.

Es ist auch wichtig, den Ertrag der Parzellen nicht zu überschätzen, indem die Intensität der Bewirtschaftung überbewertet wird. Dies insbesondere in der Höhe, wo die Voraussetzungen für eine intensive Bewirtschaftung des Graslands seltener als im Talgebiet gegeben sind. Es bestehen auch beträchtliche Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren. So betrug der Variationskoeffizient des jährlichen Ertrags einer gedüngten Wiese im Jura 17% (Messreihe von 30 Jahren) und bei einer Wiese in den Zentralalpen 18% (Messreihe von 24 Jahren; siehe auch Mosimann *et al.* 2012).

Die Verfügbarkeit von Wasser hat eine ausgeprägte Wirkung auf den Ertrag. Die durch eine Trockenheit verursachte Ertragsminderung liegt in der Grössenordnung von 5–15 dt TS/ha pro 100 mm Niederschlagsdefizit (Lazzarotto *et al.* 2010; Meisser *et al.* 2013; Mosimann *et al.* 2013). Wenn die Trockenheit ausgeprägter in tieferen als in höheren Lagen ist, kann die Beziehung zwischen Höhenlage und Ertrag verzerrt oder sogar umgekehrt werden. Dies wird auf den Versuchspartellen von Agroscope in der Region von Changins regelmässig beobachtet. Der Ertrag von Kunstwiesen liegt im ersten Hauptnutzungsjahr rund 10% über dem Ertrag der folgenden Jahre (Lehmann *et al.* 2001).

Die in den Tabellen 1a und 1b aufgeführten Ertragswerte sind also nur Richtwerte, die sich auf durchschnittliche Bedingungen in den betreffenden Zonen beziehen. Es ist also unumgänglich, die Höhe der Erträge auf Betriebsebene auf der Grundlage der über mehrere Jahre berechneten Bilanz des Futtermittels zu justieren (Schätzung der von den Tieren verzehrten Futtermenge unter Berücksichtigung von Futter, das nicht aus dem Grasland stammt, sowie von zugekauftem und verkauftem Futter).

Tabelle 1a | Beziehung zwischen Höhenlage (m ü. M.) und potenziellem durchschnittlichem Ertrag (dt TS/ha) nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität.

Der angegebene Mittelwert ist mit einer relativ grossen Unsicherheit verbunden. Unterhalb von 500 m ü. M. entspricht die Schätzung des Ertrags demjenigen für die Höhe von 500 m ü. M.

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität	Durchschnittlicher Jahresertrag (dt TS/ha) ¹
Wiese	
intensiv	159 – 0,058 x Höhe ü. M.
mittel intensiv	121 – 0,046 x Höhe ü. M.
wenig intensiv	80 – 0,032 x Höhe ü. M.
extensiv	38 – 0,015 x Höhe ü. M.
Weide	
intensiv	133 – 0,046 x Höhe ü. M.
mittel intensiv	101 – 0,038 x Höhe ü. M.
wenig intensiv	65 – 0,026 x Höhe ü. M.
extensiv	30 – 0,012 x Höhe ü. M.

¹ Der Ertrag entspricht der Menge des geernteten oder durch Weidetiere verzehrten Futters; die Feldverluste sind berücksichtigt, nicht aber die Lagerungsverluste (im Silo, am Heustock).

Die in den Tabellen 1a und 1b aufgeführten Erträge von Weiden liegen bei einer gegebenen Höhenlage und Bewirtschaftungsintensität unter den Erträgen von Schnittwiesen, da bei Weidenutzung normalerweise grössere Feldverluste auftreten als bei Schnittnutzung. Durch eine optimale Weideführung wird dieser Unterschied reduziert. Bei Weidenutzung kann der verzehrte Ertrag folgendermassen geschätzt werden:

$$\text{verzehrter Ertrag} = \frac{\text{Besatzdichte} \times \text{Weidedauer} \times \text{Tagesverzehr}}{100}$$

wobei:

- **verzehrter Ertrag:** von den Tieren verzehrter Ertrag in dt TS/ha.
- **Besatzdichte:** Tierdichte auf der beweideten Fläche zu einem bestimmten Zeitpunkt. Sie entspricht der Anzahl Tiere pro Hektare, die sich gleichzeitig auf der Weide aufhält.
- **Weidedauer:** Dauer der Beweidung in Tagen. Sie entspricht der Summe der Weidetage auf der betreffenden Parzelle während eines Jahres.
- **Tagesverzehr:** mittlerer Tagesverzehr auf der Weide für die betreffende Tierkategorie in kg TS/Tier/Tag. Der mittlere Tagesverzehr auf der Weide hängt von der Tierkategorie, der auf der Weide verfügbaren Futtermenge, der Beifütterung mit anderen Futtermitteln und dem Produktionsniveau der Tiere ab. Die Gleichungen, mit denen der Futterverzehr von Rindern, Schafen und Ziegen als Funktion des Produktionsniveaus geschätzt werden kann, sind in den Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch, Agroscope 2017a) aufgeführt.

Tabelle 1b | Beispiele für die Schätzung des jährlich geernteten Ertrags nach Nutzungsart, Bewirtschaftungsintensität und Höhenlage, berechnet mit den in Tabelle 1a angegebenen Gleichungen.

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität Anzahl Nutzungen pro Jahr ¹	Höhenlage (m ü. M.)	Jährlich geernteter Ertrag (dt TS/ha)	
		Durchschnittswert (Richtwert)	Intervall ²
Wiese intensiv			
5–6 Nutzungen	≤ 500	130	111–150
5 Nutzungen	700	119	101–137
4 Nutzungen	900	107	91–123
3–4 Nutzungen ³	1100	96	81–110
3 Nutzungen ³	1300	84	71–97
Wiese mittel intensiv			
4–5 Nutzungen	≤ 500	98	83–112
4 Nutzungen	700	88	75–102
3 Nutzungen	900	79	67–91
2–3 Nutzungen	1100	70	59–80
2 Nutzungen	1300	61	52–70
Wiese wenig intensiv			
3 Nutzungen	≤ 500	64	54–74
3 Nutzungen	700	58	49–66
2 Nutzungen	900	51	44–59
1–2 Nutzungen	1100	45	38–52
1–2 Nutzungen	1300	38	33–44
Weide intensiv (> 3 GVE/ha/Weideperiode)⁴			
6–8 Umtriebe	≤ 500	110	94–127
6–7 Umtriebe	700	101	86–116
5–6 Umtriebe	900	92	78–105
5 Umtriebe ³	1100	82	70–95
4 Umtriebe ³	1300	73	62–84
Weide mittel intensiv (2–3 GVE/ha/Weideperiode)⁴			
5–6 Umtriebe	≤ 500	82	70–95
5 Umtriebe	700	75	63–86
4–5 Umtriebe	900	67	57–77
4 Umtriebe	1100	59	50–68
3 Umtriebe	1300	52	44–60
Weide wenig intensiv (1–2 GVE/ha/Weideperiode)⁴			
2–4 Umtriebe	≤ 500	52	44–60
2–4 Umtriebe	700	47	40–54
2–3 Umtriebe	900	42	35–48
1–3 Umtriebe	1100	36	31–42
1–2 Umtriebe	1300	31	27–36

¹ Der letzte Weideumtrieb im Herbst zählt nur dann als eine Nutzung, wenn noch ein gewisser Ertrag anfällt (verzehrter Ertrag > 10 dt TS/ha).

² Die Intervalle zeigen die Streuung des Ertrags bei einer gegebenen Höhenlage an, die auf die Standortunterschiede und Jahresschwankungen zurückzuführen ist (± 15 %).

³ In Hochlagen ist eine intensive Bewirtschaftung des Graslands selten möglich und eine mittel intensive Bewirtschaftung ist oft besser geeignet.

⁴ Die Grösse «Anzahl GVE/ha/Weideperiode» (mittlere Besatzstärke) erlaubt, die mittlere Bewirtschaftungsintensität der gesamten Weidefläche zu beurteilen, sofern im Stall gar nicht oder nur wenig beigeputtert wird. GVE = Grossvieheinheit.

Die Richtwerte für den jährlichen Verzehr von Grundfutter sind in Tabelle 2 von Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern für alle Tierkategorien wiedergegeben.

4. Nährstoffgehalt des Wiesenfutters

Der Gehalt an Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Schwefel (S) im Futter, das von Grasland geerntet wird, hängt von der botanischen Zusammensetzung, dem Entwicklungsstadium des Bestandes und dem Aufwuchs ab. Der Gehalt an den verschiedenen Mengenelementen ist bei jung geernteten Pflanzen höher als bei später gewonnenem Futter (Daccord *et al.* 2001; Wyss und Kessler 2002; Schlegel *et al.* 2016). Die nach diesen Faktoren aufgeschlüsselten Referenzwerte sind bei Agroscope erhältlich (Agroscope 2017b).

Verschiedene von der Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues (AGFF) und Agridea herausgegebene Unterlagen bieten Unterstützung bei der Bestimmung der wichtigsten Bestandestypen von Wiesen und Weiden sowie der Entwicklungsstadien. Tabelle 2 enthält die Referenzwerte für die Gehalte an N, P, K, Mg und S über die gesamte Vegetationsperiode. Die in Tabelle 2 angegebenen durchschnittlichen Gehalte wurden mit dem Anteil des ersten Aufwuchses am Jahresertrag gewichtet, weil der Gehalt an P, K, Mg und S im ersten Aufwuchs niedriger ist als in den folgenden Aufwüchsen (Schlegel *et al.* 2016). Dieser Gehalt gilt für Graslandbestände mit ausgewogener botanischer Zusammensetzung (zwischen 50 und 70 % Gräser; Agroscope 2017b). Im Vergleich zu diesen Werten enthält ein gräserreiches Futter 5–10 % weniger N, ein leguminosenreiches Futter 10–25 % mehr und ein kräuterreiches Futter 10 % mehr N. Gräserreiches Futter enthält 5–10 % weniger P. Der P-Gehalt eines leguminosenreichen oder kräuterreichen Bestandes ist vergleichbar mit dem P-Gehalt eines Bestandes mit ausgewogener Zusammensetzung. Die angegebenen K-Gehalte gelten auch für gräserreiche und kräuterreiche Bestände. Gräserreiches Futter enthält 5–10 % weniger Mg, kräuterreiches Futter 20–30 % mehr Mg.

Tabelle 2 | Gehalt an Mengenelementen in Graslandbeständen mit ausgewogener botanischer Zusammensetzung, nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität.
(Nach Agroscope 2017b, unter Berücksichtigung des entsprechend späteren Nutzungsstadiums bei abnehmender Bewirtschaftungsintensität.)

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität	Mengenelementgehalt (kg/dt TS)									
	N		P ¹		K ¹		Mg		S	
	Ø ²	Intervall ³	Ø ²	Intervall ³	Ø ²	Intervall ³	Ø ²	Intervall ³	Ø ²	Intervall ³
Wiese										
intensiv	2,5	2,1–2,9	0,36	0,31–0,42	3,0	2,5–3,4	0,19	0,16–0,23	0,19	0,15–0,23
mittel intensiv	2,2	1,8–2,6	0,33	0,28–0,39	2,7	2,3–3,1	0,17	0,14–0,21	0,17	0,13–0,21
wenig intensiv	1,8	1,4–2,2	0,28	0,23–0,34	2,1	1,7–2,6	0,15	0,12–0,19	0,13	0,09–0,17
extensiv	1,4	1,0–1,8	0,23	0,18–0,28	1,4	1,0–1,8	0,14	0,10–0,17	0,11	0,07–0,15
Weide										
intensiv	2,9	2,5–3,3	0,39	0,34–0,45	3,1	2,7–3,6	0,21	0,18–0,25	0,22	0,18–0,26
mittel intensiv	2,5	2,1–2,9	0,36	0,31–0,42	2,9	2,5–3,4	0,19	0,15–0,23	0,19	0,15–0,23
wenig intensiv	2,0	1,6–2,4	0,31	0,26–0,37	2,5	2,1–2,9	0,16	0,13–0,20	0,15	0,11–0,19
extensiv	1,6	1,2–2,0	0,27	0,22–0,33	2,0	1,6–2,4	0,15	0,11–0,18	0,13	0,09–0,17

¹ Der jeweilige Gehalt ausgedrückt in P₂O₅ und K₂O ist im Anhang angegeben.

² Durchschnittlicher Gehalt im Futter des ersten Aufwuchses und der nachfolgenden Aufwüchse, gewichtet nach dem Anteil des ersten Aufwuchses am Jahresertrag.

³ Die Intervalle zeigen die Bandbreite häufig gemessener Werte.

Tabelle 3a | Richtwerte für den jährlichen Nährstoffentzug und Düngungsempfehlungen für N, P, K und Mg in kg pro dt Trockensubstanzertrag, nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität des Graslands.
Diese Düngungsempfehlungen gelten für Natur- und Kunstwiesen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität	Jährlicher Entzug (kg/dt TS)				Düngungsempfehlungen (kg/dt TS)			
	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N ¹	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Wiese²								
intensiv ³	2,5	0,36 (0,82)	3,0 (3,6)	0,19	1,1–1,3	0,36 (0,82)	2,2 (2,7)	0,25
mittel intensiv ³	2,2	0,33 (0,76)	2,7 (3,3)	0,17	0,8–1,1	0,31 (0,71)	1,9 (2,3)	0,20
wenig intensiv	1,8	0,28 (0,64)	2,1 (2,5)	0,15	0,4–0,6	0,25 (0,57)	1,4 (1,7)	0,15
extensiv	1,4	0,23 (0,53)	1,4 (1,7)	0,14	0	0	0	0
Weide⁴								
intensiv ^{5,6}	2,9	0,39 (0,89)	3,1 (3,7)	0,21	1,1–1,3	0,24 \ 0,16 (0,55 \ 0,37)	0,93 \ 0,25 (1,12 \ 0,30)	0,20
mittel intensiv ⁵	2,5	0,36 (0,82)	2,9 (3,5)	0,19	0,7–1,0	0,22 \ 0,14 (0,50 \ 0,32)	0,87 \ 0,20 (1,05 \ 0,24)	0,15
wenig intensiv	2,0	0,31 (0,71)	2,5 (3,0)	0,16	0	0,17 (0,39)	0,37 (0,45)	0
extensiv	1,6	0,27 (0,62)	2,0 (2,4)	0,15	0	0	0	0

¹ Die Düngung der Wiesen und Weiden mit Stickstoff erfolgt in gleichmässigen Gaben zu jedem Aufwuchs entsprechend den Angaben in Tabelle 7; für Luzerne-, Mattenklée- und Esparsette-Mischungen (vom Typ L, M und E) gilt die angegebene Düngungsempfehlung nicht, denn diese erhalten normalerweise keinen N (siehe Kapitel 6.1).

² Bei Mähweidenutzung sind von diesen Düngungsempfehlungen pro Weidenutzung Abzüge gemäss Tabelle 5 vorzunehmen.

³ Die Düngung von Luzerne- und Mattenklée-Mischungen (vom Typ L und M) mit P, K und Mg erfolgt nach den Düngungsempfehlungen für intensive Wiesen, obwohl die Schnitthäufigkeit im Allgemeinen eher einer mittel intensiven Nutzung entspricht.

⁴ Bei den Düngungsempfehlungen für die Weiden sind die Nährstoffrücklieferungen während der Weide bereits berücksichtigt.

⁵ Die P- und K-Düngungsempfehlungen für mittel intensiv und intensiv bewirtschaftete Weiden gelten für ein Weidesystem mit Stallhaltung (erster Wert) oder ohne Stallhaltung (zweiter Wert). Für Mg gelten für beide Fälle dieselben Empfehlungen.

⁶ Diese Empfehlungen gelten auch für Kurzrasenweiden (ohne Umtrieb).

5. Nährstoffentzug

Die Nährstoffentzüge durch die Ernte oder durch den Futtermittelverzehr werden berechnet, indem der TS-Ertrag mit den Nährstoffgehalten in der weggeführten Biomasse multipliziert wird, unabhängig vom Kompartiment des Ökosystems, dem diese Nährstoffe entzogen wurden. Namentlich bei N schliessen die angegebenen Entzüge den N aus der Atmosphäre ein, der den Pflanzen durch symbiotische N-Fixierung zur Verfügung gestellt wird, und nicht nur den aus dem Boden entzogenen N. Die in Tabelle 3a aufgeführten jährlichen Entzüge gelten für die durchschnittlichen Gehalte an Mengenelementen bei Graslandbeständen mit ausgewogener botanischer Zusammensetzung. Die effektiven Entzüge können aber beträchtlich davon abweichen. Bei Weiden entsprechen die in Tabelle 3a angegebenen Entzüge der durchschnittlichen, von den Tieren verzehrten Nährstoffmenge.

6. Düngungsempfehlungen

In Tabelle 3a sind die Düngungsempfehlungen für N, P, K und Mg für Wiesen und Weiden je nach Bewirtschaftungsintensität angegeben. Die Empfehlungen für P, K und Mg gelten für Böden mit einem genügenden Nährstoffversorgungszustand (Versorgungsklasse C). Die Anpassung der Düngungsniveaus für P, K und Mg je nach den Ergebnissen der Bodenanalyse werden mit Hilfe der Korrekturfaktoren vorgenommen, die in Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen beschrieben sind. Im Sinne von Beispielen sind in Tabelle 3b die empfohlenen Nährstoffgaben in kg/ha für die Durchschnittserträge von Tabelle 1b bei der entsprechenden Höhe aufgeführt. Falls der geschätzte Ertrag vom Durchschnittswert (Richtwert) abweicht, muss die Düngermenge durch Multiplikation der in Tabelle 3a aufgeführten Düngungsempfehlungen pro Einheit produzierte Trockensubstanz (kg/dt TS) mit dem geschätzten Ertrag berechnet werden.

Die Beziehung zwischen dem Nährstoffentzug und der Düngungsempfehlung variiert mit der Bewirtschaftungsintensität, um auf die botanische Zusammensetzung und die Futterqualität Rücksicht zu nehmen (Tabelle 4; siehe für Erklärungen die Kapitel zu den verschiedenen Nährstoffen). Für denselben Ertrag entzieht eine häufig genutzte Wiese mehr Nährstoffe als eine weniger intensiv genutzte Wiese. Dies, weil der Nährstoffgehalt von jung geerntetem Futter höher ist als bei einer späten Ernte. Als Folge davon steigen die Düngungsempfehlungen pro Einheit weggeführter Biomasse mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität. Deshalb ist eine treffende Einschätzung der Bewirtschaftungsintensität aufgrund der Nutzungshäufigkeit entscheidend für eine angepasste Düngung. Die Düngungsempfehlungen von Tabelle 3a sind für Natur- und Kunstwiesen identisch. Die Besonderheiten bei Luzerne- und Mattenklée-Mischungen sind in den Bemerkungen zu dieser Tabelle beschrieben. Bei Mähwiesen, die gelegentlich beweidet werden, sind die in Tabelle 5 aufgeführten Nährstoffrücklieferungen pro

Weidenutzung von den Düngungsempfehlungen für Wiesen abzuziehen.

In einer Wiese oder Weide fördert eine übermässige Düngung die Entwicklung stickstoffliebender Pflanzenarten auf Kosten anderer Arten wie insbesondere Leguminosen (Jeangros 1993; Abbildung 4a). Extensiv bewirtschaftete Wiesen mit einer entsprechenden Pflanzengemeinschaft (z. B. Mesobromion) dürfen nicht gedüngt werden, weil die Pflanzenvielfalt durch eine hohe Nährstoffversorgung des Bodens, welche die Dominanz einiger produktiver Arten fördert, stark beeinträchtigt wird (Humbert *et al.* 2015).

Weitere Informationen zu den Düngungsempfehlungen finden sich in den Kapiteln zu den verschiedenen Nährstoffen. In Tabelle 6 sind die Düngungsempfehlungen für Gräser-Leguminosen-Mischungen als Zwischenfrucht, Ägustlen sowie für die Produktion von Gräser- und Futterleguminosensamen aufgeführt.



Abbildung 2 | Die in den Tabellen 1a und 1b aufgeführten Ertragswerte berücksichtigen die Feldverluste (Anwelken, Bodentrocknung), aber nicht die Lagerungsverluste (im Silo, am Heustock; Foto: Cornel J. Stutz, Agroscope).

6.1 Stickstoffdüngung

Die Auswirkung der N-Düngung auf die Graslanderträge wurde in zahlreichen Versuchen bestimmt. Je nach Boden- und Klimabedingungen variiert die Wirksamkeit der N-Düngung sehr stark und liegt bei rund 10–20 kg TS pro kg ausgebrachtem N bei intensiv bewirtschafteten Wiesen mit Gräsern und Klee (Reid 1978; Laidlaw 1980; Reid 1980; Thalmann 1985; Jeangros *et al.* 1994; Zimmermann *et al.* 1997; Elsässer 2000; Lehmann *et al.* 2001; Nevens und Rehuel 2003; Thomet *et al.* 2008; Lalor *et al.* 2011). Bei reinen Grasbeständen liegt diese Wirkung zwischen 20 und 30 kg TS pro kg N (Whitehead 2000). Aufgrund des negativen

Tabelle 3b | Beispiele für die empfohlenen N-, P-, K- und Mg-Düngermengen in kg pro ha und Jahr nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität, berechnet gemäss den Düngungsempfehlungen von Tabelle 3a für die Durchschnittserträge in Tabelle 1b.

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität Anzahl Nutzungen pro Jahr ¹	Höhenlage (m ü. M.)	Jährlicher Ertrag ² (dt TS/ha)	Düngungsempfehlungen (kg/ha/Jahr)					
			N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg
Wiese intensiv³								
5–6 Nutzungen	≤ 500	130	143–170	47	107	287	345	33
5 Nutzungen	700	119	131–154	43	98	261	315	30
4 Nutzungen	900	107	118–139	39	88	236	284	27
3–4 Nutzungen	1100	96	105–124	34	79	210	254	24
3 Nutzungen	1300	84	92–109	30	69	185	223	21
Wiese mittel intensiv³								
4–5 Nutzungen	≤ 500	98	78–107	30	70	185	224	20
4 Nutzungen	700	88	71–97	27	62	168	201	18
3 Nutzungen	900	79	63–87	25	56	150	181	16
2–3 Nutzungen	1100	70	56–77	22	50	133	160	14
2 Nutzungen	1300	61	49–67	19	43	115	140	12
Wiese wenig intensiv³								
3 Nutzungen	≤ 500	64	26–38	16	37	90	108	10
3 Nutzungen	700	58	23–35	14	33	81	98	9
2 Nutzungen	900	51	20–31	13	29	72	86	8
1–2 Nutzungen	1100	45	18–27	11	26	63	76	7
1–2 Nutzungen	1300	38	15–23	10	22	54	64	6
Weide intensiv⁴ (> 3 GVE/ha/Weideperiode)⁵								
6–8 Umtriebe	≤ 500	110	121–143	26 \ 18	60 \ 40	102 \ 28	123 \ 33	22
6–7 Umtriebe	700	101	111–131	24 \ 16	56 \ 37	94 \ 25	113 \ 30	20
5–6 Umtriebe	900	92	101–119	22 \ 15	51 \ 34	85 \ 23	103 \ 28	18
5 Umtriebe	1100	82	91–107	20 \ 13	45 \ 30	77 \ 21	92 \ 25	16
4 Umtriebe	1300	73	81–95	18 \ 12	40 \ 27	68 \ 18	82 \ 22	15
Weide mittel intensiv⁴ (2–3 GVE/ha/Weideperiode)⁵								
5–6 Umtriebe	≤ 500	82	58–82	18 \ 12	41 \ 26	71 \ 16	86 \ 20	12
5 Umtriebe	700	75	52–75	16 \ 10	38 \ 24	65 \ 15	79 \ 18	11
4–5 Umtriebe	900	67	47–67	15 \ 9	34 \ 21	58 \ 13	70 \ 16	10
4 Umtriebe	1100	59	42–59	13 \ 8	30 \ 19	51 \ 12	62 \ 14	9
3 Umtriebe	1300	52	36–52	11 \ 7	26 \ 17	45 \ 10	55 \ 13	8
Weide wenig intensiv (1–2 GVE/ha/Weideperiode)⁵								
2–4 Umtriebe	≤ 500	52	0	9	21	19	23	0
2–4 Umtriebe	700	47	0	8	18	17	20	0
2–3 Umtriebe	900	42	0	7	16	15	18	0
1–3 Umtriebe	1100	36	0	6	14	13	16	0
1–2 Umtriebe	1300	31	0	5	11	12	14	0

¹ Der letzte Weideumtrieb im Herbst zählt nur dann als eine Nutzung, wenn noch ein gewisser Ertrag anfällt (verzehrer Ertrag > 10 dt TS/ha).

² Die für diese Beispiele angenommenen Erträge entsprechen den in Tabelle 1b für die jeweilige Höhe angegebenen Durchschnittswerten. Der erwartete Ertrag der Parzelle muss mit Hilfe der Tabellen 1a und 1b sowie den Erklärungen im Text berechnet werden, um eine an die spezifischen Bedingungen der betroffenen Parzelle angepasste Düngung zu berechnen.

³ Bei Mähweidennutzung sind von diesen Düngungsempfehlungen pro Weidennutzung Abzüge gemäss Tabelle 5 vorzunehmen.

⁴ Die P- und K-Düngungsempfehlungen für mittel intensiv und intensiv bewirtschaftete Weiden gelten für ein Weidesystem mit Stallhaltung (erster Wert) oder ohne Stallhaltung (zweiter Wert).

⁵ Die Grösse «Anzahl GVE/ha/Weideperiode» (mittlere Besatzstärke) erlaubt, die mittlere Bewirtschaftungsintensität der gesamten Weidefläche zu beurteilen, sofern im Stall gar nicht oder nur wenig beigefüttert wird; je nach Standortbedingungen kann die Bewirtschaftungsintensität von einer zur anderen Parzelle stark variieren, weshalb die Düngung jeder Situation speziell angepasst werden muss.

Tabelle 4 | Verhältnis zwischen der Düngungsempfehlung und dem Nährstoffentzug für P, K und Mg, nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität des Graslands.

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität	P	K	Mg
Wiese			
intensiv	1,00	0,75	1,3
mittel intensiv	0,95	0,70	1,2
wenig intensiv	0,90	0,65	1,0
extensiv	–	–	–
Weide			
intensiv ¹	0,60 \ 0,40	0,30 \ 0,08	0,95
mittel intensiv ¹	0,60 \ 0,40	0,30 \ 0,07	0,80
wenig intensiv	0,55	0,15	–
extensiv	–	–	–

¹ Der erste Wert für P und K gilt für ein Weidesystem mit Stallhaltung, der zweite für ein Weidesystem ohne Stallhaltung (Vollweiden). Weitere Erläuterungen für die verschiedenen Weidesysteme sind im Text zu finden.

Tabelle 5 | Rücklieferungen von P, K und Mg pro einzelne Weidenutzung, die für gelegentlich als Weide genutzte Parzellen (Mähweide) von den Düngungsempfehlungen für gedüngte Wiesen abzuziehen sind.

Diese Rücklieferungen gelten für einen durchschnittlichen Verzehr pro Weidenutzung von ungefähr 15 dt TS/ha (verzehrter Ertrag).¹

Bewirtschaftungsintensität	Weidesystem ²	Pro Weidenutzung abzuziehende Düngermenge ³ (kg/ha)				
		P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg
intensiv	Beweidung mit Stallhaltung	2,5	5,7	23	28	2,0
	Beweidung ohne Stallhaltung	3,8	8,7	37	45	3,0
mittel intensiv	Beweidung mit Stallhaltung	2,0	4,5	22	27	1,5
	Beweidung ohne Stallhaltung	2,8	6,5	30	36	2,0
wenig intensiv	alle Systeme	1,7	4,0	19	23	0

¹ Siehe Kapitel 3 für die Schätzung des verzehrten Ertrags.

² Die verschiedenen Weidesysteme sind im Text definiert.

³ Der letzte Weideumtrieb im Herbst zählt nur dann als eine Nutzung, wenn noch ein gewisser Ertrag anfällt (verzehrter Ertrag > 10 dt TS/ha).

Einfluss auf die N-Fixierung und den Leguminosenanteil hat die N-Düngung bei Gräser-Leguminosen-Mischungen eine geringere Wirkung auf den Ertrag (Boller *et al.* 2003; Nyfeler *et al.* 2009; Nyfeler *et al.* 2011; Abbildung 4a zeigt ein Beispiel). Im Gegensatz zu reinen Grasbeständen liegt das Verhältnis zwischen Gesamtertrag und N-Gabe dagegen deutlich höher, wenn Leguminosen vorhanden sind.

Die zu den Aufwüchsen empfohlenen N-Gaben zielen vor allem darauf ab, eine ausgewogene botanische Zusammensetzung zu erhalten: 50–70 % Gräser, 10–30 % Leguminosen (in Kunstwiesen mit L-, M- oder E-Mischungen bis 70 %) und, in Naturwiesen, 10–30 % Kräuter (höchstens 40 % in Mähwiesen höherer Lagen). Durch Verabreichen kleinerer

N-Mengen pro Gabe werden die Leguminosen gefördert; durch grössere Gaben werden die Gräser oder in weniger futterwüchsigen Lagen vor allem die grobstängeligen Kräuter begünstigt (Jeangros 1993; Pauthenet *et al.* 1994; Dietl und Lehmann 2004). Die Vermehrung grobstängeliger Kräuter deutet also oft auf eine zu hohe N-Düngung im Vergleich zur unter den gegebenen Umweltbedingungen sinnvollen Nutzungshäufigkeit hin (Abbildung 3). Pro Gabe sollten nicht mehr als 50 kg N/ha ausgebracht werden. Für das Berggebiet wird davon abgeraten, die empfohlene Menge pro Gabe zu überschreiten, da hier das Risiko einer Verschlechterung des Pflanzenbestandes grösser ist.

Im Futterbau übersteigen die N-Düngungsempfehlungen selten 50 % der mit dem Futter entzogenen N-Menge (Tabelle 3a), da der Pflanzenbestand noch über andere N-Quellen verfügt: symbiotische N-Fixierung durch Leguminosen, Abbau organischer Substanz des Bodens, Nachwirkung regelmässiger Hofdüngergaben, N-Deposition. Bei intensiv bewirtschafteten Wiesen kann mit einer N-Düngung gemäss den Empfehlungen ein Ertrag innerhalb der angegebenen Bandbreite erzielt werden (Tabelle 1b), wenn der Kleeanteil des Bestandes bei mindestens 15 % liegt (siehe Kapitel 6.1.1). Ohne Klee im Bestand wäre für diese Erträge eine höhere N-Düngung erforderlich. Um mit einem reinen Grasbestand denselben Ertrag wie mit einer Gräser-Leguminosen-Mischung zu erreichen, ist allerdings mehr als die doppelte N-Menge notwendig (Whitehead 2000; Nyfeler *et al.* 2009; Husse *et al.* 2016). Aus Gründen der Effizienz des N-Einsatzes wird deshalb dringend vom Anbau reiner Grasbestände für die Futterproduktion für Wiederkäuer abgeraten.

In Tabelle 7 sind die N-Düngungsempfehlungen in Abhängigkeit des Wiesentyps und der Nutzungsart (Mahd oder Weide) enthalten. Sie sind als Menge pro Aufwuchs angegeben, weil die N-Düngung verteilt auf mehrere Gaben während der Vegetationsperiode erfolgen soll. Die in Tabelle 7 angegebenen N-Mengen gelten für eine normale Anzahl jährlicher Nutzungen, die den Angaben in den Tabellen 1a und 3b entspricht. Für eine Mähweide wird als mittlerer Ertrag pro Nutzung 25 dt TS/ha angenommen. Für eine intensive Weide hingegen beträgt der mittlere Ertrag pro Nutzung ungefähr 15 dt TS/ha. Die übliche Anzahl Nutzungen, die für die Ermittlung der jährlichen Standard-Stickstoffdüngung zu berücksichtigen ist, berechnet sich wie folgt:

Tabelle 6 | Jährlicher Entzug von N, P, K und Mg und Düngungsempfehlungen für Gräser-Leguminosen-Mischungen als Zwischenfrucht, bei Sommersaaten von Kunstwiesen (Äugstlen) sowie für die Produktion von Gräser- und Futterleguminosensamen.

Art der Kultur	Ertrag (dt TS/ha)		Jährlicher Entzug (kg/ha)				Düngungsempfehlungen ³ (kg/dt TS bzw. kg/ha)			
	Ø ¹	Intervall ²	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
Gräser-Leguminosen-Mischungen als Zwischenfrucht, Äugstlen (Saatjahr)							1,2	0,36 (0,82)	2,2 (2,7)	0,3
pro Nutzung	25	20–30	70	10 (23)	75 (90)	5	30	9 (21)	55 (66)	8
Samenproduktion										
reine Leguminosen mit mittelintensiver Futterproduktion							0	0,31 (0,71)	1,9 (2,3)	0,25
pro Jahr	120	100–135	360	37 (85)	275 (331)	25	0	37 (85)	228 (275)	30
reine Gräser mit mittelintensiver Futterproduktion							1,4–1,9	0,31 (0,71)	1,9 (2,3)	0,25
pro Jahr	120	100–135	230	39 (89)	266 (321)	26	170–230 ⁴	37 (85)	228 (275)	30
reine Gräser mit sehr intensiver Futterproduktion⁵							1,7–2,0	0,35 (0,80)	2,0 (2,4)	0,25
pro Jahr	135	115–150	265	46 (105)	307 (370)	32	230–270 ⁴	44 (108)	270 (325)	30

¹ Durchschnittswert.

² Die Intervalle zeigen die Streuung des Ertrags, die auf die Standortunterschiede und Jahresschwankungen zurückzuführen ist.

³ Die in kg/ha angegebenen Werte entsprechen den Düngungsempfehlungen für einen erwarteten Ertrag, der dem in der Tabelle aufgeführten Durchschnittswert entspricht.

⁴ Diese Bandbreite entspricht der Spanne der N-Düngungsempfehlungen in kg/dt TS für den entsprechenden Durchschnittsertrag.

⁵ Dieses Produktionssystem ist nur unter besonders günstigen Bedingungen möglich.



Abbildung 3 | Wenn die Standortbedingungen für die Gräser, die viel Stickstoff verwerten können, ungünstig sind, wird die Vermehrung von grobstängeligen stickstoffliebenden Pflanzen (hier *Heracleum sphondylium* L.) durch eine hohe Stickstoffdüngung gefördert (Foto: Cornel J. Stutz, Agroscope).

übliche Anzahl Nutzungen für Mähwiesen	=	Jahresertrag (dt TS/ha)
		25 (dt TS/ha)
übliche Anzahl Nutzungen für intensive Weiden	=	Jahresertrag (dt TS/ha)
		15 (dt TS/ha)

Wenn die tatsächliche Anzahl Nutzungen höher ist, fällt der Ertrag pro Nutzung im Allgemeinen niedriger aus. In diesem Fall muss entweder nicht zu jedem Aufwuchs gedüngt werden, oder die Menge pro Gabe ist so zu reduzieren, dass die Summe aller Gaben die pro Jahr empfohlene N-Menge (= geschätzter Jahresertrag x Düngungsempfehlung in kg N/dt TS gemäss Tabelle 3a) nicht übersteigt. Bei intensiv bewirtschafteten Weiden kann mit fünf zwischen Mai und September ausgebrachten N-Gaben ein regelmässigeres und besser über die Saison verteiltes Graswachstum erreicht werden als mit einer beim Vegetationsstart im Frühjahr beginnenden Stickstoffdüngung. Die Futterproduktion ist dabei im Frühling leicht reduziert, im Sommer und Herbst jedoch leicht höher (Thomet *et al.* 2008). Eine starke Düngung im Herbst erhöht aber das Nitratauswaschungsrisiko während der Wintermonate. Obwohl die empfohlene Menge pro Gabe bei Weidenutzung um 10 kg kleiner ist als bei Schnittnutzung, sind die in beiden Fällen jährlich zu verabreichenden N-Mengen vergleichbar, da Weiden öfter genutzt werden.

Tabelle 7 | Für Grasland empfohlene Stickstoffgaben pro Aufwuchs nach Wiesentyp und Nutzungsart.

Wiesentyp	Empfohlene Gabe pro Aufwuchs bei Mahd (kg N/ha)	Empfohlene Gabe pro Aufwuchs bei Weide (kg N/ha)
Naturwiesen		
intensiv	30 ¹	15–20 ¹
mittel intensiv	25	15
wenig intensiv	15 ²	0 ³
extensiv	0	0
Kunstwiesen		
ein- und zweijährige Mischungen, basierend auf:		
- Italienisch-Raigras und/oder Westerwoldisch-Raigras	30 ^{1,4}	
drei- und mehrjährige Mischung:		
- Luzerne-Gras (L-Mischung)	0 ^{4,5,6}	
- Mattenklée-Gras (M-Mischung)	0 ^{4,5}	
- Gras-Weissklée (G- und G*-Mischung), Gras-Weiderotklée (P-Mischungen)	30 ^{1,4}	20 ^{1,4}
- Esparsette-Gras (E-Mischungen)	0	
- Fromental-, Goldhafer-, Trespenwiese (Standardmischungen 450, 451 und 455)	15 ^{2,7}	
Zwischenfrucht, Äugstlen		
- eine Nutzung	30 ⁴	
- mehrere Nutzungen	30 ⁴	
Leguminosen-, Grassamen-Produktion		
- Leguminosen, Reinbestand	0 ⁴	
- Gras, Reinbestand; Dreschtaufwuchs	50–100 ^{4,8}	
- Gras, Reinbestand; Futteraufwuchs	50	

¹ Für intensive Wiesen, Natur- oder Kunstwiesen (ein- und zweijährige Mischungen, drei- und mehrjährige G- oder G*-Mischungen) kann die N-Gabe pro Aufwuchs erhöht werden, sofern die natürlichen Wachstumsbedingungen günstig sind, und sofern man den Grasanteil erhöhen und den Kleeanteil reduzieren will (höchstens 50 kg N/ha pro Gabe verabreichen).

² In Form von verrottetem Mist, eventuell von stark verdünnter Gülle nach dem ersten Aufwuchs; von regelmässigen Gaben von Gülle oder mineralischem N wird abgeraten.

³ Die N-Menge, die durch die Gabe von Mist zur Deckung des P- und K-Bedarfs verabreicht wird (siehe Tabelle 3a), ist akzeptabel.

⁴ 30 kg N/ha zum Auflaufen sind empfehlenswert; diese Gabe entspricht der Gabe zum ersten Aufwuchs. Handelt es sich um eine überwinternde Zwischenfrucht, die erst im folgenden Frühjahr genutzt wird, muss die N-Gabe auf dieses Frühjahr verlegt werden.

⁵ Bei geringem Kleeanteil können diese Mischungen wie Gras-Weissklée-Mischungen gedüngt werden.

⁶ Eine einmalige Gabe von 30 kg N/ha im Frühling ist empfohlen. Voll- und Hargülle sind vor der Ausbringung stark zu verdünnen.

⁷ Diese Mischungen erhalten keinen N zum Auflaufen.

⁸ 50 kg N/ha bei Wachstumsbeginn im Frühjahr und eventuell eine zusätzliche Gabe (von höchstens 50 kg N/ha, je nach Entwicklung) bei beginnendem Schossen der Gräser.

Ausser für die Ansaat von Mischungen für Esparsette-, Fromental-, Goldhafer- und Trespenwiesen (Standardmischungen 326, 450, 451, 455; Suter *et al.* 2017), die zum Auflaufen nicht mit N gedüngt werden sollten, ist für alle Neuansaaten mit Standardmischungen zum Auflaufen eine Gabe von 20–30 kg N/ha zu empfehlen.

6.1.1 Symbiotische Stickstofffixierung

Leguminosen (*Fabaceae*), insbesondere Klee und Luzerne, bieten zwei wesentliche Vorteile für die N-Versorgung: Sie haben die Fähigkeit grosse N-Mengen ins System einzuspeisen, aber auch, diese Mengen zu reduzieren, falls das System bereits stickstoffreich ist. Die Wurzeln dieser Arten bilden mit Bakterien der Gattung *Rhizobium* eine Symbi-

ose, die den Pflanzen bei einem gewissen Energieaufwand Zugriff auf den Luft-N ermöglicht (symbiotische N-Fixierung). In Situationen mit geringer N-Verfügbarkeit im Boden decken Leguminosen bis zu 90 % ihres N-Bedarfs über die N-Fixierung (z. B. Oberson *et al.* 2013). Dies gilt auch für das Berggebiet (Jacot *et al.* 2000). Wenn die verfügbare N-Menge im Boden steigt, reduzieren die Leguminosen ihre symbiotische Aktivität (z. B. Hartwig 1998). Leguminosen spielen also im N-Haushalt des Systems eine wichtige regulierende Rolle. In Anwesenheit von konkurrenzfähigen Gräsern sinkt ausserdem der Leguminosenanteil im Bestand mit zunehmender N-Verfügbarkeit im Boden (z. B. Jeangros *et al.* 1993). Eine starke Stickstoffdüngung verringert folglich die vom Grasland durch die symbiotische Stickstofffixierung gewonnene N-Menge in

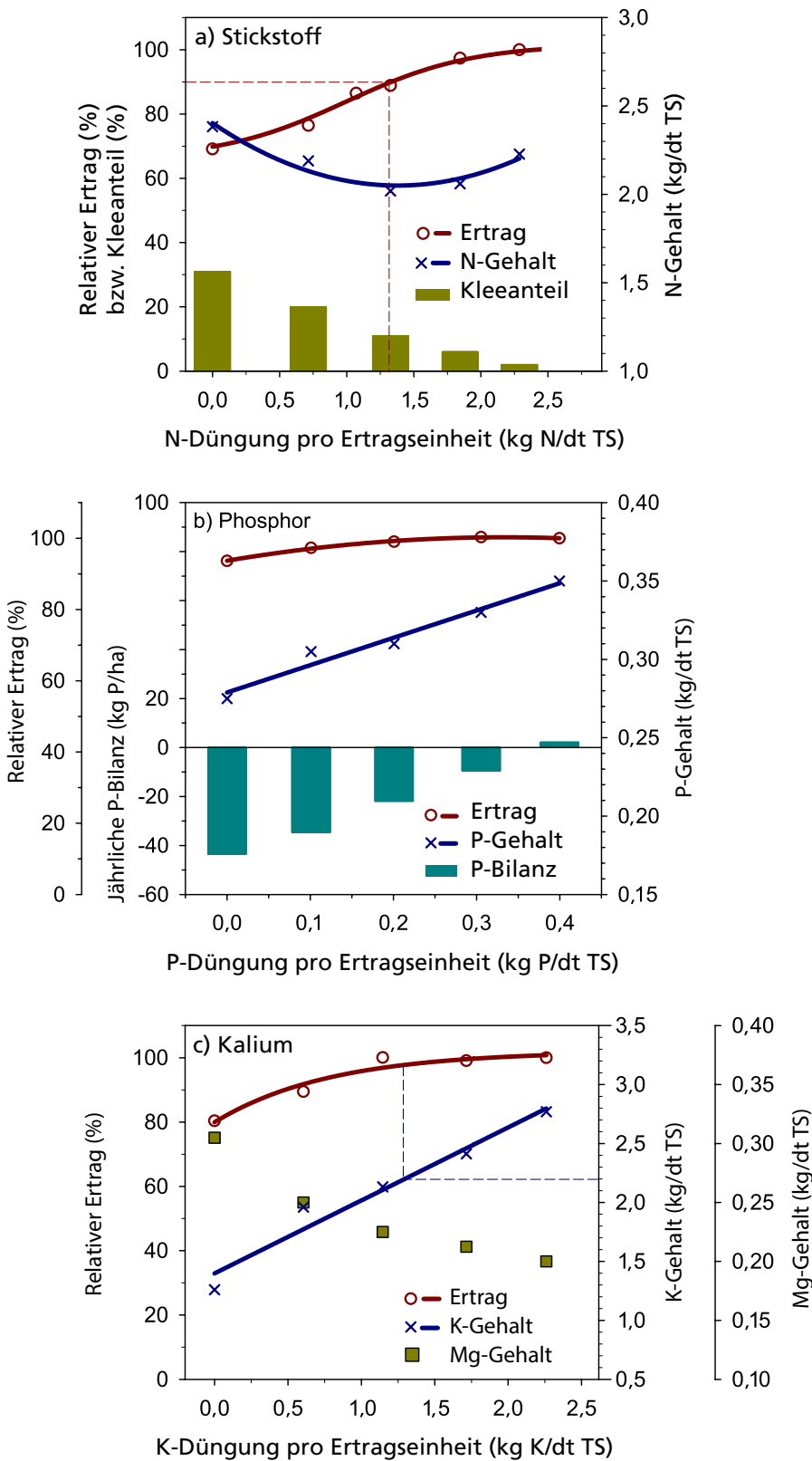


Abbildung 4 | Veranschaulichung der Wirkung der Düngung einer Mähwiese auf Ertrag und Gehalt an N, P, K und Mg. Die dargestellten Ergebnisse wurden nach neun Jahren unterschiedlicher Düngung gemessen. Dieser Düngungsversuch wurde in einer intensiv bewirtschafteten, von Italienischem Raigras (*Lolium multiflorum* Lam.) dominierten Naturwiese in Hohenrain (610 m ü. M., 1100 mm jährliche Niederschlagsmenge) durchgeführt. Am Anfang des Versuchs war der Boden ausreichend mit P und K versorgt. Der relative Ertrag eines Verfahrens entspricht seinem Ertrag im Verhältnis zum Ertrag des Verfahrens mit dem höchsten (maximalen) Ertrag.

a) Wirkung der N-Düngung auf den Ertrag, den Gehalt an Gesamt-N des Futters und den Kleeanteil der Wiese. Die N-Düngermenge betrug 0, 83, 167, 250 oder 333 kg N/ha/Jahr (41 kg P und 232 kg K). In dieser gräserreichen Wiese konnte mit einer Düngung von 1,3 kg N/dt TS 90% des maximalen Ertrags erreicht werden (gestrichelte horizontale und vertikale Linie), wobei ein Anteil von rund 10% Klee in der Wiese erhalten blieb. Mit dieser N-Düngungsmenge lag damit die Ertragswirksamkeit des ausgebrachten N um 30% höher als bei der höchsten Düngermenge. Der N-Gehalt im Futter stieg mit zunehmender N-Düngung nicht, weil der Kleeanteil in der Wiese sank.

b) Wirkung der P-Düngung auf den Ertrag, den P-Gehalt des Futters und die Bilanz zwischen P-Zufuhr und P-Entzug. Die P-Düngermenge betrug 0, 14, 28, 41 oder 55 kg P/ha/Jahre (250 kg N, 232 kg K). Der P-Gehalt im Futter stieg linear mit zunehmender P-Düngung und die P-Bilanz war bei einer P-Düngung zwischen 0,30 und 0,40 kg P/dt TS ausgeglichen.

c) Wirkung der K-Düngung auf den Ertrag, den K- und den Mg-Gehalt des Futters. Die K-Düngermenge betrug 0, 77, 155, 232 oder 310 kg K/ha/Jahr (250 kg N, 41 kg P). Der K-Gehalt des Futters stieg linear mit zunehmender K-Düngung. Bei einem K-Gehalt von 2,2 kg K/dt TS konnte mehr als 90% des maximalen Ertrags erreicht werden (gestrichelte vertikale und horizontale Linie). Der Mg-Gehalt des Futters nahm mit zunehmender K-Düngung ab (antagonistische Wirkung zwischen K und Mg).

kurzer Zeit durch die Reduzierung der symbiotischen Aktivität und längerfristig durch die Verminderung des Leguminosenanteils im Bestand.

Die von einer Wiese durch Fixierung aus der Atmosphäre gewonnene N-Menge variiert stark, je nach Leguminosenanteil, Produktivität des Standorts und N-Versorgung des Bodens. Im Rahmen verschiedener Versuche wurde die Menge des N in der geernteten Biomasse gemessen, die aus der symbiotischen Fixierung stammt. Die Ergebnisse liegen für das Talgebiet bei 100–380 kg N pro Jahr und Hektare (zusammengefasst von Lüscher *et al.* 2014). In Gräser-Leguminosen-Mischungen mit einem Leguminosenanteil von höchstens 50–60 % beträgt die fixierte N-Menge jährlich rund 3–5 kg pro Dezitonne Leguminosenertrag, wobei etwa 2–3 kg mit dem Futter geerntet werden (Boller *et al.* 2003; Høgh-Jensen *et al.* 2004; Unkovich *et al.* 2010).

Über einem Leguminosenanteil von 50–60 % steigt die fixierte N-Menge nicht mehr mit einem zunehmenden Leguminosenanteil (Nyfeler *et al.* 2011). Die jährliche fixierte N-Menge einer Wiese, die 130 dt TS/ha/Jahr produziert und einen Leguminosenanteil von 15 % aufweist, kann deshalb in grober Näherung mit $4 \text{ kg N} \times 130 \text{ dt TS} \times 0,15 = 78 \text{ kg N/ha/Jahr}$ berechnet werden. In der Schweiz an drei Standorten durchgeführte Versuche haben gezeigt, dass eine Wiese mit 15 % Kleeanteil denselben Ertrag bringt wie eine Wiese mit ausschliesslich Gräsern, die 80–100 kg zusätzlichen mineralischen N-Dünger erhält (Nyfeler *et al.* 2009; Husse *et al.* 2016; Hofer *et al.* 2016). Die symbiotische N-Fixierung durch die Leguminosen verbessert die N-Versorgung der Gräser der Pflanzengemeinschaft (Nyfeler *et al.* 2011; Pirhofer-Walzl *et al.* 2012).

6.2 Phosphordüngung

Die Empfehlungen zur P-Düngung beruhen auf dem Ersatz der P-Mengen, die der Parzelle durch Futterernte oder Futterverzehr entzogen werden. Die Anpassung der P-Düngung nach den Ergebnissen der Bodenanalysen wird mit Hilfe der Korrekturfaktoren vorgenommen, die in Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen beschrieben sind. Um die Pflanzenvielfalt wenig intensiv bewirtschafteter Wiesen zu erhalten, liegen die P-Düngungsempfehlungen bei dieser Bewirtschaftungsintensität leicht unter den entzogenen P-Mengen (Tabelle 4). In diesem Fall werden die jährlich pro Hektare fehlenden 1–2 kg P den Bodenreserven entzogen.

Durch die P-Düngung kann der Ertrag einer Wiese erhöht werden, wenn der P-Versorgungszustand des Bodens ungenügend ist (Duru und Ducrocq 1997; Philipp *et al.* 2004). Der Ertrag steigt jedoch mit zunehmender P-Düngung nur so lange, bis der P-Versorgungszustand des Bodens die Versorgungsklasse «genügend» erreicht hat (Gallet *et al.* 2003; Liebisch *et al.* 2013). Wenn der P-Gehalt im zu Beginn des Ährenschiebens geernteten Futter des ersten Aufwuchses mindestens 0,30 kg/dt TS beträgt, ist P für den Ertrag nicht limitierend (Liebisch *et al.* 2013). Dieser P-Gehalt im Futter entspricht dem Referenzgehalt (Agroscope

2017b). Im Allgemeinen steigt der P-Gehalt im Futter mit zunehmender P-Düngung (Gallet *et al.* 2003; Philipp *et al.* 2004; Stroia 2007). Dies auch dann noch, wenn der für ein optimales Wachstum erforderliche P-Gehalt bereits überschritten wurde (Liebisch *et al.* 2013), was einem Luxuskonsum der Pflanzen entspricht. Durch die Zunahme des P-Gehalts im Futter wird jedoch kein P-Entzug erreicht, welcher die Erhöhung der P-Düngung kompensiert. Durch eine Düngung, die über der empfohlenen Menge liegt, kommt es deshalb in jedem Fall zu einer positiven Bilanz zwischen P-Eintrag und P-Entzug (in Abbildung 4b ist ein Beispiel dargestellt). Wenn diese Bilanz über längere Zeit positiv bleibt, wird P im Boden angereichert (Messiga *et al.* 2014). Damit können sich im Boden unter Grasland beträchtliche P-Reserven akkumulieren (Roger *et al.* 2014). In Naturwiesen kommt es durch die P-Düngung zu einer bedeutenden Zunahme der P-Konzentration in den obersten Zentimetern des Bodens (Schärer *et al.* 2007). Eine P-Akkumulation im Boden erhöht das Risiko von P-Verlusten in die Umwelt (Stamm *et al.* 1998; Jordan *et al.* 2005).

6.3 Kaliumdüngung

Eine hohe K-Verfügbarkeit im Boden führt zu einem Luxuskonsum durch die Pflanzen und zu einem hohen K-Gehalt im Futter. Dadurch wird die Aufnahme von Mg und Calcium (Ca) durch die Pflanzen gehemmt (antagonistische Wirkung; Kayser und Isselstein 2005; in Abbildung 4c ist ein Beispiel dargestellt). Zusammen mit anderen Nährstoffen begünstigt eine hohe K-Verfügbarkeit auch die Entwicklung bestimmter unerwünschter Pflanzen (z. B. Doldenblütler). Wegen der hohen K-Verfügbarkeit in vielen für den Futterbau genutzten Böden ist in der Schweiz gegenwärtig das meiste Wiesenfutter kaliumreich (ca. 2,5–3,5 kg K/dt TS im Futter, das zu Beginn des Ährenschiebens geerntet wurde). Der K-Gehalt im Futter liegt dabei ebenfalls oft über dem für die Fütterung von Herbivoren empfohlenen Werten (Schlegel und Kessler 2015), wodurch die Mg-Aufnahme durch die Wiederkäuer eingeschränkt wird und eine erhöhte Mg-Ergänzung in der Fütterung erforderlich ist. Die Düngungsempfehlungen für Wiesen und Weiden beruhen auf einem idealen K-Gehalt (2,2 kg K/dt TS im Stadium Beginn des Ährenschiebens), der ein gutes Wachstum der Pflanzen gewährleistet (Duru und Thélier-Huché 1995; Keady und O’Kiely 1998), eine ausgewogene botanische Zusammensetzung begünstigt und den K-Bedarf der Tiere zu decken vermag.

Die Anpassung der K-Düngung je nach Ergebnissen der Bodenanalyse wird mit Hilfe der Korrekturfaktoren vorgenommen, die in Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen beschrieben sind. Obwohl die Düngungsempfehlungen für K seit vielen Jahren bei den mit K sehr gut versorgten Böden deutlich unter dem Entzug durch die Futterernten liegen, ist der durchschnittliche K-Gehalt im Futter immer noch hoch (Python *et al.* 2010; Schlegel *et al.* 2016). Tatsächlich wird durch Graslandbetriebe nur sehr wenig K exportiert, weil Milch und verkaufte Tiere nur wenig K enthalten (Sieber 2011). Deshalb sinkt der K-Gehalt im Boden und im Futter nur sehr langsam, selbst wenn kein K-Dünger auf den Betrieb zugeführt wird (Jeangros

und Troxler 2006). Da der K-Referenzgehalt in Hofdünger von Herbivoren auf dem effektiven K-Gehalt der Futterra-tion beruht, dessen K hauptsächlich aus dem Wiesenfutter stammt (2,5–3,5 kg K/dt TS), übersteigen die K-Gaben durch Hofdünger den Bedarf der Wiesen und Weiden. In dieser Situation soll der Hofdünger des Betriebs gemäss dem N- und P-Bedarf verteilt und auf den Zukauf von kaliumhaltigen Düngern muss verzichtet werden. Wenn sowohl der ausgebrachte Hofdünger als auch das eingesetzte Futter aus dem Betrieb stammen, belastet aber der berechnete K-Überschuss (Differenz zwischen dem Eintrag über Hofdünger und dem Bedarf des Graslands) die K-Bilanz des Betriebs nicht zusätzlich, da der tatsächliche K-Gehalt des betriebseigenen Hofdüngers im Verhältnis zum K-Gehalt des betriebseigenen Futters steht. Für Graslandbetriebe wird deshalb bei einer Bilanz mit K-Überschuss (Bilanz tierische Ausscheidungen – Bedarf der Kulturen) empfohlen, neben den Hofdüngern keine kaliumhaltigen Dünger einzusetzen. Der berechnete Überschuss eines gegebenen Jahres soll jedoch nicht in die Düngungsbilanz des folgenden Jahres übertragen werden.

Wenn das Futter zwischen 2,0 und 2,5 kg K/dt TS enthält, wird empfohlen, bei der Berechnung des Düngungsplans den K-Gehalt im Hofdünger der Herbivoren des Betriebs im Vergleich zum Referenzwert um 15 % zu senken. Falls der K-Gehalt im Futter unter 2,0 kg K/dt TS liegt, sollte die Reduktion bei 30 % liegen (Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern). Falls eine mineralische K-Düngung erforderlich ist, sollte die jährliche Gabe von mehr als 170 kg K/ha in zwei oder drei Gaben aufgeteilt werden (zum Beispiel zu Beginn der Vegetationsperiode und nach dem ersten oder zweiten Schnitt).

6.4 Magnesiumdüngung

Unseres Wissens wurden nur sehr wenige Untersuchungen zur Wirkung der Mg-Düngung auf den Ertrag von Grasland mit ähnlichen Bodenbedingungen wie in der Schweiz durchgeführt. Die Ertragswirkung ist deshalb für unsere Böden nicht bekannt, obwohl gewisse Untersuchungen in Neuseeland und in den USA durchgeführt wurden (Hogg und Karlovsky 1967; Reinbott und Blevins 1997; Hanly *et al.* 2005). Eine Serie von Topfversuchen hat gezeigt, dass der Mg-Gehalt in den Blättern, ab dem das Wachstum von Raigras vermindert ist (weniger als 0,10 kg/dt TS; Smith 1985), unter den üblicherweise in der Schweiz im Futter gemessenen Gehalte liegt (Tabelle 2). In der Mehrzahl der Fälle ist es deshalb wenig wahrscheinlich, dass eine Mg-Düngung den Ertrag des Graslands positiv beeinflusst. Der für das Wachstum von Futtergräsern kritische Mg-Gehalt liegt jedoch unterhalb des Bedarfs von Milchkühen (Schlegel und Kessler 2015). Ausserdem wird Mg eher leicht aus dem Boden ausgewaschen (Whitehead 2000). Deshalb wird empfohlen, die mit der Futterernte entzogene Mg-Menge näherungsweise durch Düngung zu ersetzen. Im Falle eines für den Bedarf der Tiere zu tiefen Mg-Gehalts im Futter soll die Futterra-tion entsprechend ergänzt werden, und es soll nicht die Mg-Düngung über die Empfehlungen gesteigert werden. Eine hofdüngerbasierte N- und P-Düngung reicht im Allgemeinen, um den Mg-Bedarf des Graslands

zu decken (Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern).

6.5 Schwefeldüngung

Eine ausreichende Versorgung mit S ist für die Proteinsynthese und die Ertragsbildung wichtig. Kunstwiesen, Luzerne-Reinbestände sowie Naturwiesen, die reich an erwünschten Gräsern sind und reichlich mit N gedüngt werden, haben einen beträchtlichen S-Bedarf. Bei solchen Wiesen ist der jährliche S-Entzug in der Grössenordnung von 20–35 kg/ha. In diesen Situationen sollte eine hofdüngerbasierte Düngung bevorzugt werden, weil diese massgeblich zur Versorgung des Graslands mit verfügbarem S beiträgt. Im Falle von S-Mangel kann eine S-Düngung den Ertrag intensiv bewirtschafteter Wiesen deutlich steigern (Mathot *et al.* 2008). Falls erforderlich lässt sich die Ausbringung von mineralischem S effizient mit einer N-Gabe in Form von Ammoniumsulfat verbinden.

Ein S-Mangel kann bei intensiv bewirtschafteten Mähwiesen mit hohen N-Düngergaben auf leichten Böden, die arm an organischer Substanz sind, auftreten. Situationen mit Mangel sind allerdings selten und es ist von einer systematischen S-Düngung abzuraten. Eine Methode zur Evaluation der Risiken eines S-Mangels aufgrund der Boden- und Klimabedingungen und der Bewirtschaftung der betreffenden Parzelle wird im Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen (Kapitel 4.7) erläutert. Für Futtergräser, Luzerne und intensiv bewirtschaftete Wiesen wird in Situationen, in denen das Risiko eines S-Mangels besteht, eine Düngung mit 15–25 kg S/ha empfohlen. In diesen Fällen sollte die Düngung besser im Frühling als im Sommer erfolgen (Aeby und Dubach 2008). Auf Weiden werden rund 90 % des von den Tieren verzehrten S über die Ausscheidungen wieder zurückgeführt (Nguyen und Goh 1994).

7. Diagnose aufgrund des Nährstoffgehalts des Futters

Die Analyse des Nährstoffgehalts im Futter kann eine nützliche Ergänzung zu den Bodenanalysen sein, um eine nachträgliche Beurteilung des Düngungsniveaus des Graslands zu machen. Die allgemeinen Grundsätze bezüglich Pflanzenanalysen sind in Modul 3/ Pflanzenanalysen dargestellt.

Die Beurteilung des Nährstoffversorgungszustands des Graslands aufgrund von Pflanzenanalysen wird dadurch erschwert, dass der Nährstoffgehalt des Futters vom Entwicklungsstadium der Pflanzen zum Zeitpunkt der Probenahme wie auch von der botanischen Zusammensetzung abhängt. Um diese Schwierigkeiten zu überwinden wurden Beurteilungsmethoden entwickelt, die auf dem Verhältnis des Gehalts von zwei oder mehr Elementen beruhen (Salette und Huché 1991; Bailey *et al.* 1997).

Die Methode der P- und K-Ernährungsindizes verwendet zu Beurteilung des P- und K-Ernährungszustands von Gras-

landbeständen das Verhältnis zwischen dem P- bzw. K-Gehalt und dem N-Gehalt im Futter (Duru und Thélier-Huché 1995). Bei diesen Indizes wird der effektive P- bzw. K-Gehalt, der durch Futteranalysen ermittelt wird, mit dem Gehalt verglichen, der ein optimales Wachstum in Abhängigkeit des N-Gehalts ermöglicht. Diese Methode wurde ursprünglich für Gräser-Reinbestände ausgearbeitet. Anschliessend wurde ein Korrekturfaktor für die Berücksichtigung des Leguminosenanteils in gemischten Gräser-Leguminosen-Beständen berechnet (Jouany *et al.* 2004; Jouany *et al.* 2005). Diese Indexmethode wurde an drei verschiedenen Standorten in der Schweiz geprüft (Liebisch *et al.* 2013). Wenn der N-Gehalt und der P- bzw. K-Gehalt aufgrund einer gemischten Probe (Gräser und Leguminosen in derselben Probe) bestimmt wurde, werden die beiden Ernährungsindizes wie folgt berechnet:

Phosphorernährungsindex	=	$100 \times \frac{\text{Phosphorgehalt}}{0,15 + 0,065 \times \text{Stickstoffgehalt}} + (0,5 \times \text{Leguminosenanteil})$
Kaliumernährungsindex	=	$100 \times \frac{\text{Kaliumgehalt}}{1,6 + 0,525 \times \text{Stickstoffgehalt}} + (0,5 \times \text{Leguminosenanteil})$

Bei diesen Gleichungen (Jouany *et al.* 2005) wird der Gehalt an N, P und K in Prozent angegeben, was den in der Tabelle 2 angegebenen Werten in kg pro dt Trockensubstanz entspricht. Die Futteranalysen erfolgen mit Proben, die beim ersten Aufwuchs geerntet werden. Der Leguminosenanteil im Bestand wird als Prozent der geernteten Biomasse angegeben. Diese Indizes gelten nicht für Bestände, die mit N überdüngt sind.

Beispiel: Wenn bei einem Leguminosenanteil von 15 % der Gehalt des Futters 2,5 kg N/dt TS, 0,33 kg P/dt TS und 2,8 kg K/dt TS beträgt, so errechnet sich ein P-Ernährungsindex von 113 und ein Kaliumernährungsindex von 104.

Der Korrekturfaktor für den Leguminosenanteil wurde nicht für Bestände mit mehr als 50 % Leguminosenanteil getestet. Für leguminosenreiche Bestände sollten die Analysen deshalb vorzugsweise bei Futterproben erfolgen, aus denen die Leguminosen entfernt wurden.

Die Interpretation des auf diese Weise errechneten P- bzw. K-Ernährungsindex ist in Tabelle 8 beschrieben. Der P-Ernährungsindex einer Wiese schwankt allerdings über die Jahre beträchtlich (Stroia 2007). Für eine zuverlässige Beurteilung ist deshalb ein Durchschnitt über mehrere Jahre erforderlich.

Das Prinzip der Ernährungsindizes, die auf dem Verhältnis zwischen dem Gehalt an dem betroffenen Nährstoff und dem N-Gehalt des Futters beruhen, wurde auch für S ge-

testet (Mathot *et al.* 2009). Die in dieser Studie ermittelten Schwellenwerte müssen allerdings noch validiert werden, bevor Empfehlungen zur Interpretation des S-Bedarfs abgegeben werden können. Ein S/N-Verhältnis unter 0,07 (von 0,065 bis 0,075 je nach Studie) scheint auf einen S-Mangel zu deuten, während ein Wert darüber eine ausreichende S-Versorgung anzeigt (Bailey *et al.* 1997; Whitehead 2000; Mathot *et al.* 2009). Dieser Richtwert gilt für gräserreiche Bestände, während der Schwellenwert für leguminosenreiche Bestände tiefer liegt (Jones und Sinclair 1991; Whitehead 2000).

8. Hofdünger

Der grösste Teil der Nährstoffe, die dem Grasland durch Ernte und Verzehr durch Tiere entzogen werden, findet sich in den Hofdüngern wieder (siehe Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern). Für Graslandbetriebe erfordert deshalb eine fundierte Steuerung der Düngung eine angepasste Verwertung des Hofdüngers auf Stufe des Betriebs. In Tabelle 6 von Modul 4 sind Richtwerte für den Nährstoffgehalt verschiedener Hofdüngerarten aufgeführt. Diese Tabelle zeigt, dass das Verhältnis zwischen den einzelnen Nährstoffen stark durch die Art des Hofdüngers beeinflusst wird, was bei der Verteilung der Hofdünger auf den Betriebsflächen berücksichtigt werden sollte. So sollte zum Beispiel vermieden werden, kotarme Gülle auf Grasland mit kaliumreichem Boden auszubringen, da das K/N-Verhältnis bei dieser Hofdüngerart besonders hoch ist. Weitere Informationen zum Einsatz von Hofdüngern finden sich in Modul 4.

Tabelle 8 | Düngungsempfehlungen auf der Grundlage des Phosphor- bzw. Kaliumernährungsindex (Interpretation nach Salette und Huché 1991).

Index	Interpretation	Empfehlungen
> 120	Überschuss	P- bzw. K-Düngung in der betreffenden Parzelle reduzieren. Um das optimale Düngungsniveau zu berechnen, sollten der Ertrag und die Bewirtschaftungsintensität aufgrund der Anzahl Nutzungen und der N-Düngermenge überprüft werden, da sie früher möglicherweise überschätzt wurden.
80–120	ausreichend	Düngung entsprechend Empfehlungen von Tabelle 3a.
< 80	ungenügend	Eine Aufdüngung auf der Grundlage der Bodenanalysen gemäss Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen planen.

9. Nährstoffrücklieferungen auf der Weide

Bei Weiden sind die empfohlenen Düngermengen tiefer als die Nährstoffmengen, die durch das verzehrte Futter entzogen werden, da ein Teil der Nährstoffe über die Ausscheidungen der Tiere während des Weidegangs direkt zurückgeführt wird. Bei den in Tabelle 3a aufgeführten Düngungsempfehlungen für Weiden (ohne Schnittnutzung) sind diese Rücklieferungen bereits berücksichtigt.

Die Nährstoffrücklieferungen hängen vom Weidesystem ab, besonders von der täglichen Dauer des Weidegangs und vom während des Weidegangs aufgenommenen Anteil der Futtermenge. Bei intensiv und mittel intensiv bewirtschafteten Weiden gibt Tabelle 3a zwei Düngungsempfehlungen ab. Der erste Wert gilt für Weidesysteme kombiniert mit Stallhaltung, bei denen die Tiere hauptsächlich zum Fressen auf der Weide sind (beispielsweise zur hälftigen Deckung des täglichen Futterbedarfs während fünf bis sechs Stunden täglicher Weidedauer oder zur fast vollständigen Deckung des täglichen Futterbedarfs auf der Weide während höchstens zwölf Stunden täglicher Weidedauer). Der zweite Wert gilt für ein Weidesystem ohne Stallhaltung (die Tiere ernähren sich nur auf der Weide, wo sie sich dauernd – die Melkzeiten beim Milchvieh ausgenommen – aufhalten; Vollweide).

Bei Weidenutzung ohne Stallhaltung bleibt der grösste Teil der mit dem Weidefutter aufgenommenen Nährstoffe auf der Weidefläche und nur ein kleiner Teil wird exportiert. Die Düngungsempfehlungen nehmen allerdings nicht proportional zur Zunahme an Nährstoffausscheidungen auf der Weide ab, weil berücksichtigt wird, dass Kot- und Harnstellen unregelmässiger verteilt anfallen, wenn sich die Tiere permanent auf der Weide aufhalten.

Weiden, die nicht in erster Linie zur Ernährung des Viehs genutzt werden (Auslauf), sollten nicht gedüngt werden, weil die beträchtlichen Nährstoffmengen, die über die Ausscheidungen ausgebracht werden, zur Deckung des Nährstoffbedarfs der Pflanzen ausreichen.

Bei gelegentlich beweideten Wiesen (Mähweiden) werden die während der Beweidung zurückgelieferten Nährstoffe von den Düngungsempfehlungen für Mähwiesen abgezogen. Als Rücklieferungen werden die durchschnittlichen Mengen von Nährstoffen aus den Ausscheidungen bezeichnet, die von den Pflanzen verwertet werden können und während einer durchschnittlichen Weidenutzung anfallen (verzehrter Ertrag von ungefähr 15 dt TS/ha, das heisst ungefähr 95 GVE-Tage/ha bei einem durchschnittlichen Grasverzehr von 16 kg TS/GVE/Tag). In Tabelle 5 sind

die Rücklieferungen an P, K und Mg pro Weidenutzung je nach Bewirtschaftungsintensität und Weidesystem angegeben.

Bis zu 80 % des von den Tieren während des Weidegangs verzehrten N werden der Weide über die Ausscheidungen wieder zurückgeliefert (Haynes und Williams 1993). Der N wird dabei sehr konzentriert deponiert, mit Mengen, die am Ort der Ausscheidungen (Kot- oder Harnstellen) einer Düngung von mehr als 500 kg N/ha entsprechen (Ball und Ryden 1984; Whitehead 2000). Die sehr hohe N-Konzentration am Ort der Ausscheidungen und die unregelmässige Verteilung der Kot- oder Harnstellen verhindern eine effiziente Verwertung dieses N durch die Pflanzen. N, der von den Tieren auf der Weide ausgeschieden wird, ist also für das Produktionssystem deutlich weniger wirksam als N, der von den Tieren im Stall ausgeschieden und danach in Form von Hofdüngern in homogener Weise auf der zu düngenden Fläche verteilt wird. Der über Ausscheidungen auf der Weide deponierte N erfährt höhere Verluste, ist weniger effizient für die Biomasseproduktion und wird weniger effizient durch die Pflanzen aufgenommen als der Hofdünger-N.

Das französische *Institut National de Recherche Agronomique* (INRA) hat kürzlich eine Synthesearbeit über die N-Flüsse in der Landwirtschaft durchgeführt (Peyraud *et al.* 2012). In dieser Studie fassen die Autoren den Stand der Kenntnisse so zusammen, dass der Anteil des ausgeschiedenen N, der am Ort der Ausscheidungen von den Pflanzen aufgenommen wird, für Harn 30–35 % und für Kot nur 10–20 % beträgt. Auf der Grundlage verschiedener Untersuchungen zum Einfluss der Ausscheidungen auf die Produktion von Biomasse kann von einer Ertragserhöhung in der Grössenordnung von 3–5 kg TS pro kg Stickstoff im Durchschnitt für Kot- und Harnstellen ausgegangen werden (Day und Detling 1990; Deenen und Middelkoop 1992; Williams und Haynes 1994; Williams und Haynes 1995; Decau *et al.* 2003; Di und Cameron 2007; Troxler *et al.* 2008; Moir *et al.* 2013; White-Leech *et al.* 2013). Bei einer intensiv durch Milchkühe beweideten Parzelle mit einer Anzahl Weidetage, die für den Verzehr des gesamten auf der Weide produzierten Futters erforderlich ist, beläuft sich der Beitrag des N aus den Ausscheidungen auf der Weide also auf nur rund 5–8 % des Gesamtertrags. Allerdings ergaben sich in den verschiedenen Studien sehr unterschiedliche Werte.

10. Kalkung

Die Kalkung wird in Kapitel 5 von Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen behandelt. Die Besonderheiten in Bezug auf Grasland sind in Kapitel 5.3 dieses Moduls beschrieben.

11. Literatur

- Aeby P. & Dubach S., 2008. Schwefelversorgung von Wiesen: Düngung ausnahmsweise nötig. UFA-Revue 3/2008, 50–51.
- Agroscope, 2017a. Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch). Hrsg. Agroscope, Posieux. Zugang: <http://www.agroscope.ch>
- Agroscope, 2017b. Referenzwerte für Nährwerte von Rauhutter. Hrsg. Agroscope, Posieux. Zugang: <http://www.agroscope.ch>
- Bailey J. S., Cushnahan A. & Beattie J. A. M., 1997. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: II. Model calibration and validation. *Plant Soil* 197, 137–147.
- Ball P.R. & Ryden J.C., 1984. Nitrogen relationships in intensively managed temperate grasslands. *Plant Soil* 76, 23–33.
- Boller B. C., Lüscher A. & Zanetti S., 2003. Schätzung der biologischen Stickstoff-Fixierung in Klee-Gras-Beständen. Schriftenreihe der FAL 45, 47–54.
- Daccord R., Arrigo Y., Kessler J., Jeangros B., Scephovic J., Schubiger F.X. & Lehmann J., 2001. Valeur nutritive des plantes des prairies. 3. Teneurs en calcium, phosphore, magnésium et potassium. *Rev. suisse Agric.* 33, 141–146.
- Day T.A. & Detling J.K., 1990. Grassland patch dynamics and herbivore grazing preference following urine deposition. *Ecology* 71, 180–188.
- Decau M. L., Simon J. C & Jacquet A., 2003. Fate of urine nitrogen in three soils throughout a grazing season. *J. Environ. Qual.* 32, 1405–1413.
- Deenen P. J. A.G. & Middelkoop N., 1992. Effects of cattle dung and urine on nitrogen uptake and yield of perennial ryegrass. *Neth. J. Agr. Sci.* 40, 469–482.
- Di H. J. & Cameron K. C., 2007. Nitrate leaching losses and pasture yields as affected by different rates of animal urine nitrogen returns and application of a nitrification inhibitor – a lysimeter study. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 79, 281–290.
- Dietl W., 1986. Pflanzenbestand, Bewirtschaftungsintensität und Ertragspotential von Dauerwiesen. *Schweiz. Landwirtsch. Monatshefte* 64, 241–262.
- Dietl W. & Lehmann J., 2004. Ökologischer Wiesenbau; Nachhaltige Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf. 136 S.
- Duru M. & Ducroq H., 1997. A nitrogen and phosphorus herbage nutrient index as a tool for assessing the effect of N and P supply on the dry matter yield of permanent pastures. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 47, 59–69.
- Duru M. & Thélier-Huché L., 1995. N and P-K status of herbage: use for diagnosis of grasslands. In: INRA (Ed.), Diagnostic Procedures for Crop N Management and Decision Making, Paris (Les Colloques n° 82), 125–138.
- Elsässer M., 2000. Auswirkungen reduzierter Stickstoffdüngung auf Erträge, Futterwert und botanische Zusammensetzung von Dauergrünland sowie Nährstoffverhältnisse im Boden. *Wissenschaftl. Fachverl.* 164 S.
- Fabre B. & Kockmann F., 2006. Les effets du chaulage sur les prairies permanentes ou de longue durée. Synthèse bibliographique. *Fourrages* 185, 103–122.
- Gallet A., Flisch R., Ryser J.-P., Nösberger J., Frossard E. & Sinaj S., 2003. Uptake of residual phosphate and freshly applied diammonium phosphate by *Lolium perenne* and *Trifolium repens*. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166, 557–567.
- Hanly J. A., Loganathan P. & Currie L. D., 2005. Effect of serpentine rock and its acidulated products as magnesium fertilisers for pasture, compared with magnesium oxide and Epsom salts, on a Pumice Soil. 1. Dry matter yield and magnesium uptake. *New Zeal. J. Agr. Res.* 48, 451–446.
- Haynes R. J. & Williams P. H., 1993. Nutrient Cycling and Soil Fertility in the Grazed Pasture Ecosystem. *Adv. Agron.* 49, 119–199.
- Hofer D., Suter M., Haughey E., Finn J. A., Hoekstra N. J., Buchmann N. & Lüscher A., 2016. Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *J. Appl. Ecol.* 53, 1023–1034.
- Hogg D. E. & Karlovsky J., 1968. The relative effectiveness of various magnesium fertilisers on a magnesium-deficient pasture. *New Zeal. J. Agr. Res.* 11, 171–183.
- Humbert J.-Y., Dwyer J. M., Andrey A. & Arlettaz R., 2015. Impacts of nitrogen addition on plant biodiversity in mountain grasslands depend on dose, application duration and climate: a systematic review. *Glob. Change Biol.* 22, 110–120.
- Husse S., Huguenin-Elie O., Buchmann N. & Lüscher A., 2016. Larger yields of mixtures than monocultures of cultivated grassland species match with asynchrony in shoot growth among species but not with increased light interception. *Field Crops Res.* 194, 1–11.
- Jacot K. A., Lüscher A., Nösberger J. & Hartwig U. A., 2000. Symbiotic N₂ fixation of various legume species along an altitudinal gradient in the Swiss Alps. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1043–1052.
- Jeangros B. & Thöni E., 1994. Utilisation des engrais de ferme sur les prairies permanentes. Synthèse de résultats expérimentaux et recommandations préconisées en Suisse. *Fourrages* 140, 393–406.
- Jeangros B. & Troxler J., 2006. Bilan des éléments fertilisants sur une exploitation laitière de montagne. *Rev. suisse Agric.* 38 (3), 121–125.
- Jeangros B., 1993. Prairies permanentes en montagne. I. Effets de la fréquence des coupes et de la fertilisation azotée sur la composition botanique. *Rev. suisse Agric.* 25, 345–360.
- Jeangros B., Scephovic J., Schubiger F. X., Lehmann J., Daccord R. & Arrigo, Y., 2001. Valeur nutritive des plantes de prairies. 1. Teneurs en matière sèche, matière azotée et sucres. *Rev. suisse Agric.* 33, 73–80.
- Jones M. B. & Sinclair A. G., 1991. Application of DRIS to white clover based pastures. *Commun. Soil Sci. Plan.* 22, 1895–1918.

- Jordan P., Menary W., Daly K., Kiely G., Morgan G., Byrne P. & Moles R., 2005. Patterns and processes of phosphorus transfer from Irish grassland soils to rivers – integration of laboratory and catchment studies. *J. Hydrol.* 304, 20–34.
- Jouany C., Cruz P., Petibon P. & Duru M., 2004. Diagnosing phosphorus status of natural grassland in the presence of white clover. *Eur. J. Agron.* 21, 273–285.
- Jouany C., Cruz P., Theau J. P., Petibon P., Foucras J. & Duru M., 2005. Diagnostic du statut de nutrition phosphatée et potassique des prairies naturelles en présence de légumineuses. *Fourrages* 184, 547–555.
- Kayser M. & Isselstein J., 2005. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass Forage Sci.* 60, 213–224.
- Keady T. M. J. & O’Kiely P., 1998. An evaluation of potassium and nitrogen fertilisation of grassland, and date of harvest, on fermentation, effluent production, dry-matter recovery and predicted feeding value of silage. *Grass Forage Sci.* 53, 326–337.
- Laidlaw 1980. The effects of nitrogen fertilizer applied in spring on swards of ryegrass sown with four cultivars of white clover. *Grass Forage Sci.* 35, 295–299.
- Lalor S.T.J., Schröder J.J., Lantinga E.A., Oenema O., Kirwan L. & Schulte R.P.O., 2011. Nitrogen fertilizer replacement value of cattle slurry in grassland as affected by method and timing of application. *J. Environ. Qual.* 40, 362–373.
- Lauber K., Wagner G. & Gygax A., 2012. *Flora Helvetica – Flore illustrée de Suisse*. Haupt Verlag, Bern.
- Lazzarotto P., Calanca P., Semenov M. & Fuhrer J., 2010. Transient responses to increasing CO₂ and climate change in an unfertilized grass-clover sward. *Climate Res.* 41, 221–232.
- Lehmann J., Rosenberg E. & und Briner H.-U., 2001. Modell für die Berechnung des Ertrages von Klee-Gras-Mischungen. *Agrarforsch.* 8 (9), 364–369.
- Liebisch F., Bünemann E. K., Huguenin-Elie O., Jeangros B., Frossard E. & Oberson A., 2013. Plant phosphorus nutrition indicators evaluated in agricultural grasslands managed at different intensities. *Eur. J. Agron.* 44, 67–77.
- Mathot M., Mertens J., Verlinden G., Lambert R., 2008. Positive effects of sulphur fertilisation on grasslands yields and quality in Belgium. *Eur. J. Agron.* 28, 655–658.
- Mathot M., Thélier-Huché L. & Lambert R., 2009. Sulphur and nitrogen content as sulphur deficiency indicator for grasses. *Eur. J. Agron.* 30, 172–176.
- Meisser M., Deléglise C., Mosimann E., Signarbieux C., Mills R., Schlegel P., Buttler A. & Jeangros B., 2013. Auswirkungen einer ausgeprägten Sommertrockenperiode auf eine montane Dauerweide im Jura. *Agrarforschung Schweiz* 4 (11–12), 476–483
- Messiga A. J., Ziadi N., Bélanger G. & Morel C., 2014. Relationship between soil phosphorus and phosphorus budget in grass swards with varying nitrogen applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78, 1481–1488.
- Moir J. L., Edwards G. R. & Berry L. N., 2013. Nitrogen uptake and leaching loss of thirteen temperate grass species under high N loading. *Grass Forage Sci.* 68, 313–325.
- Mosimann E., 2005. Caractéristiques des pâturages pour vaches laitières dans l’ouest de la Suisse. *Rev. suisse Agric.* 37 (3), 99–106.
- Mosimann E., Deléglise C., Demenga M., Frund D., Sinaj S. & Charles R., 2013. Wasserverfügbarkeit und Futterproduktion im Ackerbauggebiet. *Agrarforschung Schweiz* 4 (11–12), 468–475.
- Mosimann E., Meisser M., Deléglise C. & Jeangros B., 2012. Das Futterpotenzial der Juraweiden. *Agrarforschung Schweiz* 3 (11–12), 516–523.
- Nevens F. and Rehuel D., 2003. Effects of cutting or grazing grass swards on herbage yield, nitrogen uptake and residual soil nitrate at different levels of N fertilization. *Grass Forage Sci.* 58, 431–449.
- Nguyen M. L. & Goh K. M., 1994. Sulphur cycling and its implications on sulphur fertilizer requirements of grazed grassland ecosystems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 49, 173–206.
- Nyfelner D., Huguenin-Elie O., Suter M., Frossard E. & Lüscher A., 2011. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agr. Ecosyst. Environ.* 140, 155–163.
- Nyfelner D., Huguenin-Elie O., Suter M., Frossard E., Connolly J. & Lüscher A., 2009. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. *J. Appl. Ecol.* 46, 683–691.
- Pauthenet Y., Roumet, J. P., Neyroz A., 1994. Influence de la fertilisation azotée sur la végétation de prairies de fauche en vallée d’Aoste (Italie). *Fourrages* 139, 375–378.
- Peyraud J.-L., Cellier P., Donnars C. & Réchauchère O. (éditeurs), 2012. Les flux d’azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France). 68 S.
- Philipp A., Huguenin-Elie O., Flisch R., Gago R., Stutz C., Kessler W. & Sinaj S., 2004. Einfluss der Phosphordüngung auf eine Fromentalwiese. *Agrarforsch.* 11 (3), 86–91.
- Python P., Boessinger M. & Buchmann M., 2010. Teneur moyenne en minéraux majeurs des fourrages secs ventilés selon l’altitude et la situation géographique. *ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung* 33, 159–162.
- Reid D., 1978. The effects of frequency of defoliation on the yield response of a perennial ryegrass sward to a wide range of nitrogen application rates. *J. Agr. Sci., Cambridge* 90, 447–457.
- Reid D., 1980. The effects of rates of potassium application on the production and quality of herbage from a perennial ryegrass sward receiving a wide range of nitrogen rates. *J. Agr. Sci., Cambridge* 95, 83–100.
- Reinbott T. M. & Blevins D. G., 1997. Phosphorus and magnesium fertilization interaction with soil phosphorus level: Tall fescue yield and mineral element content. *J. Prod. Agric.* 10, 260–265.
- Roger A., Libohova Z., Rossier N., Joost S., Maltas A., Frossard E. & Sinaj S., 2014. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma* 217–218, 26–36.

- Salette J. & Huché L., 1991. Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse de végétal: principes, mis en œuvre, exemples. *Fourrages* 125, 3–18.
- Schärer M., Stamm C., Vollmer T., Frossard E., Oberson A., Flühler H. & Sinaj S., 2007. Reducing phosphorus losses from over-fertilized grassland soils proves difficult in the short term. *Soil Use Manage.* 23 (Suppl. 1), 154–164.
- Schlegel P. & Kessler J., 2015. Mineralstoffe und Vitamine. In: *Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch)*, Kapitel 4, Hrsg. Agroscope, Posieux. Zugang: <http://www.agroscope.ch>
- Schlegel P., Wyss U., Arrigo Y. & Hess H.-D., 2016. Mineral concentrations of fresh herbage from mixed grassland as influenced by botanical composition, harvest time and growth stage. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 219, 226–233.
- Sieber R., 2011. Zusammensetzung von Milch und Milchprodukten schweizerischer Herkunft. *ALP Science* Nr. 538, Agroscope, Bern. 40 S.
- Smith G. S., 1985. Critical leaf concentrations for deficiencies of nitrogen, potassium, phosphorus, sulphur, and magnesium in perennial ryegrass. *New Phytol.* 101, 393–409.
- Stamm C., Flühler H., Gächter R., Leuenberger J. & Wunderli H., 1998. Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. *J. Environ. Qual.* 27, 515–522.
- Stroia C., 2007. Etude de fonctionnement de l'écosystème prairial en conditions de nutrition N et P sub limitantes. Application au diagnostic de nutrition. Thèse de doctorat Nn°2446, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Suter D., Rosenberg E., Mosimann E. & Frick R., 2017. Standardmischungen für den Futterbau. Revision 2017–2020. *Agrarforschung Schweiz* 8 (1), 1–16.
- Thalmann H., 1985. Wirkung belüfteter und unbelüfteter Rindergülle unter Schnitt und Beweidung auf Dauergrünland. Diss. Technische Universität München.
- Thomet P., Stettler M., Hadorn M. & Mosimann E., 2008. Pâturages: production pilotée par la fumure azotée. *Rev. suisse Agric.* 40 (1), 41–45.
- Troxler J., Ryser J. P. & Jeangros B., 2008. Influence des déjections bovines sur un gazon de graminées cultivé en lysimètres. *Rev. suisse Agric.* 40 (6), 259–265.
- Unkovich M. J., Baldock J. & Peoples M. B., 2010. Prospects and problems of simple linear models for estimating symbiotic N₂ fixation by crop and pasture legumes. *Plant Soil* 329, 75–89.
- Whitehead D. C., 2000. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships. CAB International, Wallingford. 369 S.
- White-Leech R., Liu K., Sollenberger L.E., Woodard K.R. & Interrante S.M., 2013. Excreta deposition on grassland patches. I. Forage harvested, nutritive value, and nitrogen recovery. *Crop Sci.* 53, 688–695.
- Williams P. H. & Haynes R. J., 1994. Comparison of initial wetting pattern, nutrient concentrations in soil solution and the fate of 15N labelled urine in sheep and cattle urine patch areas of pasture soil. *Plant Soil* 162, 49–59.
- Williams P. H. & Haynes R. J., 1995. Effect of sheep, deer and cattle dung on herbage production and soil nutrient content. *Grass Forage Sci.* 50, 263–271.
- Wyss U. & Kessler J., 2002. L'intensité d'exploitation des prairies influence la teneur en minéraux de l'herbe. *Rev. suisse Agric.* 9, 292–297.
- Zimmermann M., Koch B., Kessler W. & Besson J. M., 1997. Der Güllezeitpunkt entscheidet über die N-Wirkung. *Agrarforsch.* 4 (3), 133–136.

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1a Beziehung zwischen Höhenlage (m ü. M.) und potenziellem durchschnittlichem Ertrag (dt TS/ha) nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität.	9/4
Tabelle 1b Beispiele für die Schätzung des jährlich geernteten Ertrags nach Nutzungsart, Bewirtschaftungsintensität und Höhenlage, berechnet mit den in Tabelle 1a angegebenen Gleichungen.....	9/5
Tabelle 2 Gehalt an Mengenelementen in Graslandbeständen mit ausgewogener botanischer Zusammensetzung, nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität.	9/6
Tabelle 3a Richtwerte für den jährlichen Nährstoffentzug und Düngungsempfehlungen für N, P, K und Mg in kg pro dt Trockensubstanzertrag, nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität des Graslands.....	9/6
Tabelle 3b Beispiele für die empfohlenen N-, P-, K- und Mg-Düngermengen in kg pro ha und Jahr nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität, berechnet gemäss den Düngungsempfehlungen von Tabelle 3a für die Durchschnittserträge in Tabelle 1b.	9/8
Tabelle 4 Verhältnis zwischen der Düngungsempfehlung und dem Nährstoffentzug für P, K und Mg, nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität des Graslands.....	9/9
Tabelle 5 Rücklieferungen von P, K und Mg pro einzelne Weidenutzung, die für gelegentlich als Weide genutzte Parzellen (Mähweide) von den Düngungsempfehlungen für gedüngte Wiesen abzuziehen sind.....	9/9
Tabelle 6 Jährlicher Entzug von N, P, K und Mg und Düngungsempfehlungen für Gräser-Leguminosen-Mischungen als Zwischenfrucht, bei Sommersaaten von Kunstwiesen (Äugstlen) sowie für die Produktion von Gräser- und Futterleguminosensamen.....	9/10
Tabelle 7 Für Grasland empfohlene Stickstoffgaben pro Aufwuchs nach Wiesentyp und Nutzungsart.....	9/11
Tabelle 8 Düngungsempfehlungen auf der Grundlage des Phosphor- bzw. Kalium-ernährungsindex.....	9/15

13. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Intensitätsstufen im Futterbau in Abhängigkeit der Nutzungshäufigkeit und des Düngungsniveaus (insbesondere Stickstoffdüngung).....	9/3
Abbildung 2 Die in den Tabellen 1a und 1b aufgeführten Ertragswerte berücksichtigen die Feldverluste (Anwelken, Bodentrocknung), aber nicht die Lagerungsverluste (im Silo, am Heustock).	9/7
Abbildung 3 Wenn die Standortbedingungen für die Gräser, die viel Stickstoff verwerten können, ungünstig sind, wird die Vermehrung von grobstängeligen stickstoffliebenden Pflanzen (hier <i>Heracleum sphondylium</i> L.) durch eine hohe Stickstoffdüngung gefördert.	9/10
Abbildung 4 Veranschaulichung der Wirkung der Düngung einer Mähwiese auf Ertrag und Gehalt an N, P, K und Mg. Die dargestellten Ergebnisse wurden nach neun Jahren unterschiedlicher Düngung gemessen. Dieser Düngungsversuch wurde in einer intensiv bewirtschafteten, von Italienischem Raigras (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.) dominierten Naturwiese in Hohenrain (610 m ü. M., 1100 mm jährliche Niederschlagsmenge) durchgeführt..	9/12

14. Anhang

Anhang zu Tabelle 2 | Gehalt an P_2O_5 und K_2O in Graslandbeständen mit ausgewogener botanischer Zusammensetzung, je nach Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität (gemäss Agroscope 2017b, unter Berücksichtigung des entsprechend späteren Nutzungsstadiums bei abnehmender Bewirtschaftungsintensität).

Nutzungsart und Bewirtschaftungsintensität	Gehalt an Mengenelementen (kg/dt Trockensubstanz)			
	P_2O_5		K_2O	
	Ø ¹	Intervall ²	Ø ¹	Intervall ²
Wiese				
intensiv	0,82	0,71–0,96	3,6	3,0–4,1
mittel intensiv	0,76	0,64–0,89	3,3	2,8–3,7
wenig intensiv	0,64	0,53–0,78	2,5	2,0–3,1
extensiv	0,53	0,41–0,64	1,7	1,2–2,2
Weide				
intensiv	0,89	0,78–1,03	3,7	3,3–4,3
mittel intensiv	0,82	0,71–0,96	3,5	3,0–4,1
wenig intensiv	0,71	0,60–0,85	3,0	2,5–3,5
extensiv	0,62	0,50–0,76	2,4	1,9–2,9

¹ Gehalt im Durchschnitt des ersten Aufwuchses und der nachfolgenden Aufwüchse, gewichtet nach dem Anteil des ersten Aufwuchses am Jahresertrag.

² Die Intervalle zeigen die Bandbreite häufig gemessener Werte.



10/ Düngung im Gemüsebau

Reto Neuweiler und Jürgen Krauss
Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

Auskünfte: reto.neuweiler@agroscope.admin.ch

Inhalt

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

Foto auf der Vorderseite: Carole Parodi, Agroscope.

1. Einleitung

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

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

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

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

2. Nährstoffbedarf der einzelnen Gemüsearten

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

Tabelle 1a (Fortsetzung)

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

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

Tabelle 1a (Fortsetzung)

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

¹ Ernterückstände werden in der Regel abgeführt.

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

Tabelle 1a (Fortsetzung)

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

* N_{verfügbar} ** N_{verwertbar}

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

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

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

Tabelle 1b (Fortsetzung)

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

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

3. Gezielte Stickstoffdüngung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabelle 2a (Fortsetzung)

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

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

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

³ Wochen nach Wachstumsbeginn im Frühjahr.

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

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

Tabelle 2a (Fortsetzung)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2 Stickstoffdüngung unter Berücksichtigung der Pflanzensaftanalyse

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

4. Schwefeldüngung

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

4.1 Schwefelmangel

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

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

4.2 Schwefelbedarf von Gemüsekulturen

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

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

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

4.3 Einsatz von schwefelhaltigen Düngern

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

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

5. Bedeutung der Versorgung mit Spurenelementen

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

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

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

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

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

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

6. Blattdüngung

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

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

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

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

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

möglichst während der kühleren Abendstunden durchzuführen.

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

7. Einsatz von Recyclingdüngern

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

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

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

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

8. Schlussbetrachtung

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

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

9. Literatur

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

10. Tabellenverzeichnis

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



11/ Düngung von Gemüsekulturen auf Substrat

Céline Gilli und Christoph Carlen
Agroscope, 1964 Conthey, Schweiz

Auskünfte: celine.gilli@agroscope.admin.ch

Inhalt

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

Vorderseite: Tomatenkultur auf Substrat (Foto: Agroscope).

1. Einleitung

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

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

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



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



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

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



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

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

2. Düngungsempfehlungen

2.1 Offene und geschlossene Systeme

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

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

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

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

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

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

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

^a optional.

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

2.2 Zusammensetzung der Nährlösung

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

2.3 Anpassung der Nährlösung

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

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

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

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



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

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

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

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

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

2.4 Zufuhr der Nährlösung

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

3. Literatur

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

4. Tabellenverzeichnis

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

5. Abbildungsverzeichnis

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



12/ Düngung im Weinbau

Jean-Laurent Spring und Thibaut Verdenal
Agroscope, 1009 Pully, Schweiz

Auskünfte : jean-laurent.spring@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einführung	12/3
1.1 Grundsätzliches zur Düngung von Reben	12/3
2. Besonderheiten des Weinbaus	12/3
2.1 Wahl der Unterlage	12/3
2.2 Visuelle Beurteilung der Pflanze	12/3
2.3 Pflanzenanalysen	12/4
2.4 Bodenprofil	12/5
3. Nährstoffbedarf	12/6
3.1 Nährstoff- und physiologische Störungen	12/6
4. Düngungspraxis	12/11
4.1 Stickstoffdüngung	12/11
4.2 Düngung mit Phosphor, Kalium, Magnesium und Bor	12/12
4.3 Zufuhr organischer Substanz	12/13
4.4 Düngung von Jungreben	12/13
4.5 Blattdüngung	12/13
5. Literatur	12/15
6. Tabellenverzeichnis	12/16
7. Abbildungsverzeichnis	12/16

Vorderseite: Agroscope am Standort Pully ist auf die Weinbauforschung spezialisiert (Foto: Carole Parodi, Agroscope).

1. Einführung

1.1 Grundsätzliches zur Düngung von Reben

Das Ziel einer angepassten Düngung im Weinbau ist eine ausgeglichene Ernährung der Reben im Hinblick auf ein zügiges Wachstum und eine gute Qualität der Trauben unter gleichzeitiger Schonung der Umwelt. Die Nährstoffversorgung der Rebe hängt jedoch nicht ausschliesslich von der Düngung ab: Bodeneigenschaften, klimatische Bedingungen und Anbaumethoden spielen eine ebenso wichtige Rolle. Die Bodeneigenschaften des Standorts (Drainage, Gehalt an organischer Substanz, Strukturzustand usw.) und die Anbaumethoden (Bodenpflege, Blattfrucht-Verhältnis usw.) müssen optimal aufeinander abgestimmt werden. Nur so ist es möglich, durch die Düngung den Nährstoffgehalt des Bodens auf lange Sicht im Gleichgewicht zu halten, ohne eine Überdüngung oder Verarmung des Bodens zu riskieren.

Das Nährstoffgleichgewicht der Pflanzen ist eng mit dem Klima verknüpft: entweder durch die direkte Beeinflussung von Stoffwechselfvorgängen in der Pflanze oder durch indirekte Wirkungen auf die Nährstoffdynamik im Boden. Dieses Gleichgewicht, das sich mit einer Pflanzenanalyse bestimmen lässt, widerspiegelt somit die von der Pflanze aufgenommenen Nährstoffe bei bestimmten Klima- und Bodenbedingungen. Zwischen dem Nährstoffgehalt im Boden und dem Nährstoffgehalt in der Pflanze besteht nur ein loser Zusammenhang, weil die Verfügbarkeit und die Aufnahme der Nährstoffe von den Standortbedingungen und insbesondere dem Klima abhängen. Gute Kenntnisse der Bodeneigenschaften unter verschiedenen Klimabedingungen sind daher für das Verständnis der Pflanzenernährung unabdingbar. Es gibt vier sich ergänzende Möglichkeiten, um die Bodenfruchtbarkeit im weiteren Sinne zu erfassen:

- Visuelle Beurteilung der Pflanze zur Feststellung von Nährstoffungleichgewichten und physiologischen Störungen
- Pflanzenanalysen im Verlauf der Vegetationsperiode zur Feststellung visuell nicht erkennbarer Nährstoffstörungen
- Untersuchungen am Bodenprofil zur Beurteilung der Wurzelentwicklung, der Abfolge der Bodenhorizonte, der Bodenstruktur, der Durchlüftung und der Wasserführung
- Bodenuntersuchung zur Schätzung der verfügbaren und/oder gebundenen Nährstoffe im Boden

2. Besonderheiten des Weinbaus

Grundsätzlich beruhen die vorgeschlagenen Düngungsnormen für die Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) auf dem Ersatz der durch die Reben entzogenen Nährstoffe, die aus der Parzelle abtransportiert oder in den verholzten Teilen der Rebe gebunden sind (unter der Annahme, dass das Schnittholz auf der Parzelle verbleibt).

Die Düngungsnormen werden an den Traubenertrag angepasst. Mit Hilfe einer regelmässig wiederholten Bodenuntersuchung und einer davon abgeleiteten Korrektur der Düngungsnorm kann ein über- oder unterversorgter Boden wieder in ein Nährstoffgleichgewicht gebracht werden. Dadurch können Mangelerscheinungen und Nährstoffungleichgewichte (Antagonismen) vermieden werden, die der Kultur oder der Umwelt schaden.

Die Düngungsempfehlungen für Stickstoff (N), den wichtigsten Nährstoff für das vegetative Wachstum der Rebe, richten sich im Wesentlichen nach dem Wuchs der Rebe. Sie sind in einem Konzept eingebunden, das alle Massnahmen berücksichtigt, welche die Verfügbarkeit von N beeinflussen. In einem ersten Schritt wird die N-Versorgung der Rebe aufgrund einer visuellen Beurteilung des N-Ernährungszustandes abgeschätzt. Diese Beurteilung wird dann allenfalls durch Pflanzenanalysen ergänzt. Bei einem Nährstoffungleichgewicht wird in einem zweiten Schritt ein Entscheidungsschema angewendet, das nicht nur die N-Düngung, sondern auch andere stickstoffrelevante Faktoren wie zum Beispiel die Bodenpflege berücksichtigt.

2.1 Wahl der Unterlage

Bei einer Remontierung stellt sich die Frage nach der Wahl einer geeigneten Unterlage. Die Unterlage beeinflusst die Wuchskraft, die Widerstandskraft gegenüber Trockenheit oder gegenüber vorübergehendem Wasserüberschuss, aber auch die Fähigkeit zur Aufnahme spezifischer Nährstoffe. Die Aufnahme von Eisen und die Empfindlichkeit gegenüber einer Eisenchlorose wird sehr stark von der Unterlage beeinflusst sowie von verschiedenen Faktoren im Zusammenhang mit der Bodenart, dem Klima und bestimmten Anbauparametern (Tabelle 6). Der Kalkgehalt des Bodens und insbesondere der Gehalt an Aktivkalk spielen eine zentrale Rolle. Der Aktivkalk ist der Anteil des Gesamtkalks, der aus feinen Kalkteilchen in der Grösse von Ton- oder Schluffpartikeln besteht. Er wird als Aktivkalk bezeichnet, weil diese feinen Kalkteilchen bei gleichem Gewicht eine deutlich grössere Oberfläche zur Neutralisierung von Säuren im Boden haben als die gröberen Bodenbestandteile. In der internationalen Literatur beruht die Wahl der Unterlage teilweise auf dem Gehalt an Aktivkalk. Die Bestimmung des Aktivkalkes im Unterboden vor einer Remontierung wird nur empfohlen für Böden mit einem Gesamtkalkgehalt von über 10%. In Tabelle 1 sind die Schwellenwerte des Gesamtkalk- und des Aktivkalkgehalts für die wichtigsten in der Schweiz verwendeten Unterlagen aufgeführt.

2.2 Visuelle Beurteilung der Pflanze

Wuchskraft, Entwicklung der Trauben und Blattfarbe können Hinweise auf die Funktionsfähigkeit der Wurzeln geben. Für das Erkennen von Nährstoffungleichgewichten sind die entsprechenden Symptome sowie deren zeitliche und örtliche Verteilung in der Parzelle oder Region von Bedeutung (Kapitel 2.4). Besondere Witterungsverhältnisse können das Auftreten von Fehl- oder Mangelernährungssymptomen ebenfalls erklären.

Tabelle 1 | Resistenz gegenüber Eisenchlorose in Abhängigkeit des Gehalts des Bodens an Gesamt- und Aktivkalk.

Unterlage		Gesamtkalk (%)	Aktivkalk (%)
<i>Vitis riparia</i>	Riparia gloire de Montpellier	0–15	0–6
<i>V. riparia</i> x <i>V. rupestris</i>	3309 (Couderc)	0–22	0–11
	101-14 (Millardet und de Grasset)	0–20	0–9
<i>V. riparia</i> x <i>V. berlandieri</i>	5 BB (Kober)	0–40	0–20
	5 C (Téleki)	0–40	0–20
	SO4 (Sél. Oppenheim)	0–35	0–18
	125 AA (Kober)	0–35	0–13
	420 A (Millardet und de Grasset)	0–40	0–20
	161-49 (Couderc)	0–50	0–25
<i>V. berlandieri</i> x <i>V. rupestris</i>	1103 (Paulsen)	0–30	0–17
<i>V. vinifera</i> x <i>V. berlandieri</i>	41B (Millardet und de Grasset)	> 50	0–40
(<i>V. berlandieri</i> x <i>V. vinifera</i>) x (<i>V. berlandieri</i> x <i>V. longii</i>)	Fercal	> 60	> 40
161-49 C x 3309 C	Gravesac	0–15	0–6

2.3 Pflanzenanalysen

Verschiedene analytische Untersuchungsmethoden ergänzen bzw. bestätigen die visuelle Beurteilung der Rebe.

2.3.1 Blattanalyse

Mit Hilfe der Blattanalyse kann die Nährstoffversorgung der Rebe im Verlauf der Vegetationsperiode überwacht werden. Die Blattanalyse ist in der Praxis noch wenig verbreitet. Sie ergänzt die anderen Untersuchungsmethoden und kann für sich allein nicht für die Erstellung eines Düngungsplanes genutzt werden. Meist wird der Gehalt an N, P, K, Ca und Mg bestimmt. Zusätzlich können weitere Nährstoffe und insbesondere Spurenelemente wie Bor (B),

Mangan (Mn), Eisen (Fe) und Zink (Zn) analysiert werden. Die Entnahme der Blattproben erfolgt in der Regel zu Beginn des Farbumschlages der Beeren. Proben können auch ausserhalb dieses Zeitraums untersucht werden, dann ist die Interpretation der Ergebnisse allerdings schwieriger. Es werden rund 25 ausgewachsene Blätter (mit den Blattstielen) gleichmässig verteilt an den Haupttrieben auf der Höhe der Trauben entnommen. Es werden nur gesunde Blätter ohne jegliche Nekrosen ausgewählt und unverzüglich ins Labor geschickt. Mit der Blattanalyse können latente Mangelzustände und Antagonismen zwischen Nährstoffen nachgewiesen werden. Sie ergänzt damit die Beobachtungen am Bodenprofil und die Ergebnisse der Bodenanalyse. Referenzwerte aus der Literatur oder Vergleichsproben aus gesunden Parzellen werden für die In-

Tabelle 2 | Referenzwerte (in % der Trockenmasse) für die Blattanalyse im Weinbau zu Beginn des Weichwerdens.

Die Angaben stammen aus dem Untersuchungsnetz der französischen Schweiz und dem Tessin während der Jahre 1976 bis 2000. Für die Beurteilung werden fünf Klassen unterschieden; die Klassen «schwach» und «hoch» sind in der Tabelle nicht aufgeführt und liegen zwischen den angegebenen Klassen.

Rebsorte		Chasselas	Pinot noir	Gamay	Merlot
N	sehr schwach	< 1,74	< 1,93	< 1,74	< 1,85
	gut	1,93–2,31	2,08–2,38	1,93–2,31	1,98–2,24
	sehr hoch	> 2,50	> 2,53	> 2,50	> 2,37
P	sehr schwach	< 0,15	< 0,18	< 0,18	< 0,13
	gut	0,17–0,20	0,20–0,23	0,21–0,27	0,14–0,18
	sehr hoch	> 0,22	> 0,25	> 0,30	> 0,19
K	sehr schwach	< 1,38	< 1,45	< 1,05	< 1,95
	gut	1,56–1,92	1,59–1,87	1,24–1,62	2,10–2,40
	sehr hoch	> 2,10	> 2,01	> 1,82	> 2,55
Ca	sehr schwach	< 2,07	< 2,24	< 3,07	< 1,47
	gut	1,49–3,33	2,66–3,51	3,42–4,14	1,64–2,00
	sehr hoch	> 3,75	> 3,94	> 4,49	> 2,17
Mg	sehr schwach	< 0,15	< 0,16	< 0,15	< 0,18
	gut	0,19–0,27	0,20–0,29	0,21–0,34	0,20–0,24
	sehr hoch	> 0,31	> 0,33	> 0,40	> 0,27

terpretation der Ergebnisse benötigt. Agroscope verfügt seit 1976 über eine Datensammlung für die Sorten Chasselas, Gamay, Pinot noir und Merlot. Die Referenzwerte finden sich in Tabelle 2. Über allfällig verfügbare Referenzwerte für andere Sorten kann das Labor Sol-Conseil in Gland Auskunft geben.

2.3.2 Chlorophyllindex

Der Chlorophyllindex der Blätter wird auf dem Feld mit Hilfe eines tragbaren Geräts bestimmt (N-Tester, Yara International, Paris). Gemessen wird die Intensität der grünen Farbe der Blätter. Die Methode erlaubt eine recht zuverlässige Bestimmung der Stickstoffversorgung der Pflanze; dies allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Pflanze keine verdeckten oder sichtbaren Mangelscheinungen (insbesondere Fe-Chlorosen oder Mg-Mangel) aufweist, welche die Blattfarbe stark beeinflussen können. Bei kranken, von Schädlingen verfärbten, verschmutzten oder durch Pflanzenbehandlungsmittel verunreinigten, vertrockneten oder durch Sonnenbrand geschädigten Blättern wird die Messung des Blattchlorophyllindex ebenfalls nicht empfohlen. Die Messung erfolgt am besten zu Beginn des Farbumschlages der Beeren an gesunden ganzen Blättern in der Traubenzone (mindestens vier Messungen von 30 Blättern in einer als ausgeglichen beurteilten Parzelle). Für Chasselas, Pinot noir und Gamay stehen Schwellenwerte für die Interpretation von Messungen zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung (Spring und Jelmini 2002; Tabelle 3). Von Messungen zu einem früheren Zeitpunkt wird abgeraten.

Tabelle 3 | Beurteilung des Chlorophyll-Indexes der Blätter zum Zeitpunkt des Weichwerdens gemessen mit dem N-Tester.
(Voll entwickelte Blätter in der Traubenzone; Spring und Jelmini 2002)

Beurteilung der Stickstoffversorgung	Index N-Tester		
	Chasselas	Pinot noir	Gamay
sehr schwach	< 420	< 460	< 380
schwach	420–460	460–500	380–430
normal	460–540	500–580	430–530
hoch	540–570	580–620	530–580
sehr hoch	> 570	> 620	> 580

2.3.3 Assimilierbarer Stickstoff

Der von den Hefen assimilierbare N im Traubenmost ist für den guten Ablauf der Alkoholgärung entscheidend. Dieser N ist auch die Quelle für Vorstufen von Aromakomponenten der Weine. Der hefeverwertbare N besteht hauptsächlich aus Aminosäuren und Ammonium; sein Anteil am Gesamt-N in den Beeren kann zwischen 25 und 40 % liegen. Die Konzentrationen im Traubenmost schwanken stark je nach Bedingungen (Boden, Klima, Blatt-Frucht-Verhältnis, Sorte, Unterlage und Kulturmassnahmen). Die in mg N/L ausgedrückten Konzentrationen werden normalerweise anhand von Proben des Traubenmosts bestimmt, die unmittelbar nach dem Maischen entnommen werden. Der assimilierbare N kann auch mit dem Formol-Index dar-

gestellt werden (Aerny 1996). Traubenmoste mit N-Mangel ergeben im Allgemeinen Weine, die weniger aromatisch, adstringierender und bitterer sind. Je nach Rebsorte gelten andere Schwellenwerte für den assimilierbaren N. Bei weissen Rebsorten wie zum Beispiel Chasselas (oder roten Rebsorten, die zu Roséweinen gekeltert werden) wird im Allgemeinen angenommen, dass eine Minimalkonzentration des verwertbaren N von 140 mg N/l (Formol-Index 10) und idealerweise eine Konzentration von 200 mg N/l (Formol-Index 14) zu einer erfolgreichen Weinbereitung beiträgt (Tabelle 4). Bei roten Rebsorten sind die Auswirkungen geringer N-Konzentrationen im Weinlesegut weniger ausgeprägt.

Tabelle 4 | Schwellenwerte für die Anfälligkeit von Chasselas.

	Starker Mangel	Moderater Mangel	Optimaler Wert
Assimilierbarer Stickstoff (mg N/l)	< 140	140–200	200
Formol-Index	< 10	10–14	14

Da sich die Menge des assimilierbaren N im Verlauf der Reifung normalerweise nur wenig verändert, liefert eine frühzeitige Bestimmung bei repräsentativen Stichproben von Beeren zu Beginn des Farbumschlages wertvolle Informationen, die eine mögliche Korrektur durch die Düngung mit Blattharnstoff erlauben (Kapitel 4.1). Damit die Ergebnisse repräsentativ sind, ist der Probenahme besondere Beachtung zu schenken (Entnahme von mindestens 200 Beeren, verteilt über den ganzen untersuchten Bereich, mit höchstens einer Beere pro Stock, aus unterschiedlichen Traubenteilen).

2.4 Bodenprofil

Das Bodenprofil ist ein unverzichtbares Werkzeug zur Beschreibung bestimmter Bodeneigenschaften:

- Abfolge der Horizonte und nutzbare Tiefe
- Volumen des Skelettanteils
- Zustand und Stabilität der Struktur
- Porosität und Kompaktheit
- biologische Aktivität
- Durchwurzelung der Rebe

Diese Eigenschaften bestimmen die dynamische Verfügbarkeit des Wassers und der Nährstoffe. Sie sind für das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Boden und Pflanze wichtig. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) lässt sich aufgrund von Textur, Skelettanteil, Bodentiefe und Durchwurzelung der Rebe schätzen. Die Beurteilung des Bodenprofils ist unabdingbar, um Entscheide zu treffen bezüglich:

- Notwendigkeit einer Drainage (vorübergehender Wasserüberschuss)
- Bedarf einer Bewässerung (nFK unter 100 mm)
- Tiefe der Bodenbearbeitung (Lockerung, Terrassierung)
- Bodenpflegemassnahmen (Volumen der nFK)

- Wahl der Unterlage (Kalkgehalt, durch den Boden ermöglichte Wuchsstärke)
- Wahl der Rebsorte (in Abhängigkeit der Wasserreserve und spezifischer Anforderungen der betreffenden Rebsorte)
- Ausbringung von Düngern und Bodenverbesserungsmitteln

Die Beurteilung des Bodenprofils empfiehlt sich insbesondere bei Wachstumsverzögerungen unbekannter Ursache und bei grösseren Erdbewegungen. Die für die Bodenprofilaufnahme gewählte Stelle sollte für den untersuchten Bereich (Parzelle oder homogener Bereich einer Parzelle) repräsentativ sein. Idealerweise erfolgt die Aufnahme in einem Abstand von 20 bis 60 cm vom Rebstock, damit die Durchwurzelung gut beschrieben werden kann. Als Grundlage für die Düngung und die Wahl der Unterlage sollten physikalische und chemische Untersuchungen des Bodens bei repräsentativen Proben der Parzelle durchgeführt werden.

3. Nährstoffbedarf

Der Nährstoffbedarf der Reben (Düngungsnormen) wird so festgelegt, dass auf einem mit Nährstoffen genügend versorgten Boden ein optimales Wachstum möglich ist. In Tabelle 5 ist die Nährstoffaufnahme über ein Jahr für einen Traubenertrag von 1,2 kg/m² gemäss Daten von Lönhertz (1988) dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass Blätter und Schnittholz auf der Parzelle belassen werden.

Für P, K und Mg besteht die Strategie darin, einen ausreichenden Nährstoffgehalt des Bodens sicherzustellen, indem die aus der Parzelle abgeführten Nährstoffe ersetzt und Nährstoffungleichgewichte vermieden werden, welche die Ernährung der Reben stören können (Luxuskonsum, Antagonismen).

N ist der wichtigste Nährstoff für den Metabolismus der Reben. Ein Überschuss hat genauso wie ein Mangel bedeutende physiologische Folgen für den Wuchs, die Reifung der Beeren und die Empfindlichkeit gegenüber Pilzkrankheiten; er führt oft zu Qualitätseinbussen beim Wein (Maigre et al. 1995). Der N-Bedarf der Reben ist relativ bescheiden, aber auf einen ziemlich kurzen Entwicklungszeitraum konzentriert (Abbildung 1). Vom Austrieb bis zum 5- bis 6-Blatt-Stadium wird N hauptsächlich aus den

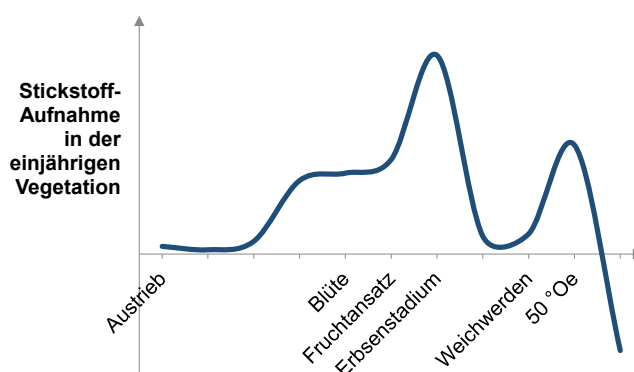


Abbildung 1 | Intensität der Stickstoffaufnahme der Rebe im Verlauf der Vegetationsperiode (Schnittholz, Blätter, Trauben; gemäss Lönhertz 1988).

Reserven im alten Holz und den Wurzeln in die sich neu bildenden Organe verlagert. Das erste und grösste Maximum der Aufnahme von N liegt unmittelbar nach der Blüte. Ein zweites Absorptionsmaximum wird gerade nach dem Farbumschlag der Beeren erreicht. Vor dem Blattfall am Ende der Vegetationsperiode verlagert sich ein Teil des aufgenommenen N wieder zurück in die verholzenden Speicherorgane. Die N-Versorgung der Rebe wird stark durch die Boden- und Klimabedingungen geprägt. Der Jahrgang hat ebenfalls einen oft sehr grossen Einfluss auf den Gehalt an assimilierbarem N im Traubenmost. Entscheidend für eine gute N-Versorgung sind bei der Neuanlage die Wahl einer Rebsorte und einer Unterlage, die an die gegebenen regionalen Boden- und Klimabedingungen angepasst sind, sowie eine geeignete Bodenpflege.

3.1 Nährstoff- und physiologische Störungen

Verschiedene Nährstoffstörungen, hervorgerufen durch Nährstoffmangel oder -überschuss, ungünstige Eigenschaften des Klimas und des Bodens sowie des Zustands der Rebe äussern sich in besonderen Symptomen. Ergänzende Untersuchungen können notwendig sein, um die Ursache der Störung genau abzuklären und entsprechende Abhilfemassnahmen zu ergreifen. In Tabelle 6 sind die wichtigsten Nährstoff- und physiologischen Störungen der Weinrebe dargestellt. Es werden mögliche Ursachen und geeignete Massnahmen beschrieben. Die Anwendung von Blattdüngern soll sich auf klar erkannte Mangelsituationen oder auf Fälle mit offensichtlichem oder wiederkehrendem Risiko für die Entwicklung der Reben beschränken.

Tabelle 5 | Nährstoffaufnahme durch Riesling nach Lönhertz (1988). Nährstoffentzug der Trauben korrigiert auf einen Ertrag von 1,2 kg/m².

Rebenorgane	Nährstoffe in kg/ha/Jahr			
	N	P	K	Mg
Altholz	27	5	17	3
Trauben	23	4	42	2
Summe Entzug und Festlegung	50	9	59	5
Schnittholz	5	1	10	1
Blätter	37	3	17	4
Gesamte Nährstoffaufnahme	92	13	86	10

Tabelle 6 | Wichtigste Nährstoff- und physiologische Störungen der Rebe.



Stickstoffmangel	Stickstoffüberschuss
	
Symptome	Symptome
<p>Blätter: hellgrün, später gelb; betroffen sind auch die Blattnerven Stiele: können rot werden Schosse: Wuchsstärke vermindert Trauben: verrieseln Ausdehnung: auf die ganze Parzelle verteilt mit einzelnen, stärker betroffenen Stellen Auftreten: im Allgemeinen kurz vor der Blüte</p>	<p>Blätter: grosse, dunkelgrüne Blätter Schosse: starker Wuchs, verspäteter Triebabschluss Trauben: kompakt, anfällig auf Botrytis, in Extremfällen Verrieseln, Stiellähme Ausdehnung: auf die ganze Parzelle verteilt mit einzelnen, stärker betroffenen Stellen</p>
Mögliche Gründe	Mögliche Gründe
<p>Düngung: ungenügend, zu wenig organische Substanz Klima: zu viel Wasser, Kälte, Trockenheit Bodenpflege: Konkurrenz durch Einsaat, Verdichtung, Bodenverbesserungsmittel mit weitem Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis</p>	<p>Düngung: übermässig Klima: begünstigt die Mineralisierung der organischen Substanz Boden: zu viel organische Substanz, Bodenbearbeitung, Kalkung auf sauren Böden</p>
Ergänzende Untersuchungen	Ergänzende Untersuchungen
<p>Bodenuntersuchung: Körnung, organische Substanz, pH Blattanalyse Moststickstoff Chlorophyll-Index der Blätter (N-Tester) Bodenprofil: Bodenstruktur, Verrottungsgrad der organischen Substanz, Wasserhaushalt</p>	<p>Bodenuntersuchung: Körnung, organische Substanz, pH Blattanalyse Chlorophyll-Index der Blätter (N-Tester) Bodenprofil: Bodenstruktur, Wasserhaushalt</p>
Massnahmen	Massnahmen
<p>kurzfristig: Blattdüngung: Harnstoff, Kaliumnitrat oder spezielle Handelsprodukte Bodendüngung: Kalkstickstoff langfristig: Bodenpflege: Konkurrenz der Einsaat vermindern, N-Düngung auf die Rebenreihe konzentrieren. Düngungsplan mineralische Dünger, organische Dünger, Bodendurchlüftung, Drainage, Bewässerung</p>	<p>langfristig: keine mineralischen und organischen N-Dünger, Einsaat</p>

Tabelle 6 | Wichtigste Nährstoff- und physiologische Störungen der Rebe (Fortsetzung).



Kaliummangel	Magnesiummangel
	
Symptome	Symptome
<p>Blätter: zuerst Verfärbung, dann braune Blattränder, zu Beginn glänzende Farbe, Blattrollen, Braunwerden im Herbst, Symptome zuerst auf den jungen Blättern</p> <p>Pflanze: anfällig auf Trockenheit, Zuckereinlagerung in die Beeren verzögert</p> <p>Ausdehnung: auf die ganze Parzelle verteilt mit einzelnen, stärker betroffenen Stellen</p> <p>Auftreten: bei der Blüte</p>	<p>Blätter: die Verfärbungen treten vorwiegend bei den unteren Blättern auf</p> <ul style="list-style-type: none"> - weisse Sorten: Interkostalfelder werden gelb - rote Sorten: Interkostalfelder werden rot <p>Ausdehnung: auf die ganze Parzelle verteilt, besonders junge Reben betroffen</p> <p>Auftreten: im Allgemeinen ab Ende Juli / Anfang August, bei starkem Auftreten auch früher</p>
Mögliche Gründe	Mögliche Gründe
<p>Düngung: ungenügend</p> <p>Boden: sehr tonhaltig (Verdichtung), leicht (Auswaschung), nach grossen Erdbewegungen, Neuanlage nach Weide</p>	<p>Düngung: zu wenig Mg und/oder zu viel K (Antagonismus), N-Düngung in Ammoniumform</p> <p>Klima: nasse Jahre</p> <p>Blatt/Frucht-Verhältnis: unausgeglichen, Sorte- bzw. Unterlageempfindlichkeit</p> <p>Durchwurzelung: Boden und Bodenpflege begünstigen ein oberflächliches Wurzelwerk in den Bodenhorizonten mit hohem K-Gehalt</p>
Ergänzende Untersuchungen	Ergänzende Untersuchungen
<p>Bodenuntersuchung: KUK (Kationenumtauschkapazität), Körnung, K</p> <p>Blattanalyse</p>	<p>Bodenuntersuchung: K, Mg</p> <p>Blattanalyse</p> <p>Bodenprofil: Durchwurzelung</p>
Massnahmen	Massnahmen
<p>kurzfristig:</p> <p>Blattdüngung: Kaliumnitrat oder spezielle Handelsprodukte</p> <p>Bodendüngung: Kaliumsulfat oder andere leicht lösliche Dünger (Lanzendüngung)</p> <p>langfristig:</p> <p>Bodendüngung: Düngungsplan mineralische Dünger</p>	<p>kurzfristig:</p> <p>Blattdüngung: Magnesiumsulfat oder spezielle Handelsprodukte, mehrfache Applikation</p> <p>langfristig:</p> <p>Blattdüngung: Magnesiumsulfat oder spezielle Handelsprodukte, mehrfache Applikation</p> <p>Bodendüngung: K und Mg beachten</p> <p>Pflanze: Ertrag beschränken, Unterlage anpassen</p>

Tabelle 6 | Wichtigste Nährstoff- und physiologische Störungen der Rebe (Fortsetzung).





Bormangel	Eisenmangel
	
Symptome	Symptome
<p>N.B.: die Überschuss-Symptome sind kaum von den Mangelsymptomen zu unterscheiden</p> <p>Blätter: deformiert, kleine blasenförmige Auswüchse, mosaikartige Gelbverfärbung</p> <p>Schosse: Wuchsstärke vermindert, kurze Internodien, Symptome vorwiegend auf den jungen Haupttrieben</p> <p>Trauben: starkes Verrieseln, Missbildungen</p> <p>Ausdehnung: oft auf die ganze Parzelle verteilt mit einzelnen, stärker betroffenen Stellen</p> <p>Auftreten: im Allgemeinen schon vor der Blüte</p>	<p>Blätter: hellgrün bis gelb, die Blattnerven sind nicht betroffen, Nekrosen bei starkem Auftreten</p> <p>Schosse: Wuchsstärke vermindert, Chlorose tritt vor allem bei jungen Blättern und/oder an der Triebspitze auf</p> <p>Trauben: klein, gelblich, verrieseln</p> <p>Stock: Absterben bei sehr starkem Befall</p> <p>Ausdehnung: in der Regel lokal auftretend</p>
Mögliche Gründe	Mögliche Gründe
<p>Düngung: übermässig, hohe Kalkgabe</p> <p>Klima: Trockenheit</p> <p>Boden: leicht, durchlässig (Auswaschung), kalkhaltig (Festlegung). Bei Neuanlagen auf ehemaligen Weiden treten oft B- und K-Mangel gleichzeitig auf</p>	<p>Blatt/Frucht-Verhältnis: im Vorjahr unausgeglichen, ungeeignete Unterlage</p> <p>Klima: Staunässe, Kälte</p> <p>Boden: kalkhaltig, verdichtet</p> <p>Bodenpflege: Verdichtung, Bodenbearbeitung, Bodenverbesserungsmittel zu wenig abgebaut und eingearbeitet</p> <p>N.B.: Fe-Mangel ist fast nie auf einen ungenügenden Fe-Gehalt des Bodens zurückzuführen</p>
Ergänzende Untersuchungen	Ergänzende Untersuchungen
<p>Bodenuntersuchung: B, Totalkalk, pH</p> <p>Blattanalyse</p>	<p>Bodenuntersuchung: Körnung, organische Substanz, pH, Totalkalk, Aktivkalk</p> <p>Bodenprofil: Bodenstruktur, Verrottungsgrad der organischen Substanz, Wasserhaushalt</p> <p>Pflanze: Wuchs und Ertrag der Vorjahre</p>
Massnahmen	Massnahmen
<p>kurzfristig:</p> <p>Blattdüngung: spezielle Handelsprodukte</p> <p>Bodendüngung (sofern eine Bewässerung während Trockenperioden möglich ist)</p> <p>langfristig:</p> <p>Bodendüngung: Düngungsplan mineralische und organische Dünger, Vorsicht bei der Kalkung</p>	<p>kurzfristig:</p> <p>Blattdüngung: spezielle Handelsprodukte, Wirkung unsicher</p> <p>Bodendüngung: Eisenchelate (Lanzendüngung v. a. in schweren Böden)</p> <p>Pflanze: Ausdünnung</p> <p>langfristig:</p> <p>Bodendüngung: Eisenchelate (Lanzendüngung v. a. in schweren Böden)</p> <p>Bodenpflege: Bodendurchlüftung, Begrünung, Drainage</p> <p>Pflanze: ausgeglichenes Blatt/Frucht-Verhältnis, Unterlage anpassen</p>

Tabelle 6 | Wichtigste Nährstoff- und physiologische Störungen der Rebe (Fortsetzung).

Stiellähme	Traubenwelke
	
<p align="center">Symptome</p>	<p align="center">Symptome</p>
<p>Trauben: teilweises oder vollständiges Verdorren des Traubengerüstes, die betroffenen Traubenpartien reifen unregelmässig</p> <p>Auftreten: kurz nach dem Weichwerden</p>	<p>Trauben: unterbrochene Traubenreifung, manchmal welke Beeren, Trauben am äusseren Ende empfindlicher, kein Verdorren des Traubengerüstes</p> <p>Auftreten: kurz nach dem Weichwerden</p>
<p align="center">Mögliche Gründe</p>	<p align="center">Mögliche Gründe</p>
<p>Düngung: übermässige N- und/oder K-Düngung, Mg-Mangel</p> <p>Klima: nass, starke Witterungsunterschiede</p> <p>Pflanze: starker Wuchs, Ungleichgewicht bei der Aufnahme der Kationen (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)</p> <p>Sorten: starke Sortenabhängigkeit (z. B. Chasselas sehr anfällig, Pinot noir weniger anfällig)</p> <p>Unterlage: verminderte Mg-Aufnahme, Wuchskraft begünstigt</p>	<p>Düngung: übermässige N-Düngung und übermässige Bewässerung</p> <p>Klima: nass, stark schwankende Witterung</p> <p>Pflanze: starker Wuchs, hohe Wasserverfügbarkeit, Gefässsystem beeinträchtigt (Phloem-Xylem)</p> <p>Sorten: starke Sortenabhängigkeit (Cabernets, Gamay, Chasselas, Humagne rouge anfällig)</p> <p>Boden: hohe Wasserreserven, gute Nährstoffversorgung</p>
<p align="center">Ergänzende Untersuchungen</p>	<p align="center">Ergänzende Untersuchungen</p>
<p>Bodenuntersuchung: K, Mg</p> <p>Blattanalyse</p>	<p>Bodenprofil: Schätzung der nutzbaren Wasserreserven</p>
<p align="center">Massnahmen</p>	<p align="center">Massnahmen</p>
<p>kurzfristig:</p> <p>Blattdüngung: zweimalige Applikation von Bittersalz oder speziellen Handelsprodukten beim Weichwerden in einem Intervall von zehn Tagen; Trauben gut benetzen</p> <p>langfristig:</p> <p>Pflanze: Wuchs kontrollieren, Wahl einer geeigneten Unterlage</p> <p>Bodendüngung: harmonische N-, K- und Mg-Düngung</p> <p>Bodenpflege: Begrünung</p>	<p>kurzfristig:</p> <p>Pflanze: Beschränkung der Belastung durch Traubenteile (bei anfälligen Sorten)</p> <p>langfristig:</p> <p>Pflanze: Ertrag beschränken, Anpassung des Blatt/Frucht-Verhältnisses, Wahl einer geeigneten Unterlage</p> <p>Bodendüngung: angepasste N-Düngung</p> <p>Wasserversorgung: angepasste Bewässerung</p>

4. Düngungspraxis

4.1 Stickstoffdüngung

Für N wird keine Düngung bei einer Remontierung empfohlen, da die jungen Reben keine N-Düngung benötigen. Die N-Düngung ist der Entwicklung der Rebe anzupassen.

Jede Veränderung der N-Düngung oder der Bodenpflege muss auf der Beobachtung der Rebe beruhen (Tabelle 7), allenfalls ergänzt durch zusätzliche Untersuchungen (Blattanalyse, assimilierbarer N im Traubenmost).

In einer ausgewogenen Situation kann die Düngungspraxis und Bodenpflege der Vorjahre fortgesetzt werden. Wegen des starken Einflusses des Klimas auf die N-Versorgung der Rebe ist es angezeigt, die Beurteilung aus zwei bis drei Jahren zu berücksichtigen.

Im Falle eines Nährstoffungleichgewichts (Mangel oder Überschuss) lassen sich mit Hilfe von Tabelle 8 mögliche Ursachen und geeignete Abhilfemassnahmen finden. Die aktuellen Düngungsempfehlungen liegen bei 0 bis 50 N kg/ha.

Nur in begründeten Ausnahmefällen ist eine höhere N-Düngung gerechtfertigt. Wenn die Rebe auf eine Änderung der N-Düngung in diesem empfohlenen Bereich nicht angemessen reagiert, sollten andere Kulturmassnahmen oder bei einer Remontierung die Unterlage und Sorte überprüft werden.

Wegen der Gefahr der Auswaschung ist es nicht sinnvoll, N zu früh auszubringen. Zu späte N-Gaben sollen andererseits ebenfalls vermieden werden, weil sich dadurch die Holzreife verzögert und die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten (Botrytis) und physiologischen Störungen (Stiellähme) erhöht wird. Unter normalen Umständen soll die N-Düngung in Form von Ammoniumnitrat im 3- bis 5-Blatt-Stadium kurz vor dem ersten Absorptionsmaximum bei der Blüte ausgebracht werden. Der Ausbringungszeitpunkt kann aufgrund der folgenden Faktoren einfach verändert werden:

- Die N-Düngung soll in späten Lagen, kalten und nassen Jahren, auf sehr durchlässigem Boden und bei der Düngung in Form von Nitraten (zum Beispiel Calciumnitrat) später angesetzt werden.

Tabelle 7 | Beurteilung der Stickstoffernährung im Jahresverlauf.

Kriterien			Beurteilung		
			Überschuss	Gleichgewicht	Mangel
Basiskriterien: Beobachtung der Pflanze	Wuchs:	Grösse der Schosse und Blätter, Länge der Internodien	gross	normal	klein
	Blattfarbe:	Blattfarbe (beim Weichwerden), Chlorophyll-Index der Blätter (N-Tester) beim Weichwerden	dunkelgrün, Index N-Tester hoch	normal, Index N-Tester normal	blassgrün, Index N-Tester niedrig
	Anfälligkeit gegenüber:	Fäulnis, Verrieseln (wegen zu starkem Wuchs), Stiellähme	erhöht	–	–
Ergänzende Kriterien: analytische Werte	N-Gehalt (Blattanalyse) beim Weichwerden		erhöht	normal	gering
	Gehalt an assimilierbarem N des Mostes (weisse Sorten und rote Sorten für die Weiss-/Roséweinbereitung)		–	normal	gering

Tabelle 8 | Massnahmen für eine ausgewogene Stickstoffernährung.

Kriterien	Stickstoffüberschuss	Stickstoffmangel
Bodenpflege	Rebberg ganz oder teilweise begrünen, sofern es der Boden, das Klima und die Erziehungsform zulassen	Reduktion der begrüneten Fläche; Begrünung, die weniger um N konkurrenziert; Durchwurzelung fördern (Drainage, falls nötig Auflockerung)
Organische Substanz	bei zu hohem Gehalt: keine Zufuhr organischer Substanz	bei ungenügendem Gehalt: Zufuhr organischer Substanz
Wasserhaushalt	zu viel Wasser: Bewässerung reduzieren; Rebberg ganz oder teilweise begrünen, sofern es der Boden, das Klima und die Erziehungsform zulassen	ausgeprägter Wassermangel: Bewässerung und Bodenpflege überprüfen
Wahl der Unterlage	bei der Remontierung eine schwächere Unterlage wählen	bei der Remontierung eine stärkere Unterlage wählen
Laubwand	auf ausgewogenes Blatt/Frucht-Verhältnis achten	bei einem Mangel an assimilierbarem N im Most: Höhe der Laubwand reduzieren, falls diese zu umfangreich ist
N-Düngung	N-Düngung reduzieren oder einstellen	N-Düngung erhöhen; N-Dünger auf den nicht begrüneten Unterstockbereich aufbringen; N-Blattdüngung zur Zeit des Weichwerdens (korrigiert hauptsächlich den Gehalt an assimilierbarem N im Most)

- Frühe N-Düngung wird empfohlen in frühen Lagen, bei trockener Witterung, bei wenig durchlässigem Boden und bei der ausschliesslichen Düngung von Ammonium (zum Beispiel Ammoniumsulfat) oder Harnstoff.
- Eine Aufteilung der N-Düngung in mehrere Einzelgaben kann die N-Wirkung erhöhen und die Belastung der Umwelt mindern.
- In begrüntem Rebbergen kann die Beschränkung der N-Düngung auf den nicht begrüntem Unterstockbereich die Effizienz der N-Düngung steigern (Spring 2003); dadurch kann die Gesamtmenge an ausgebrachtem N ohne Einbusse vermindert werden.
- Organische N-Dünger können bereits im Herbst ausgebracht werden.

Wenn im Laufe des Sommers ein N-Mangel im Rebberg (gemäss den zuvor beschriebenen Kriterien) festgestellt wird oder klar vorhersehbar ist (ausgeprägter Wassermangel im Sommer, gegenüber N- und Wasserstress anfällige Parzelle), besteht die Möglichkeit einer späten Korrektur durch eine Düngung mit Blattharnstoff beim Farbumschlag der Beeren (Spring und Lorenzini 2006; Spring et al. 2015). Diese N-Gaben werden im Allgemeinen gut von der Pflanze verwertet und bewirken hauptsächlich eine Erhöhung der Konzentration des assimilierbaren N im Traubenmost. Diese Methode ist insbesondere bei weissen Rebsorten oder roten Rebsorten angezeigt, die zu Roséweinen gekeltert werden, da das Risiko von Qualitätsverlusten im Zusammenhang mit übermässigem N- und Wasserstress vermindert werden kann (aromatisch verfälschte, bittere und adstringierende Weine). Diese Methode darf einen optimalen Einsatz von geeigneten und auf die Boden- und Klimabedingungen der Parzelle abgestimmten Anbaumethoden (Bodenpflege, N-Düngung des Bodens) nicht ersetzen. Sie stellt vielmehr eine spät umsetzbare, effiziente Massnahme zur Korrektur des Gehalts an assimilierbarem N im Traubenmost dar, die aber nur im Notfall eingesetzt werden sollte (nachgewiesener oder sicher vorhersehbarer N-Mangel).

Diese Korrekturen beschränken sich im Allgemeinen auf eine Düngung mit insgesamt 10–20 kg N/ha, aufgeteilt in Gaben zu 5 kg N/ha im Abstand von 7–10 Tagen während des Zeitraums um den Farbumschlag der Beeren (im Allgemeinen im Monat August). Um die Aufnahme des Harnstoffs zu verbessern und das Risiko der Phytotoxizität (aufgrund von Biuret) zu reduzieren, sollten die N-Gaben vorzugsweise zu Beginn oder am Ende des Tages ausgebracht werden (tiefere Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit), wobei das gesamte Blattwerk gut benetzt werden soll (Brühevolumen mindestens 200–400 l/ha, idealerweise 600–800 l/ha).

Je nach Rebsorte, Boden- und Klimabedingungen und Jahr kann das Ergebnis der Korrektur des Gehalts an assimilierbarem N im Traubenmost unterschiedlich ausfallen. Bei mehrjährigen Beobachtungen, die auf Versuchsflächen von Agroscope in Changins an verschiedenen weissen Rebsorten durchgeführt wurden, zeigte sich, dass pro Gabe von 5 kg N/ha in Form von Harnstoff beim Farbumschlag

der Beeren ein Zuwachs der Konzentration des assimilierbaren N um durchschnittlich 15 mg N/L erreicht wurde (entsprechend etwa einem Punkt beim Formol-Index).

4.2 Düngung mit Phosphor, Kalium, Magnesium und Bor

4.2.1 Vorratsdüngung mit P, K, Mg und B bei Neuanlagen

Weil die meisten Böden im Rebbaubereich genügend Nährstoffe aufweisen, stellt die Vorratsdüngung eine Ausnahme dar. Sie wird nur bei Böden empfohlen, bei denen mit klassischen Methoden (AAE10 und H₂O10) eine mässige bis schlechte Versorgung mit K und eine schlechte Versorgung mit P nachgewiesen wurde. Die dabei verwendeten Düngermengen, die breitflächig ausgestreut und danach in den Boden eingearbeitet werden, sind bedeutend. Eine derartige, vor einer Neuanlage durchgeführte Vorratsdüngung belastet die Umwelt weniger als eine sehr hohe, auf die bepflanzte Bodenoberfläche ausgebrachte Düngung, die bei Mangelerscheinungen notwendig werden kann. Das Vorgehen ist je nach Nährstoff unterschiedlich.

Für **Phosphor** werden bei Böden mit Versorgungsklasse «arm» 90 kg P/ha (200 kg P₂O₅/ha) für leichte Böden (< 10 % Ton) und 130 kg P/ha (300 kg P₂O₅/ha) für schwere Böden (> 30 % Ton) empfohlen.

Bei **Kalium** ist es erfahrungsgemäss ratsam, die Vorratsdüngung auf die Struktur des Bodens abzustimmen (Tabelle 9). Wie bereits oben erwähnt, ist es zwingend, den Dünger breitflächig zu streuen und in 40–60 cm Tiefe gleichmässig einzuarbeiten. Bei einer geringeren Einarbeitungstiefe wird die Ausbringungsmenge entsprechend korrigiert. Um Verbrennungen, insbesondere bei hohen Gaben, vorzubeugen, wird die Verwendung von Kaliumsulfat empfohlen.

Magnesium ist im Boden leicht auswaschbar und wird daher nicht in die Vorratsdüngung einbezogen. Erforderliche Korrekturen werden im Rahmen von jährlichen Unterhaltsdüngungen vorgenommen.

Eine Düngung mit **Bor** ist notwendig, wenn die vorhergehende Kultur einen B-Mangel aufwies oder die Bodenanalyse einen B-Mangel nachweist. Im Bedarfsfall sind 2–3 kg B/ha, gleichmässig verteilt auf der gesamten Fläche, ausreichend.

Tabelle 9 | Empfohlene Kalium-Vorratsdüngung in kg K/ha (kg K₂O/ha) nach Art und Versorgung des Bodens (bei einer Einarbeitungstiefe von 50 cm).

Versorgung des Bodens	arm	mässig	ausreichend	Reserve
leichter Boden	500 (600)	350 (420)	0	0
mittlerer Boden	750 (900)	500 (600)	0	0
schwerer Boden	1000 (1200)	700 (840)	0	0

4.2.2 Jährliche Unterhaltsdüngung mit P, K, Mg und B

Die vorliegenden Düngungsempfehlungen basieren auf einer umfassenden Studie von Löhnertz (1988), unter der Annahme, dass das Schnittholz in der Parzelle verbleibt. Sie berücksichtigen die Erträge gemäss den Richtlinien zur Weinklassifizierung (AOC, Landweine, Tafelweine), für Tafeltrauben und nach regionalen Besonderheiten (Tabelle 10).

Die Düngungsnorm für jeden Nährstoff entspricht der jährlich zu verabreichenden Düngermenge auf Böden mit einem als «genügend» beurteilten Nährstoffgehalt. Die Norm kann aufgrund der Bodenuntersuchung (mit den Analysemethoden AAE10 und H₂O10) um –100 % bis +50 % korrigiert werden. Langfristiges Ziel ist die Erreichung einer als «genügend» eingestuften Nährstoffversorgung.

Tabelle 10 | Empfohlene jährliche Düngermengen für Reben nach dem Ertrag (kg/ha/Jahr) bei einem ausreichenden Versorgungszustand des Bodens.

Ertrag (kg/m ²)	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
0,8	10 (23)	45 (54)	25
1,0	10 (23)	55 (66)	25
1,2	12 (27)	65 (78)	25
1,6	12 (27)	75 (90)	25
2,0	15 (34)	85 (102)	25

Wenn die zu verabreichenden Mengen klein sind oder in organischer Form verabreicht werden, ist es möglich, **Phosphor** in einer einmaligen Gabe für vier bis sechs Jahre auszustreuen. Um oberflächlichen Austrag zu vermindern, sollten grössere Düngermengen in mineralischer Form oberflächlich eingearbeitet werden.

Bei Böden mit **Kalium**gehalten in den Versorgungsklassen «Vorrat» und «angereichert» wird auf eine K-Düngung verzichtet. Dagegen soll auf eine Mg-Düngung unterhalb der Norm wegen der Gefahr von Mangelerscheinungen und des K/Mg-Antagonismus nicht verzichtet werden, selbst wenn der Boden gemäss Bodenanalyse mit Mg angereichert ist.

Die Norm für **Magnesium** ist höher als der Nährstoffentzug, um damit der grossen Mobilität dieses Nährstoffes im Boden Rechnung zu tragen. Im Falle eines an K angereicherten Bodens (Antagonismus mit Mg) und bei Symptomen eines Mg-Mangels kann als Ergänzung zur Bodendüngung eine Mg-Blattdüngung empfohlen werden, um den Mangel kurzfristig zu korrigieren. Als langfristige Lösung muss aber vor allem die Wiederherstellung einer ausgewogenen K-Versorgung des Bodens angestrebt werden.

Bor ist für die Rebenentwicklung und insbesondere für die Befruchtung von Bedeutung. Mangel wie Überschuss können das Wachstum beeinträchtigen. Durch die Verwendung von B-Düngern oder von borhaltigen Mehrnährstoffdüngern kann einem Mangel leicht begegnet wer-

den. Wenn ein Boden zu wenig B enthält, ist eine Korrekturdüngung von je 2 kg B/ha in den ersten beiden Jahren nötig, danach für drei Jahre je 1 kg B/ha. Dann sollten neue Analysen durchgeführt werden. Bei genügend mit B versorgten Böden ist eine Unterhaltsdüngung mit 1 kg B/ha/Jahr möglich. Bei Böden mit Vorratsversorgung sollte keine B-Düngung bis zur nächsten Bodenuntersuchung erfolgen, ausser bei leichtem, kalkhaltigem oder bewässertem Boden. In diesen Fällen ist auf die B-Düngung während zwei Jahren zu verzichten. Für die folgenden Jahre wird eine Unterhaltsdüngung von 1 kg B/ha/Jahr empfohlen, und nach fünf Jahren sollte eine neue Bodenuntersuchung vorgenommen werden. Um B-Überdosierungen zu vermeiden ist auf eine gleichmässige Verteilung auf der ganzen Fläche und die strikte Einhaltung der empfohlenen Mengen zu achten. In Böden mit B-Überschüssen kann B dem Boden durch den Anbau von borbedürftigen Pflanzen, insbesondere Kreuziferen, entzogen werden.

4.3 Zufuhr organischer Substanz

Die Zufuhr von wenig verrottetem organischem Material kurz vor der Bodenbearbeitung kann zu Sauerstoffmangel der Wurzeln infolge Freisetzung von Gasen (CO₂, Methan) führen. Wenn eine Erhöhung des Gehaltes an organischem Material unerlässlich erscheint, wird Mist oder Kompost ein oder zwei Jahre vor der Neuanlage oder aber erst im zweiten Jahr ausgebracht. Sind grosse Mengen an Bodenverbesserungsmitteln notwendig, darf die darin enthaltene Menge an Nährstoffen die Düngungsnorm überschreiten.

4.4 Düngung von Jungreben

Bei einer als «genügend» beurteilten Nährstoffversorgung oder wenn eine erforderliche Vorratsdüngung vor der Bepflanzung erfolgte, kann in den ersten beiden Jahren auf die Düngung von P, K und Mg ganz verzichtet werden. Die jährliche Unterhaltsdüngung erfolgt ab dem dritten Standjahr.

4.5 Blattdüngung

Eine ausgewogene Ernährung der Reben muss in erster Linie durch eine sorgfältige Erhaltung eines guten Versorgungszustands des Bodens (Bodenanalyse und angepasster Düngungsplan), durch die Wahl des Pflanzmaterials (Unterlage) und durch eine Bodenpflege, die auf die Klima- und Bodenbedingungen des Standorts abgestimmt ist, sichergestellt werden. Ergänzende Blattdüngungen können jedoch in bestimmten Situationen angebracht sein: bei einem festgestellten Mangel (Tabelle 6), der das Wachstum, den Fruchtansatz oder auch qualitative Aspekte beeinträchtigt. Pflanzen nehmen im Allgemeinen über das Blatt verabreichte Nährstoffe effizient auf. Die Aufnahme hängt jedoch von verschiedenen Faktoren ab:

- Eine ausreichend entwickelte Blattoberfläche: Blattdüngung im Allgemeinen nicht vor Mitte bis Ende Mai und nicht nach Ende August (der Zeitpunkt hängt von der Art des Mangels ab); eine Düngung während der Blüte

soll vermieden werden (Risiko einer Störung der Befruchtung). Die Aufnahme geht im Allgemeinen mit der Alterung der Blätter zurück.

- Die Aufnahme begünstigende Anwendungsbedingungen: Ausbringung vorzugsweise zu Beginn oder am Ende des Tages (höhere Luftfeuchtigkeit) mit guter Benetzung des gesamten Blattwerks (Brühevolumen mindestens 200–400 l/ha, bei vollständig entwickelter Vegetation idealerweise 600–800 l/ha). Zu tiefe oder zu hohe Temperaturen (zu schnelles Abtrocknen) sind zu vermeiden (Optimum bei rund 20 °C).
- Ein angepasster pH-Wert der Behandlungsbrühe (Optimum bei rund pH 6,5).
- Im Allgemeinen erfolgen die Blattdüngungen separat. Mischungen mit anderen Produkten sind nur bei ausdrücklichem Hinweis des Herstellers angebracht.
- Maximalkonzentrationen von Nährstoffen sind gemäss den Angaben des Herstellers einzuhalten (Risiko einer Phytotoxizität: übermässige Gaben, insbesondere von bestimmten Spurenelementen, können ähnliche Symptome wie ein Mangel hervorrufen).

Für Blattdüngungen gelten spezifische Indikationen, die mit der Problematik des betreffenden Nährstoffs zusammenhängen.

Stickstoff

Ziel der N-Blattdüngung ist in erster Linie die Korrektur der Konzentrationen des assimilierbaren N im Traubenmost durch die späte Gabe von Harnstoff (etwa zum Zeitpunkt des Farbumschlags der Beeren) in Situationen mit absehbarem Mangel. Diese Möglichkeit wird in Kapitel 4.1 detailliert beschrieben.

Kalium

Ein K-Mangel kann hauptsächlich bei der Neuanlage eines Rebbergs auf kaliumarmem Boden oder bei ungenügender Kaliumdüngung über mehrere Jahre ohne Nachverfolgung auftreten (insbesondere auf sandigem Boden mit geringem Rückhaltevermögen). Die Korrektur erfolgt in erster Linie mit Bodendüngungen, die allerdings manchmal hoch sein müssen und wegen der geringen Mobilität dieses Elements im Boden den Wurzeln der Kultur nicht sofort zur Verfügung stehen (Kapitel 4.2.1 und Tabelle 6). Parallel zu den Korrekturen mit Bodendüngung kann je nach der Schwere der Mangelsymptome vorübergehend zusätzlich eine Blattdüngung angezeigt sein. Man setzt im Allgemeinen Kaliumsulfat in mehreren Gaben ein (bis zu fünf bis sechs Anwendungen in schweren Fällen). Auch die Verwendung von Kaliumnitrat ist möglich, aber wegen des zusätzlichen Eintrags von N oft ungeeignet. Diese Anwendungen weisen nur eine auf die Vegetationsperiode begrenzte Teilwirkung auf.

Magnesium

Unter den üblichen Bedingungen im Schweizer Weinbau ist Mg-Mangel sehr selten primär durch einen Mangel an diesem Element im Boden hervorgerufen, sondern in der Regel durch eine Überversorgung des Bodens mit K verur-

sacht (Antagonismus; Tabelle 6). Ein Ungleichgewicht bei der Versorgung mit Mg spielt eine zentrale Rolle beim Auftreten der Stielähme. Die Versorgung mit Mg ist insbesondere für die jungen Reben wichtig (deren Wurzeln sich im kaliumreichen oberflächlichen Bodenhorizont befinden), bei feuchten Boden- und Klimabedingungen oder bei der Wahl einer Unterlage (SO4, 125 AA, 5BB, 5C, 8B), die hinsichtlich der Mg-Aufnahme ungünstig ist. Die mittel- und langfristige Wiederherstellung einer ausgeglichenen Versorgung mit K muss Vorrang haben. Bei Böden mit hoher Austauschkapazität kann diese Wiederherstellung allerdings viele Jahre in Anspruch nehmen, und in dieser Zeit bleibt das Risiko eines induzierten Mg-Mangels relativ hoch.

In Rebbergen, in denen regelmässig ausgeprägte Symptome eines Mg-Mangels beobachtet werden, können wiederholte Blattdüngungen angezeigt sein. Im Allgemeinen wird hydratisiertes Magnesiumsulfat eingesetzt (drei bis vier Mal im Verlauf der Vegetationsperiode). Für ein Brühevolumen von 600–800 l/ha beträgt die übliche Konzentration 2 %. Bei der Verwendung einer Mischung mit anderen Wirkstoffen wird eine einprozentige Konzentration empfohlen, um unerwünschte Wechselwirkungen zu vermeiden. Es sind im Handel verschiedene Produkte (Salze, Chelate) erhältlich, deshalb sind die Gebrauchsanweisungen des Herstellers zu beachten.

Mit der gezielten Anwendung der Trauben kann das Risiko des Auftretens der Stielähme reduziert werden. Diese Anwendung ist jedoch für Parzellen mit Mg-Mangel sowie für Situationen und Rebsorten vorbehalten, bei denen diese physiologische Störung wiederholt auftritt. Bei der Anwendung von 18–20 kg/ha hydratisiertem Magnesiumsulfat (9,8 %) sollten die Traubengerüste gut benetzt werden. Dazu wird ein Brühevolumen von 600–800 l/ha in der Traubenzone ausgebracht, ein erstes Mal zu Beginn des Farbumschlages der Beeren, dann zehn Tage später.

Bor

Zu einem B-Mangel (Tabelle 6) kann es in erster Linie bei leichten, bewässerten Böden mit hohem pH-Wert kommen, die arm an organischer Substanz sind. Wegen der hohen Mobilität dieses Elements profitiert die Pflanze schnell von Korrekturen, die durch Bodendüngung vorgenommen werden (Kapitel 4.2.2), wobei in Trockenperioden eine Bewässerung erforderlich ist. Eine Korrektur durch Blattdüngung ist nur in bestimmten, schweren Fällen angebracht. Die Blattdüngung erfolgt mittels Borsäure (bei einer Konzentration von 0,2 %, d. h. 200 g pro 100 l Brühe) oder Natriumperborat (bei einer Konzentration von 0,2 %, d. h. 200 g pro 100 l Brühe), wobei zwei bis drei Anwendungen vor der Blüte möglich sind. Eine Überdosierung muss unbedingt vermieden werden, weil ein B-Überschuss dieselben Symptome wie ein Mangel zur Folge hat.

Eisen

Ein Fe-Mangel hängt meist mit einer mangelnden Aufnahme von Fe durch die jungen, im Frühling gebildeten Wurzeln zusammen. In der Schweiz ist ein Fe-Mangel praktisch nie auf unzureichende Fe-Mengen im Boden zurück-

zuführen. Art und Ausprägung der Symptome hängen mit vielfältigen Faktoren zusammen. Die Art des Bodens (stark kalkhaltige Böden, hoher pH-Wert), das Klima (feuchter und kalter Frühling, Staunässe) oder auch unzureichende Stärkereserven im Rebstock (Blatt/Frucht-Verhältnis und Witterung des Vorjahres) beeinflussen die Fe-Aufnahme ebenso wie die Unterlage (Tabelle 6). Die Bekämpfung einer Eisenchlorose muss sich in erster Linie an einer Beeinflussung dieser Faktoren orientieren: Wahl der Unterlage, Bodenpflege und Ernteregulierung. Korrekturen durch Boden- oder Blattdüngung mit Fe-Salzen oder -Chelaten haben eine zufällige und oft nur vorübergehende Wirkung.

Zink

Ein Zn-Mangel tritt bei Reben äusserst selten auf (Tabelle 6). In der Schweiz kann es allenfalls auf sauren, zinkarmen Böden nach Aufkalkungen oder bedeutenden P-Düngungen zu Zn-Mangel kommen. Der Mangel kann mit drei Blattdüngungen im Abstand von acht Tagen mit Zinksulfat, einem Zinkchelat oder einem zinkhaltigen Fungizid (z. B. Mancozeb) behandelt werden. Diese Fungizide gehören zur Familie der Dithiocarbamate und es bestehen Anwendungseinschränkungen bei der Integrierten Produktion (Toxizität gegenüber Raubmilben).

Mangan

Mn-Mangel wird in der Schweiz ziemlich selten beobachtet. Er kann punktuell bei kalkreichen oder stark aufgekalkten Böden und Böden mit hohem Gehalt an organischer Substanz auftreten. Vor einigen Jahren war dieser Mangel noch seltener als heute wegen der früher verbreiteten Anwendung der manganhaltigen Fungizide aus der Familie der Dithiocarbamate (wie Mancozeb), deren Verwendung in der Integrierten Produktion inzwischen drastisch eingeschränkt wurde. Eine Korrektur durch eine Bodendüngung mit Mn ist wenig effizient. Blattdüngungen mit Mangansulfat (zwei bis vier Behandlungen vor und nach der Blüte) sind wirksam, müssen allerdings oft über mehrere Jahre erfolgen.

5. Literatur

- Aerny J., 1996. Composés azotés des moûts et des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 28 (3), 161–165.
- Lönhertz O., 1988. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme bei *Vitis vinifera* (cv. Riesling). Dissertation, Universität Giessen. 228 S.
- Maigre D., Aerny J. & Murisier F., 1995. Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas: influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 27 (4), 237–251.
- Spring J.-L. & Jelmini G., 2002. Nutrition azotée de la vigne: intérêt de la détermination de l'indice chlorophyllien pour les cépages Chasselas, Pinot noir et Gamay. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 34 (1), 27–29.
- Spring J.-L., 2003. Localisation de la fumure azotée sur l'intercep en vignes enherbées. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 35 (2), 113–119.
- Spring J.-L. & Lorenzini, F., 2006. Effet de la pulvérisation foliaire d'urée sur l'alimentation azotée et la qualité du Chasselas en vigne enherbée. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 38 (2), 105–113.
- Spring J.-L., Verdenal T., Zufferey V. & Viret O., 2015. Fumure azotée en viticulture: influence de la période d'application. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 47 (3), 178–183.

6. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Resistenz gegenüber Eisenchlorose in Abhängigkeit des Gehalts des Bodens an Gesamtkalk und an Aktivkalk.	12/4
Tabelle 2 Referenzwerte (in % der Trockenmasse) für die Blattanalyse im Weinbau zu Beginn des Weichwerdens.	12/4
Tabelle 3 Beurteilung des Chlorophyllindex der Blätter zum Zeitpunkt des Weichwerdens gemessen mit dem N-Tester an voll entwickelten Blättern in der Traubenzone.	12/5
Tabelle 4 Schwellenwerte für die Anfälligkeit von Chasselas gegenüber einem Mangel an assimilierbarem Stickstoff im Traubenmost.	12/5
Tabelle 5 Nährstoffaufnahme durch Riesling. Nährstoffentzug der Trauben korrigiert auf einen Ertrag von 1,2 kg/m ²	12/6
Tabelle 6 Wichtigste Nährstoff- und physiologische Störungen der Rebe.	12/7
Tabelle 7 Beurteilung der Stickstoffernährung der Rebe im Jahresverlauf.	12/11
Tabelle 8 Massnahmen für eine ausgewogene Stickstoffernährung der Rebe.	12/11
Tabelle 9 Empfohlene Kalium-Vorratsdüngung in kg K/ha (K ₂ O/ha) nach Art und Versorgung des Bodens (bei einer Einarbeitungstiefe von 50 cm).	12/12
Tabelle 10 Empfohlene jährliche Nährstoffgaben für Reben gemäss dem Ertrag (kg/ha/Jahr) bei einem ausreichenden Versorgungszustand des Bodens.	12/13

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Intensität der Stickstoffaufnahme der Rebe im Verlauf der Vegetationsperiode (Schnittholz, Blätter, Trauben).	12/6
--	------



13/ Düngung im Obstbau

Thomas Kuster¹, Othmar Eicher², Lucie Leumann³, Urs Müller⁴,
Jeanne Poulet⁵ und Reto Rutishauser³

¹ Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

² Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg, 5722 Gränichen, Schweiz

³ Ökohum, 8585 Herrenhof, Schweiz

⁴ BBZ Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg, 8268 Salenstein, Schweiz

⁵ Union fruitière lémanique, 1110 Morges, Schweiz

Auskünfte: thomas.kuster@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	13/3
2. Berechnung der Düngungsnormen.....	13/3
2.1 Gesamtbeurteilung eines Standorts.....	13/3
2.2 Kulturbeobachtungen.....	13/3
2.3 Bodenanalysen.....	13/5
2.4 Beispiel zur Berechnung des Düngerbedarfs.....	13/7
2.5 Blattbeobachtungen.....	13/7
3. Nährstoffe und Düngung im Obstbau.....	13/9
3.1 Dynamik des Nährstoffbedarfs im Jahresverlauf.....	13/9
3.2 Stickstoff.....	13/10
3.3 Phosphor.....	13/10
3.4 Kalium.....	13/11
3.5 Calcium.....	13/11
3.6 Magnesium.....	13/12
3.7 Schwefel.....	13/12
3.8 Bor.....	13/12
3.9 Kupfer.....	13/13
3.10 Eisen und Mangan.....	13/13
3.11 Zink.....	13/13
4. Düngetechnik.....	13/14
4.1 Breitflächige oder lokale Düngung.....	13/14
4.2 Nachbau und Düngung von Junganlagen.....	13/14
4.3 Organische Dünger.....	13/15
4.4 Fertigation und Flüssigdünger.....	13/15
4.5 Blattdünger.....	13/16
4.6 Chelatdünger.....	13/17
4.7 Düngung der Feldobstbäume.....	13/17
4.8 Düngung im biologischen Obstbau.....	13/17
5. Literatur.....	13/18
6. Tabellenverzeichnis.....	13/19
7. Abbildungsverzeichnis.....	13/19

1. Einleitung

Dieses Modul bildet die Ausgangslage für eine nachhaltige Düngung im Obstbau und ist damit Grundlage für Betriebe, die nach Vorgaben des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) produzieren. Der Nährstoffbedarf (Norm) einer Obstanlage basiert im Wesentlichen auf dem Entzug von Nährstoffen durch die Ernte. Aufgrund von Kulturbeobachtungen und Bodenanalysen werden daraus Düngungsnormen abgeleitet und ein nachhaltiger Düngerplan erstellt. Dadurch kann einerseits ein Optimum an Fruchtqualität auf hohem Ertragsniveau unter Vermeidung der Alternanz und physiologischen Störungen erreicht werden, andererseits werden ökologische Belastungen (z.B. Nährstoffverluste durch Auswaschung) minimiert. Eine angepasste Düngerstrategie ist somit sowohl ökonomisch als auch ökologisch nachhaltig. Die abschliessenden Richtlinien für eine nachhaltige Düngung in der integrierten Obstproduktion (IP) werden von der Schweizerischen Arbeitsgruppe für Integrierte Obstproduktion (SAIO) erstellt (Richtlinien für den ÖLN und die integrierte Obstproduktion in der Schweiz, SAIO 2017) und können vom Modul Düngung im Obstbau abweichen.

In Kapitel 2 sind Angaben zur Berechnung der Düngungsnormen anhand von Kulturbeobachtungen und Bodenanalysen zu finden. Informationen zu Nährstoffmangelsymptomen an Blättern und Blattanalysen ergänzen dieses Kapitel. In den Kapiteln 3 und 4 werden die Funktion der Nährstoffe und ihre Düngung in Obstkulturen diskutiert sowie Besonderheiten der Düngetechnik (Nachbau und Junganlagen, organische Dünger, Fertigation und Flüssigdünger, Blattdünger, Chelatdünger, Düngung von Feldobstbäumen und Düngung im biologischen Obstbau) besprochen. Die Korrekturfaktoren anhand von Bodenanalysen wurden harmonisiert und werden neu im allgemeinen Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen behandelt. Angaben zu Düngern sind im Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern enthalten. Die Düngung der Strauchbeeren ist neu im Modul 14/ Düngung von Beerenkulturen zu finden. Weitere inhaltliche Änderungen im Vergleich zur Vorgängerversion (Bertschinger *et al.* 2003): Für Magnesium (Mg) wurden die Düngungsnormen in Abhängigkeit des Ertrags erhöht (Tabelle 1), um das Risiko von Mg-Mangel aufgrund von Aufnahmekonkurrenz (Antagonismen) mit Kalium (K) und Calcium (Ca) zu reduzieren. Bei den Kulturbeobachtungen wurden die Korrekturfaktoren «Steinanteil» und «Beurteilung von physiologischen Störungen» gestrichen (Tabellen 3 und 5).

2. Berechnung der Düngungsnormen

2.1 Gesamtbeurteilung eines Standorts

Die Nährstoffbilanz einer Obstanlage wird vor allem durch den Nährstoffentzug der angebauten Kultur, aber auch durch die Witterung (Niederschlag, Temperatur) beeinflusst. Dadurch ist das Nährstoffangebot sehr variabel. Um trotzdem eine ausgewogene Düngerbilanz erstellen zu können, wird die Normdüngung für Phosphor (P), K und

Mg aufgrund des Ertrags (Kapitel 2.2.1), durch Beobachtungen der Kultur (Kapitel 2.2.2 und 2.2.3) sowie mittels Bodenuntersuchungen (Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen) korrigiert. Stickstoff (N) ist je nach Form im Boden sehr mobil, so dass eine Beurteilung anhand von Bodenanalysen schwierig ist. Korrekturen der Düngungsnorm werden bei N daher anhand des Ertrags und aufgrund von Kulturbeobachtungen durchgeführt.

Falls ein Standort Eigenschaften aufweist, die nicht durch Düngung, einfache Bewirtschaftungsänderungen oder Sanierungsmassnahmen innert weniger Jahre korrigiert werden können (z.B. pH-Wert oder hoher Kalkgehalt), so ist eine neue, standortgerechte Anlagenplanung oder ein allfälliger Wechsel der angebauten Kultur zu prüfen.

2.2 Kulturbeobachtungen

2.2.1 Nährstoffentzug durch Ernte

Nährstoffentzüge durch die Ernte der Früchte werden für eine ausgewogene Nährstoffbilanz mittels einer nachhaltigen Düngung ausgeglichen. Die Düngungsnorm ist daher abhängig vom Ertragsniveau und steigt mit zunehmender Ernte an (Tabelle 1). Schnittholz, Blätter und Ernterückstände verbleiben in der Regel in der Obstanlage, so dass die Nährstoffgehalte dieser Organe nicht zum Entzug gezählt werden (Tabelle 2). Die im Boden fixierten oder ausgewaschenen Nährstoffe werden durch die Korrekturen mittels Bodenanalysen berücksichtigt (Kapitel 2.3.2).

2.2.2 Korrektur der Düngungsnorm von N aufgrund von Kulturbeobachtungen

N ist der Nährstoff, der das Pflanzenwachstum und den Ertrag am stärksten beeinflusst. Da pflanzenverfügbare N im Boden sehr mobil und die Nachlieferung während der Vegetationszeit daher schwierig zu bestimmen ist, werden zur Berechnung der N-Düngung im Obstbau keine Bodenanalysen verwendet. Für die Korrektur der Düngungsnorm (kg/ha) werden daher Beobachtungen der Obstkultur während der Vegetationszeit (Jahrestrieb/Blattzustand, Triebabschluss, Blühstärke und Ertrag des Vorjahres) sowie die Wuchsstärke der Unterlage in Abhängigkeit der Bodentiefe und der Humusgehalt verwendet (Tabelle 3). Bei Kern- und Steinobstanlagen sind Korrekturen von maximal -45 bis +45 kg/ha zur Norm möglich. Bei Kiwi wird die N-Düngung nur aufgrund der Wuchsstärke und des Humusgehalts korrigiert (Tabelle 4).

2.2.3 Korrektur der Düngungsnorm von P, K und Mg aufgrund von Kulturbeobachtungen

Bei P, K und Mg wird die ertragsabhängige Düngungsnorm (Tabelle 1) sowohl mit Kulturbeobachtungen als auch mit Bodenanalysen korrigiert (Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen). Die Korrekturen (in Prozent) aufgrund von Kulturbeobachtungen beschränken sich bei P, K und Mg daher auf die Wuchsstärke der Unterlage in Abhängigkeit der Bodentiefe (ohne Kiwi) und auf den Humusgehalt (Tabelle 5). In kaliumreichen Böden sollte die

Tabelle 1 | Düngungsnormen (kg/ha) für Kern- und Steinobst sowie für Kiwi in Abhängigkeit des Ertrags.

Kultur	Ertrag (kg/m ²)	N	P ₂ O ₅	P	K ₂ O	K	Mg
Apfel, Birne	2,0	40	10	4,4	40	33,2	10
	3,0	50	15	6,5	60	49,8	20
	4,0	60	20	8,7	75	62,3	20
	5,0	70	25	10,9	90	74,7	30
	6,0	80	30	13,1	110	91,3	40
Kirsche	0,8	40	15	6,5	40	33,2	10
	1,2	60	20	8,7	50	41,5	20
	1,6	80	30	13,1	65	54,0	30
	2,0	100	40	17,4	80	66,4	40
Zwetschge	1,0	40	10	4,4	35	29,1	10
	1,5	60	15	6,5	50	41,5	15
	2,0	80	20	8,7	65	54,0	20
Aprikose	1,5	45	20	8,7	60	49,8	10
	2,0	60	25	10,9	75	62,3	20
	2,5	75	30	13,1	90	74,7	30
Pfirsich	1,5	45	10	4,4	45	37,4	10
	2,0	60	15	6,5	55	45,7	20
	2,5	75	20	8,7	70	58,1	30
Kiwi	1,5	45	10	4,4	60	49,8	10
	2,0	50	15	6,5	75	62,3	15
	2,5	65	20	8,7	90	74,7	20

Tabelle 2 | Jährlicher Nährstoffbedarf (kg/ha) verschiedener Organe von Apfelbäumen (Batjer et al. 1952) ¹.

	N	P ₂ O ₅	P	K ₂ O	K	Ca	Mg
Früchte (40 t/ha)	20,0	13,0	5,7	60,0	49,8	3,6	1,8
Blätter	43,0	6,5	2,8	54,5	45,2	70,1	16,3
Äste, Stamm, Wurzeln	15,5	8,5	3,7	15,0	12,5	37,2	2,1
Verschiedenes (Knospen, Fallholz)	10,5	3,0	1,3	15,5	12,9	2,9	0,9
Schnittholz	10,0	4,4	1,9	4,0	3,3	22,9	1,5
Obstanlage insgesamt	99,0	35,4	15,4	149,0	123,7	136,7	22,6

¹ Je nach Standort, Sorte und Anbausystem können die Nährstoffwerte variieren.

Tabelle 3 | Korrektur der N-Düngung für Kernobst und Steinobst (Korrekturwerte in kg/ha).

Jahrestrieb/Blattzustand	übermässig/gut:	-10	normal:	0	schwach/ärmlich:	+10
Triebabschluss	spät:	-5	normal:	0	früh:	+5
Blühstärke/Fruchtansatz	schwach:	-5	normal:	0	gross:	+5
Ertrag des Vorjahres	schwach:	-5	normal:	0	gross:	+5
Unterlage	Bodentiefe > 80 cm		Bodentiefe 40–80 cm		Bodentiefe < 40 cm	
sehr kräftig	-10		-5		0	
mittelkräftig	-5		0		+5	
schwach	0		+5		+10	
Humus ¹	erhöht:	-10	ausreichend:	0	gering:	+10

¹ Für die Einteilung des Humusgehalts (gering, ausreichend, erhöht) siehe Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Tabelle 3.

Tabelle 4 | Korrektur der N-Düngung für Kiwianlagen (Korrekturwerte in kg/ha).

Wuchs	übermässig:	-30	normal:	0	schwach:	+15
Humus ¹	erhöht:	-12	ausreichend:	0	gering:	+9

¹ Für die Einteilung des Humusgehalts (gering, ausreichend, erhöht) siehe Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Tabelle 3.

Tabelle 5 | Korrektur der P-, K- und Mg-Düngung für Kernobst, Steinobst und Kiwi (Korrekturwerte in Prozent).

	Kern- und Steinobst	Kiwi						
			Bodentiefe > 80 cm	Bodentiefe 40–80 cm		Bodentiefe < 40 cm		
Unterlage	X							
mittel bis kräftig			-10 %	0 %		+10 %		
schwach			0 %	0 %		+20 %		
Humus ¹	X	X	erhöht	-10 %	ausreichend	0 %	gering	+10 %

¹ Für die Einteilung des Humusgehalts (gering, ausreichend, erhöht) siehe Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Tabelle 3.

Tabelle 6 | Obligatorische und empfohlene Bodenuntersuchungen im Obstbau.

Notwendigkeit	Untersuchung	Häufigkeit
Minimalstandard ¹	P, K, Mg (H ₂ O ₁₀ - und AAE ₁₀ -Extrakte)	alle 5–10 Jahre ²
	organische Substanz (Schätzung Farbskala)	alle 5–10 Jahre ²
	pH(H ₂ O)-Wert	alle 5–10 Jahre ²
	Körnung/Tongehalt (Fühlprobe)	einmalig
empfehlenswert ³	Spurenelemente (B, Fe, Mn, Zn)	alle 5–10 Jahre ²
	organische Substanz (analytisch)	alle 5–10 Jahre ²
	Körnung/Tongehalt (analytisch)	einmalig
	Kationenumtauschkapazität	einmalig
	Basensättigung	einmalig

¹ Für ÖLN-Betriebe sind die Anforderungen in der Direktzahlungsverordnung (BLW 2016) bzw. den SAIO-Richtlinien massgebend (SAIO 2017).

² Häufiger in Erwerbsanlagen mit Kultur- und Qualitätsschwierigkeiten.

³ Weitere Untersuchungsmöglichkeiten für Standortbeurteilung, empfehlenswert vor allem bei Neuanlagen und Kulturschwierigkeiten.

Mg-Düngung mindestens 20 kg/ha betragen (siehe Kapitel 2.3.2).

2.3 Bodenanalysen

Die Bodenbeprobung und die Berechnung der Korrekturfaktoren anhand von Bodenuntersuchungen werden ausführlich im Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen erläutert. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Grundlagen zusammengefasst und obstbauspezifische Aspekte angesprochen.

2.3.1 Probennahme bei Bodenuntersuchungen

Nährstoffverfügbarkeit (P, K, Mg), pH-Wert und Humusgehalt werden im Oberboden (2–25 cm) in der Regel alle fünf Jahre, spätestens jedoch alle zehn Jahre erhoben (Tabelle 6). Bodeneigenschaften, die nicht durch die Bewirtschaftung verändert werden (Körnung, Kationenumtauschkapazität), müssen nur einmalig bestimmt werden. Da Obstbäume vor allem im Oberboden wurzeln, kann in der Regel auf Untersuchungen des Unterbodens (25–50 cm) verzichtet werden. Bei Neuanlagen, Mangelerscheinungen, Kulturschwierigkeiten und Bodenmeliorationen sollten Bodenanalysen jedoch sowohl im Ober-, als auch im Unterboden in jeweils kurzen Zeitabständen durchgeführt werden, um Fehlentwicklungen frühzeitig erkennen zu können.

Bei der Beprobung werden 12–20 Proben auf der Diagonalen der Parzelle entnommen (Abbildungen 1 und 2; Agro-

scope 1996). Die einzelnen Einstiche müssen für die Parzelle respektive für den untersuchten Sektor repräsentativ sein (maximal 3 ha pro Analyse). Wird die Düngung durch Tropfenbewässerung (Kapitel 4.4) oder mit der Düngelanze (Kapitel 4.7) vorgenommen, so ist die Repräsentativität von zwölf Einstichen nicht gewährleistet. Es wird in diesen Fällen empfohlen, die Anzahl der Einstiche für die Mischprobe mindestens zu verdoppeln. Wird nur der Baumstreifen gedüngt (Kapitel 4.1), oder sind die Baumstreifen als Querterrassen angelegt, so dürfen Bodenproben nur im Baumstreifen genommen werden (Abbildung 1). Bei Obstkulturen ist eine Bodenbeprobung zwischen August und November ideal.

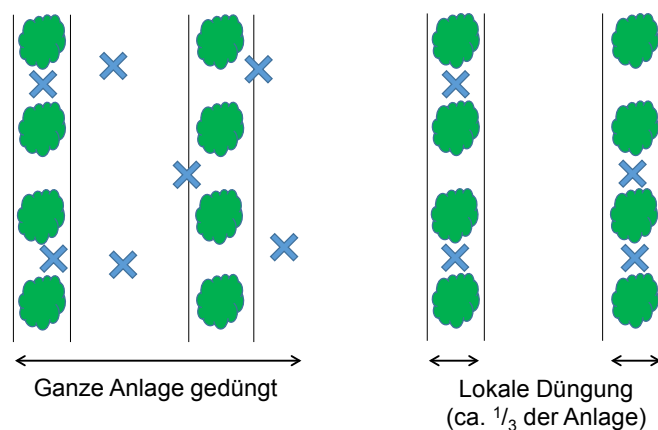


Abbildung 1 | Schema für die Entnahme von Bodenproben (x), wenn die ganze Obstanlage (links) oder nur lokal auf Terrassen oder Baumstreifen gedüngt wird (rechts).



Abbildung 2 | Pro Parzelle werden mit einem Bodenbohrer 12–20 repräsentative Proben in Tiefen von 2–25 cm und 25–50 cm entnommen (Fotos: Andreas Naef, Agroscope).

2.3.2 Korrektur der Düngungsnorm von P, K und Mg aufgrund von Bodenanalysen

Die Nährstoffkonzentrationen von P, K und Mg im Boden werden mit zwei verschiedenen Extraktionsmitteln bestimmt: Mittels Wasserextraktion (H₂O10) werden verfügbare Nährstoffe extrahiert (Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Tabellen 13–15), währenddem mit der Ammoniumacetat-EDTA(AAE10)-Extraktion auch stärker gebundene Nährstoffe gelöst werden (Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Tabellen 16–18). Für die Nährstoffkonzentrationen in den beiden Extrakten werden in Abhängigkeit des Ton- und Humusgehalts Korrekturfaktoren festgelegt. Diese werden einer Versorgungs-kategorie von A (arm) bis E (sehr reich) zugeordnet. Bei der Berechnung des Gesamtkorrekturfaktors aufgrund der Bodenanalysen werden die Resultate der AAE10-Methode doppelt, diejenigen der H₂O10-Methode einfach gewichtet:

$$\text{Gesamtkorrekturfaktor} = (2 \times \text{Faktor AAE10-Extrakt} + 1 \times \text{Faktor H}_2\text{O10-Extrakt}) : 3$$

Der Gesamtkorrekturfaktor wird anschliessend mit der Korrektur aufgrund von Kulturbeobachtungen (Kapitel 2.2.3) zusammengezählt und die Summe mit der Düngungsnorm (Tabelle 1) multipliziert, um den Düngerbedarf für P, K und Mg zu berechnen (siehe auch Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Kapitel 4.5). Ein Beispiel zur Berechnung der Düngergaben ist in Tabelle 7 aufgeführt. Wenn sich zwischen den Korrekturfaktoren des AAE10- und des H₂O10-Extrakts eine Differenz von mehr als zwei Versorgungsstufen (A bis E) ergibt, so ist zur Interpretation der Bezug eines Experten erforderlich, da einer der beiden Extrakte wahrscheinlich fehlerhaft ist. Die AAE10-Extraktion ist für P und Mg nur für kalkfreie Böden mit pH < 6,8 oder AAE10-Ca < 4000 mg/kg geeignet (Stünzi 2006). Bei pH-Werten zwischen 6,8 und 7,8 wird daher für P und Mg nur die H₂O10-Extraktion für die Berechnung des Korrekturfaktors verwendet. Für Böden mit pH > 7,8 liegt kein P-Interpretationsschema vor, da durch die reduzierte P-Löslichkeit, insbesondere bei grossem Ca-Überschuss, die tatsächliche P-Verfügbarkeit besser sein kann, als dies die Resultate der Messung im H₂O10-Extrakt wiedergeben. Für die Interpretation dieser Analyseresultate sollten Experten beigezogen werden. Die Resultate der Bodenanalysen sind allenfalls mit Blattanalysen zu verifizieren.

In Böden mit einem ungünstigen K:Mg-Verhältnis (K in Versorgungsklassen D und E, Mg in Versorgungsklassen A bis C) besteht im Obstbau die Gefahr von Antagonismen zwischen K und Mg (Kapitel 3.6). In einem solchen Fall sollte die jährliche Zugabe von Mg mindestens 20 kg/ha betragen. In alkalischen Böden (ab ca. pH 7,5) steht Mg auch mit Ca in Aufnahmekonkurrenz: Die Aufnahme von Mg über die Wurzel ist aufgrund der hohen Ca-Konzentration im Boden so stark reduziert, dass eine zusätzliche Mg-Bodendüngung keine Abhilfe schafft. In diesem Fall sollte die Mg-Düngung verstärkt mit chelatisierten Düngern (neutrale Ladung), respektive über das Blatt erfolgen.

2.3.3 Humusgehalt

Der Humusgehalt eines Bodens wird einerseits für die Berechnung der Korrekturfaktoren verwendet (Tabellen 3–5). Andererseits sollte der Humusgehalt auch aufgrund seines Einflusses auf bodenphysikalische und -biologische Eigenschaften regelmässig überprüft werden. Der Humusgehalt sollte, abhängig vom Tongehalt des Bodens, in der Kategorie «genügend» liegen (Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen, Tabelle 3). Böden mit mehr als 5 % Humus sind im Obstbau selten. Bei ungenügendem Humusgehalt ist eine Beeinflussung mit Bewirtschaftungsmassnahmen zu prüfen, um eine gesunde Bodenaktivität zu erhalten (Kapitel 4.3). Änderungen des Humusgehalts eines Bodens sind in der Regel jedoch nur sehr langsam möglich.

2.3.4 pH-Wert

Vom pH-Wert hängen die biologische Aktivität des Bodens sowie die Verfügbarkeit der meisten Nährstoffe ab (Scheffer *et al.* 2010). Jede abrupte Veränderung des pH-Wertes, zum Beispiel durch eine übermässige Kalkgabe, ist daher zu vermeiden. Im Obstbau ist ein pH-Wert zwischen 6,0 und 7,5 ideal. Eine Erhöhung des pH-Wertes kann über eine Kalkung erfolgen (Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen und Kapitel 2.3.5). Eine Absenkung des pH-Wertes, zum Beispiel durch den Einsatz saurer Dünger, ist aufgrund der starken Pufferwirkung von Kalk schwierig.

2.3.5 Calciumdüngung und Kalkung

Eine allfällige Kalkung des Bodens wird aufgrund der Tabelle 22 im Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen in Abhängigkeit des pH-Werts und des Tongehalts bestimmt. Im Obstbau wird ein pH-Wert zwischen 6,0 und 7,5 als ideal angesehen, so dass eine Kalkung vor allem bei Böden mit einem pH < 5,9 in Betracht zu ziehen ist. Bei einem pH-Wert zwischen 5,9 und 6,5 und einer Unterversorgung mit Ca werden vorzugsweise kalkhaltige Dünger verwendet. Da eine zu hohe Ca-Konzentration im Boden zu Aufnahmekonkurrenz mit anderen Nährstoffen (Antagonismus) führt, ist die Notwendigkeit einer Kalkgabe in Form von Calciumoxid (CaO) respektive eine Ca-Düngung für jeden Standort abzuwägen. Eine übermässige Kalkgabe ist in jedem Fall zu vermeiden.

Für Aufkalkungen sind grössere Kalkmengen erforderlich, die aufgrund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität berechnet werden (Tabelle 24 in Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen). Für die Berechnung einer Aufkalkung sollte ein Experte beigezogen werden.

2.4 Beispiel zur Berechnung des Düngerbedarfs

Das fiktive Beispiel einer Apfelanlage mit 4 kg/m² Frucht-ertrag in Tabelle 7 soll helfen, die Berechnung der korrigierten Normdüngung aufgrund von Kultur- und Bodenbeobachtungen nachvollziehen zu können.

2.5 Blattbeobachtungen

Mittels Blattanalysen und Beobachtungen von Nährstoffmangelsymptomen an Blättern kann der Ernährungszustand (latente Mängel z. B. nach Nässe- oder Trockenereignissen oder wegen Antagonismen zwischen Nährstoffen) einer Obstanlage während der Vegetationsperiode erfasst werden. Blattuntersuchungen können Bodenanalysen zwar ergänzen, bei der Berechnung der korrigierten Düngungsnormen können sie jedoch nicht verwendet werden.

2.5.1 Blattanalysen

Als Richtlinie sollten pro Analyse hundert Blätter inklusive Blattstiel jeweils in der Mitte eines Jahrestriebes entnom-

Tabelle 7 | Beispiel einer Berechnung des Düngerbedarfs (kg/ha) für eine fiktive Apfelanlage im Vollertrag.

		Tabelle	N	P ₂ O ₅	P	K ₂ O	K	Mg
Boden	Korrekturfaktor H ₂ O ₁₀ -Extrakt ¹	13–15 ³		1,4	1,4	0,6	0,6	1,4
	Korrekturfaktor AAE10-Extrakt ²	16–18 ³		1,0	1,0	0,4	0,4	1,4
	Gesamtkorrekturfaktor Boden ⁴			1,1	1,1	0,5	0,5	1,4
Kulturbeobachtungen	Jahrestrieb / Blattzustand: normal	3	+ 0					
	Triebabschluss: früh	3	+ 5					
	Blühstärke / Fruchtansatz: schwach	3	– 5					
	Ertrag des Vorjahres: normal	3	+ 0					
	Unterlage / Bodentiefe: schwach, Tiefe < 40 cm	3 & 5	+ 10	+ 20 %	+ 20 %	+ 20 %	+ 20 %	+ 20 %
	Humus (4,1 % bei 22 % Tongehalt: erhöht)	3 & 5	– 10	– 10 %	– 10 %	– 10 %	– 10 %	– 10 %
	Summe Korrekturen Kulturbeobachtungen		+ 0	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %
Düngungs-norm	Düngungsnorm, Ertrag Äpfel: 4 kg/m ²	1	60,0	20,0	8,7	75,0	62,3	20,0
	Korrektur Boden			110 %	110 %	50 %	50 %	140 %
	Korrektur Kulturbeobachtungen		+ 0	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %	+ 10 %
	Summe Korrekturen Boden und Kultur		+ 0	120 %	120 %	60 %	60 %	150 %
	Korrigierte Düngungsnorm⁵		60,0	24,0	10,4	45,0	37,4	30,0

¹ Nährstoffe im H₂O₁₀-Extrakt: 3 mg P/kg, 55 mg K/kg, 7 mg Mg/kg; Tongehalt: 22 %.

² Nährstoffe im AAE10-Extrakt: 46 mg P/kg, 330 mg K/kg, 40 mg Mg/kg; Tongehalt: 22 %.

³ Im Modul 2/ Bodeneigenschaften und Bodenanalysen.

⁴ Berechnung: (2 x Faktor AAE10-Extrakt + 1 x Faktor H₂O₁₀-Extrakt): 3, Wert anschliessend auf eine Kommastelle runden.

⁵ Wird der Dünger nur lokal auf dem Baumstreifen ausgebracht, so wird empfohlen, die N-Gabe pro Hektare um ein Drittel zu reduzieren, was lokal der doppelten Norm entspricht. Bei allen anderen Nährstoffen kann die ganze Menge im Baumstreifen ausgebracht werden (lokal: dreifache Menge der Norm), siehe Kapitel 4.1.

men werden (Abbildung 3). Jedes Blatt sollte dabei bezüglich Grösse, Farbe und Neigung (ca. 30 Grad) repräsentativ für den Baum, respektive für die Obstanlage sein. Pro Baum sollten höchstens zwei Blätter entnommen werden. Blätter verschiedener Sorten dürfen nicht gemischt werden. Nach starken Niederschlägen, intensiver Beregnung und nach Blattdüngungen dürfen keine Proben entnommen werden. Die Blattproben werden in einem gelochten Tiefkühlbeutel aufbewahrt und so bald wie möglich (spätestens drei Tage nach der Beprobung) an das Labor verschickt. Die Blattproben dürfen nicht tiefgekühlt werden. Um Verzögerungen beim Versand respektive der Analyse der Blattproben zu vermeiden, sollten Einsendungen frühzeitig beim Labor angekündigt werden.

Die Konzentration der Nährstoffe in den Blättern ist eine Momentaufnahme und hängt stark vom Entwicklungssta-

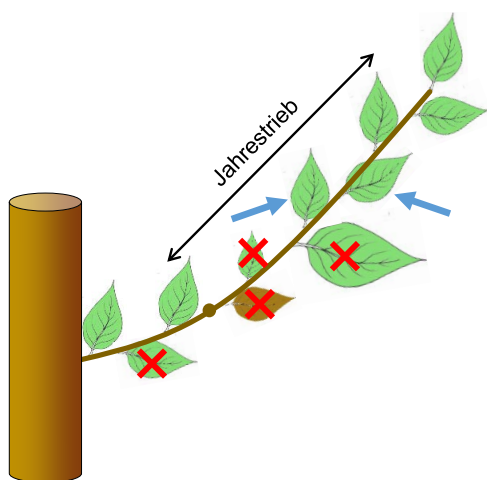


Abbildung 3 | Für die Blattanalyse werden pro Baum maximal zwei Blätter jeweils in der Mitte eines Jahrestriebs entnommen (→). Blätter, die bezüglich Grösse, Farbe und Neigung nicht repräsentativ für den Baum respektive für die Obstanlage sind, dürfen nicht verwendet werden (X).

dium des Blattes (Blattalter), von der Witterung, vom Triebwachstum, vom Fruchtbehang, vom Baumalter, von der Bodenpflege, von Pflanzenschutzbehandlungen und von der Sorte ab, was eine Interpretation der Resultate erschwert (Baab 2004). Im Frühling, das heisst mit dem Austrieb der Blätter, werden die meisten Nährstoffe aus den eingelagerten Reserven mobilisiert. Mit zunehmendem Triebwachstum werden diese Reservenährstoffe laufend durch Nährstoffe aus dem Boden ersetzt. Daher schwanken die Nährstoffkonzentrationen in den Blättern zu Beginn der Vegetationsperiode stark. Eine repräsentative Beurteilung der Nährstoffversorgung aufgrund von Blattanalysen ist zu diesem Zeitpunkt schwierig (Tabelle 8). Ab Ende Juli bis Anfang August sind die Nährstoffkonzentrationen in den Blättern relativ konstant und können daher verlässlich über die Nährstoffsituation Auskunft geben (Tabelle 9). Ernährungsstörungen können zu diesem Zeitpunkt jedoch nur im Hinblick auf die nächste Vegetationsperiode korrigiert werden (Aufdüngung des Bodens, Einlagerung von Nährstoffen ins Holz). In der Praxis besteht daher, trotz Unsicherheiten und Schwankungen der Nährstoffkonzentrationen, ein Trend zu frühen Blattanalysen.

Die Referenzwerte der Blattanalysen (Tabellen 8 und 9) enthalten Richtwerte für einen mittleren Optimalbereich. Diese Optimalwerte können jedoch je nach Sorte variieren, so dass die Interpretation nicht nach einem starren Schema erfolgt. Weiter hat sich gezeigt, dass der Optimalbereich von Versuchsanstalten und Labors im In- und Ausland unterschiedlich gesetzt wurde, unter anderem auch wegen verschiedenen Bestimmungsmethoden und Unterschieden in der Kulturführung. Für die Interpretation der Analyseresultate sollten daher Spezialisten (kantonale Berater, Labors) beigezogen werden. In jedem Fall empfiehlt sich die Entwicklung der Nährstoffwerte in den Blättern über mehrere Jahre zu verfolgen, um die Wirkung einer Düngermassnahme nachvollziehen und Jahresschwankungen ausgleichen zu können. Dabei ist es äusserst wichtig,

Tabelle 8 | Referenzwerte der Blattanalyse im Obstbau Mitte Juni. Die Werte sind in Prozent respektive in mg/kg der Trockensubstanz angegeben.

	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Apfel	2,60–3,20	0,20–0,40	1,10–1,50	0,80–2,00	0,23–0,50	30–100	8–25	50–150	50–150	30–100
Birne	2,70–3,50	0,20–0,50	1,50–2,50	0,90–2,00	0,25–0,50	30–100	8–25	50–150	50–200	25–100

Quelle: Pcfruit, St. Truiden, publiziert in Baab (2004).

Tabelle 9 | Referenzwerte der Blattanalyse im Obstbau im Juli/August (75–105 Tage nach der Vollblüte). Die Werte sind in Prozent respektive in mg/kg der Trockensubstanz angegeben.

	N (%) ¹	P (%) ¹	K (%) ¹	Ca (%) ¹	Mg (%) ¹	B (mg/kg) ²	Cu (mg/kg) ²	Fe (mg/kg) ²	Mn (mg/kg) ²	Zn (mg/kg) ²
Apfel	2,13–2,51	0,19–0,22	1,57–1,89	1,25–1,59	0,23–0,28	25–50	5–15	40–200	60–300	25–70
Birne	1,87–2,71	0,15–0,23	1,06–1,81	1,43–2,09	0,29–0,41	25–80	5–15	50–200	60–300	22–60
Zwetschge	2,26–2,74	0,15–0,24	2,03–2,57	1,96–2,54	0,31–0,39	keine Angaben				
Kirsche	2,17–2,63	0,17–0,22	2,03–2,57	1,65–2,15	0,26–0,34	keine Angaben				
Aprikose	2,40–2,80	0,16–0,21	2,58–3,14	1,90–2,46	0,35–0,49	keine Angaben				
Pfirsich	3,18–3,86	0,19–0,24	2,46–3,12	2,08–2,70	0,41–0,53	keine Angaben				

Quellen: ¹ Bertschinger et al. (2003), ² Pcfruit, St. Truiden, publiziert in Baab (2004).

Blattproben immer zum gleichen Zeitpunkt respektive beim gleichen Entwicklungsstadium zu nehmen. Referenzwerte für weitere Zeitpunkte (Mai: Analyse der Rosettenblätter, September: Angaben für Nährstoffrückzug) können in Baab (2004) nachgeschlagen werden. Weiterführende Informationen zu Blattanalysen sind auch in Bergmann (1993) zu finden.

2.5.2 Nährstoffmangelsymptome an Blättern

Ein akuter Mangel an Nährstoffen kann sich in der Blattfärbung zeigen. Nährstoffmangelsymptome an Blättern können damit einen ersten Eindruck geben, welche Nährstoffe nur mangelhaft verfügbar sind respektive aufgenommen wurden. Die Interpretation von Nährstoffmangelsymptomen an Blättern benötigt jedoch Erfahrung, so dass zu ihrer Beurteilung ein Experte beigezogen werden sollte. Mangelsymptome der wichtigsten Nährstoffe werden in Kapitel 3 beschrieben.

Wenn deutliche Nährstoffmangelsymptome sichtbar sind, so kann nicht mehr in der gleichen Vegetationsperiode korrigierend eingegriffen werden. Über eine Aufdüngung des Bodens respektive über die Einlagerung von Nährstoffen ins Holz können aber gute Voraussetzungen für das Folgejahr erreicht werden.

3. Nährstoffe und Düngung im Obstbau

Um qualitativ hochstehende Früchte auf einem hohen Ertragsniveau zu produzieren, müssen alle Nährstoffe zum richtigen Zeitpunkt in ausreichender Menge und im richtigen Verhältnis zueinander verfügbar sein. Bei einem Nährstoffmangel, Nährstoffüberschuss sowie bei Nährstoffungleichgewichten kann es zu Mangelerscheinungen und zu physiologischen Störungen (Fruchtreifung, Alternanz, vegetatives statt generatives Wachstum, Minderung der Fruchtqualität) kommen.

Bei Problemen mit der Nährstoffversorgung ist die Düngung nicht die einzige Möglichkeit, um das physiologische Gleichgewicht der Bäume zu beeinflussen: Der Baumschnitt, die Ausdünnung, die Bewässerungstechnik oder die Bodenpflege können das Wachstum der Bäume und damit den Nährstoffbedarf ebenfalls positiv beeinflussen. Weiter kann die Sorten-/Unterlagenkombination nicht dem Boden oder dem Klima angepasst sein, so dass langfristig eine Änderung der angebauten Kultur zu prüfen ist.

3.1 Dynamik des Nährstoffbedarfs im Jahresverlauf

Der Bedarf einer Obstanlage an Nährstoffen ist abhängig von der Jahreszeit. Um bedarfsgerecht düngen zu können,

Tabelle 10 | Beprobung sowie Boden- und Blattdüngung im Jahresverlauf bei Stein- (StO) und Kernobst (KO).¹

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	Winterruhe	Austrieb	Blüte	Fruchtbildung / Ernte Steinobst			Ernte Kernobst		Winterruhe			
Beprobung												
Bodendünger												
org. Dünger												
N			mehrere Gaben									
P												
K												
Ca/Kalkung												
Mg		Chelat ²										
B			Chelat ²									
Fe			Chelat ²									
Mn			Chelat ²									
Blattdünger ³												
N							StO		KO			
Ca												
Mg												
B												
Fe												
Mn												
Zn							StO		KO			

¹ Dunkle Balken: bevorzugter Ausbringungszeitpunkt, helle Balken: weitere Zeitpunkte auf Problemstandorten und bei Schwierigkeiten bei der Kulturführung. Je nach Standort (Klima, Boden), Witterung und Kulturführung (Obstart, Sorte) muss der Zeitplan an lokale Gegebenheiten angepasst werden. Der Einsatz von Blattdüngern und kalkhaltigen Düngern ist nicht in jedem Fall sinnvoll.

² Die Hälfte der Düngermenge im Frühjahr ausbringen, den Rest über 6–12 Wochen auf mehrere Gaben verteilen. Chelatdünger können mit dem Herbizidbalken im Baumstreifen ausgebracht werden. Bei Mischung mit Herbiziden sind die Gebrauchsanweisungen zu prüfen.

³ Nur auf Standorten mit Schwierigkeiten bei der Nährstoffversorgung und/oder Kulturführung.

ist es daher wichtig, die Wachstumsprozesse und Nährstoffbedürfnisse der Obstbäume zu kennen. Im Frühjahr benötigt der Baum viele Nährstoffe, um das Wachstum der Wurzeln, Blätter und Blüten sicherzustellen. Dieses Wachstum erfolgt aufgrund der fehlenden oder nur geringen Blattmasse und der geringen Verfügbarkeit an Nährstoffen im noch kalten Boden aus den Reserven, die im Vorjahr im Holz der Äste, des Stammes und der Wurzeln eingelagert wurden. Die Bodendüngung erfolgt daher in der Regel im Frühjahr (Tabelle 10), zur Zeit eines tiefen Nährstoffangebots im Boden, aber eines hohen Bedarfs durch die Obstbäume.

Der ideale Zeitpunkt einer N-Düngung ist vom Tongehalt eines Bodens (Mobilität von N im Boden) abhängig: Bei tonreichen Böden erfolgt die N-Düngung ab Anfang März, bei tonarmen Böden kurz vor der Blüte (Ende März/Anfang April, Tabelle 10). In jedem Fall sollte die N-Düngung auf zwei bis drei Gaben vor (März/April) und nach der Blüte (Mai/Anfang Juli) aufgeteilt werden (maximal 40 kg N/ha pro Einzelgabe), um eine Auswaschung der Nährstoffe, insbesondere von Nitrat, zu vermeiden (siehe Modul 7/ Düngung und Umwelt). Organische Düngemittel sind weniger rasch verfügbar und haben daher eine längere Wirksamkeit, d.h. die Nährstoffe werden weniger schnell ausgewaschen (siehe Kapitel 4.3). Eine zu späte N-Düngung (ab Juli) verzögert den Triebabschluss und die Holzreife, was zu einer tieferen Frostresistenz führt. Im Feldobstbau sollte daher die letzte Güllegabe vor Anfang Juli ausgebracht werden.

P, K und Mg sind im Boden weniger mobil als N, so dass diese Nährstoffe bereits während der Vegetationsruhe (ab Februar/März; Einschränkungen siehe Modul 7/ Düngung und Umwelt) in einer Gabe zugegeben werden können. Falls nur geringe P- und K-Mengen gedüngt werden müssen, so genügt es, alle zwei Jahre mit jeweils der doppelten Menge zu düngen. In ton- oder kalkreichen Böden sowie in Böden mit hohen Konzentrationen an Eisen- und Aluminiumoxiden jedoch wird P bei einer zu frühen Düngung in der Bodenschicht gebunden und ist nur kurzzeitig pflanzenverfügbar.

Durch die steigenden Temperaturen werden im Laufe des Frühjahrs immer mehr Nährstoffe, insbesondere N, aus der organischen Substanz mobilisiert, so dass ab Mai bis Juni die Reserven aus dem Holzkörper und die Bodendüngung nach und nach an Wichtigkeit verlieren. Nach der Blüte kann auf Problemstandorten die Fruchtbildung mit Blattdüngern unterstützt werden, falls die Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln nicht ausreicht (Kapitel 4.5). Die aufgenommene Nährstoffmenge über das Blatt ist in der Regel jedoch gering. Im Herbst ziehen die Bäume Nährstoffe aus den Blättern zurück und die Reserven im Holzkörper werden angelegt.

3.2 Stickstoff

N ist im Obstbau als Baustein organischer Verbindungen (Aminosäuren, Nukleinsäuren und Eiweissstoffe) und als Bestandteil von Chlorophyll der wichtigste Nährstoff. Eine

Über- oder Unterversorgung mit N stört das physiologische Gleichgewicht der Bäume und führt zu einem ungünstigen Verhältnis von vegetativem zu generativem Wachstum oder zu Qualitätseinbußen bei Früchten. N-Mangel, der vor allem bei Düngungsfehlern oder ausbleibender N-Mobilisierung auftritt, reduziert die Photosyntheseleistung, erhöht die Anfälligkeit gegenüber Trockenheit, setzt das vegetative Wachstum herab, verfrüht den Triebabschluss und beeinträchtigt die Blütenknospenbildung. In der Folge bleiben die Früchte aufgrund der schlechten Versorgung klein, und es besteht die Gefahr einer Alternanz. Bei N-Mangel verfärbt sich die Blattoberfläche zuerst gelbgrün bis gelb (helle Blattspalten), später werden die Blattspitzen orange bis rot-violett. Die herbstliche Verfärbung tritt vorzeitig ein.

Bei N-Überschuss wird ein verstärktes Triebwachstum ausgelöst, das erst spät abgeschlossen wird. Dadurch reifen die Früchte langsamer, färben weniger aus und sind anfälliger gegenüber physiologischen Störungen (Stippe, Kernhausfäule, Glasigkeit, Fleischbräune), so dass die Qualität und die Lagerfähigkeit der Früchte bei N-Überschuss abnehmen. Weiter sind betroffene Obstbäume durch den verspäteten Abschluss des Triebwachstums anfälliger für Frostschäden.

Die N-Düngung wird vor allem in den Monaten März bis Mai durchgeführt (Tabelle 10), das heisst, wenn der Bedarf an N am höchsten und die Aktivität im Boden noch tief ist. Aufgrund der hohen Mobilität von N und der Gefahr der Auswaschung ist die zu düngende N-Menge auf zwei bis drei Gaben bis Anfang Juli aufzuteilen. Weiterführende Informationen: Baab (2009h).

3.3 Phosphor

P ist ein Bestandteil der Photosynthese und der Atmung sowie ein Baustein der Erbinformation (DNS) und somit an allen vegetativen und generativen Stoffwechselfvorgängen beteiligt. Weiter ist P wichtig für die Aufrechterhal-



Abbildung 4 | Phosphormangel: lichtetes Blattwerk mit kleinen, hellgrünen Blättern mit rötlichen Blattadern und halbmondförmigen Randnekrosen an älteren Blättern. Ab zweiter Vegetationshälfte stumpfgrüne, bronzefarbene oder rotviolette Blätter, die lederartig und brüchig werden. Steinobst: starr aufgerichtete, spitze, lanzettenartig verformte, purpur-bronzefarben-gefleckte Blätter (Foto: Tom Deckers, Pcfruit, St. Truiden).

tung der Zellstruktur, den Aufbau von Eiweissen und Kohlenhydraten sowie für die Zellteilung und den Transport von Assimilaten, so dass bei P-Mangel (Abbildung 4) Wachstumsstörungen auftreten können. Weiter kann ein reduzierter Blüten- beziehungsweise Fruchtansatz die Folge von P-Mangel sein. P-Mangel tritt vor allem auf kalten, trockenen, verdichteten, flachgründigen, humusarmen Böden mit geringer mikrobiologischer Aktivität oder bei pH-Werten $< 5,5$ oder $> 7,0$ auf. Daher sind Massnahmen zur Bodenverbesserung (Bodenaktivität, Durchwurzelung des Bodens) ebenso wichtig wie eine jährliche P-Düngung. Aufgrund der schnellen Bindung im Boden sollte P regelmässig sowie im Frühling statt im Herbst gedüngt werden (Tabelle 10). P-Überschuss kann zu Mangelsymptomen bei anderen Nährstoffen führen, tritt aber nur selten auf. Weiterführende Information: Baab (2009b).

3.4 Kalium

K reguliert den Wasserhaushalt der Pflanze, aktiviert Enzyme und ist unter anderem an der Photosynthese und am Aufbau und Transport von Stoffwechselprodukten und Reservestoffen beteiligt. K-Mangel (Abbildung 5) reduziert daher das Wachstum sowie die Menge und Qualität der Früchte (kleine, schlecht ausgefärbte Früchte ohne Aroma). Die Lagerfähigkeit kann bei K-Mangel ebenfalls reduziert sein. Weiter ist eine optimale K-Versorgung wichtig für die Widerstandsfähigkeit gegenüber Stressfaktoren wie Trockenheit, Frost oder Krankheiten. Zu hohe K-Konzentrationen im Boden verursachen ungünstige K:Ca- oder K:Mg-Verhältnisse, so dass bei K-Überschuss die Gefahr von physiologischen Störungen mit entsprechenden Einbussen der Fruchtqualität besteht. Weiter kann ein K-Überschuss die Fruchtreife verzögern.

Die K-Düngung erfolgt in der Regel mit sulfathaltigen Kalidüngern im Frühling (Tabelle 10). Der Einsatz von organischem Dünger kann bei Standorten mit Problemen mit der K-Versorgung empfehlenswert sein. Mittels kaliumhaltigen Düngern via Fertigation (Düngung via Bewässerungssystem, Kapitel 4.4) von Mitte Juni bis Mitte August kann eine Verbesserung der Fruchtqualität erzielt werden. K-



Abbildung 5 | Bei Kaliummangel entwickeln sich an den ältesten Blättern Nekrosen entlang der Blattspitzen und später an den Blatträndern (Blattrandnekrosen). Kirschen: blaugrüne Blätter, die sich parallel der Mittelrippe aufrollen. Zwetschgen: braune Blattrandnekrosen (Foto: Tom Deckers, Pcfuit, St. Truiden).

Mangel kann auch durch eine Überversorgung mit N entstehen, was jedoch selten ist. Weiterführende Informationen: Baab (2009a).

3.5 Calcium

Ca ist einerseits ein wichtiger Baustein für die Stabilität von Zellwänden, andererseits ist Ca an den Reifeprozessen der Früchte beteiligt. Bei Ca-Mangel (Abbildung 6) treten daher Störungen auf, die zu physiologischen Erkrankungen führen (Stippe, Fleischbräune, vorzeitige Reife) und somit die Lagerfähigkeit der Früchte reduzieren. Ca-Mangel hemmt das Wurzelwachstum, was wiederum negative Auswirkungen auf die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen hat. Ca-Überschuss führt durch Aufnahmekonkurrenz (Antagonismus) zu Mangel anderer Nährstoffe.



Abbildung 6 | Bei Calciummangel entstehen ab dem Frühsommer Aufhellungen an den Blattspitzen, später Chlorosen, teils chlorotische Sprenkelungen bis hin zu Blattspitzennekrosen (Foto oben: Albert Widmer, Agroscope; unten: Jeanne Poulet, Union fruitière lémanique).

Bei Bedarf kann die Ca-Verfügbarkeit im Boden durch eine Ca-Düngung, zum Beispiel mit Calciumsulfat, optimiert werden. Bei Böden mit einem pH $< 5,9$ ist eine Kalkung in Betracht zu ziehen (Kapitel 2.3.5), was jedoch meist auch die Aufnahme anderer Nährstoffe beeinflusst. An Standorten mit Problemen mit der Ca-Versorgung können ab Juni zusätzlich Blattdünger eingesetzt werden (Tabelle 10, Kapitel 4.5). Die Kulturführung (gleichmässiger Fruchtansatz, moderates Triebwachstum und früher Triebabschluss, termingerechte Ernte) sind ebenso wichtig wie die Düngung. Weiterführende Information: Baab (2009f).

3.6 Magnesium

Mg ist ein wesentlicher Bestandteil des Chlorophylls und damit wichtig für die Photosynthese. Mg aktiviert zahlreiche Enzyme und ist dadurch am Aufbau von Kohlenhydraten, Proteinen, Fetten und Vitaminen beteiligt. Weiter ist Mg für die Stabilität von Zellwänden und für die Regulation des Wasserhaushaltes verantwortlich. Mg-Mangel (Abbildung 7) führt zu vorzeitigem Blattfall, was aufgrund des Mangels an Assimilaten in der Folge zu reduziertem Dickenwachstum, geringerer Blütenbildung und verminderter Forsthärte führt. Früchte bleiben bei Mg-Mangel klein, geschmacklos, zuckerarm und schwach gefärbt. Mg-Überschuss kann die Aufnahme anderer Nährstoffe, zum Beispiel K oder Mangan (Mn), negativ beeinflussen.

Mg ist vor allem wegen der Aufnahmekonkurrenz (Antagonismus) mit anderen Nährstoffen (namentlich K, aber auch Ammonium [NH₄⁺], Ca und Mn) in zahlreichen Obstanlagen ein Problemnährstoff. Bei ungünstigem K:Mg-Verhältnis im Boden muss die Mg-Versorgung im Boden angehoben werden, um eine Mangelsituation zu verhin-



Abbildung 7 | Magnesiummangel bei Apfelbäumen: vor allem bei älteren Blättern ab August/September hellgrüne bis gelbe, unregelmässige, ovale Flecken zwischen den noch grünen Blattadern. Im Gegensatz zu den Symptomen des Mangans mangels sind die Blatflecken scharf vom umgebenden Grün abgegrenzt. Später werden die Flecken nekrotisch braun. Blattadern bilden oft ein fischgräteähnliches Muster. Birnen: erst im Spätsommer bei älteren Blättern schwarz-braune, ovale Nekrosen entlang der Mittelrippe zwischen den noch grünen, fischgräteartigen Blattadern. Kirschen/Zwetschgen: Blattflächen zwischen den noch grünen Blattnerven verfärben sich gelb-orange bis bräunlich, später braun (Fotos: Agroscope).

dern. Aufgrund der Auswaschungsgefahr sollte Mg erst im Februar/März ausgebracht werden (Tabelle 10). Als Blattdünger kann Mg von Blühende bis Juni ausgebracht werden, um an Standorten mit Problemen der Mg-Versorgung die Chlorophyllentwicklung und damit die Photosynthese zu unterstützen. Weiterführende Informationen: Heller und Ryser (1997b), Baab (2009e).

3.7 Schwefel

Schwefel (S) ist ein Bestandteil von Proteinen, Aminosäuren, Farbstoffen und Stoffwechselverbindungen. Mit Pflanzenschutzmitteln und schwefelhaltigen Düngern wird S oft in genügender Menge ausgebracht. S-Mangel (mattgrüne Blätter mit chlorotischen Blattadern, Blätter bleiben klein) tritt im Obstbau daher nur selten auf.

3.8 Bor

Bor (B) spielt vor allem beim Wachstum (Meristemwachstum, Zellteilung) sowie in den Blütenorganen (Pollenschlauchwachstum) eine wichtige Rolle. Weiter hemmt B die Berostung und ist am Kohlenhydratstoffwechsel, an der Gewebedifferenzierung und am Aufbau der Zellwände beteiligt. B aktiviert respektive deaktiviert Wachstoffsstoffe und Hormone. B-Mangel und -Überschuss führen zu deformierten Früchten, verkrüppelten Blüten bei Kirschen, Korkflecken im Fruchtfleisch, Berostung sowie zum Tod des Meristemgewebes und der Triebspitzen.



Abbildung 8 | Bormangel führt zu deformierten Früchten und zu Korkflecken im Fruchtfleisch (Foto oben: Karl Bachinger, Landwirtschaftskammer Niederösterreich; unten: Agroscope).

B-Mangel (Abbildung 8) tritt vor allem auf Böden mit hohem Kalkgehalt respektive mit hohem pH-Wert ($> 7,2$), bei Trockenheit, bei gleichzeitiger Kälte und Nässe, hoher N-Versorgung im Boden und auf sandigen, wasserdurchlässigen Böden auf. B-Mangel kann wirksam mit einer Bodendüngung korrigiert werden. Schwierigkeiten bei der Düngung kann jedoch der enge Optimalbereich bei der B-Versorgung bereiten. Um eine Überdüngung zu vermeiden, sind die oft nur geringen Mengen daher genau einzuhalten. Auf Problemstandorten können auch Blattdünger wirksam eingesetzt werden, die mit anderen Pflanzenschutzmitteln mischbar sind (Verträglichkeit vorgängig prüfen). Frühe B-Düngungen wirken besser als späte. B-Gaben sind bei Bedarf zwei- bis dreimal zu wiederholen. Weiterführende Informationen: Baab (2012).

3.9 Kupfer

Kupfer (Cu) ist Bestandteil des Stoffwechsels der Obstbäume (Kohlenhydrate, Eiweisse). Weiter ist Cu in Enzymen enthalten und dabei am Ligninstoffwechsel beteiligt (Verholzung der Zellwände). Cu-Mangel, sichtbar als Blattaufhellungen an den Triebspitzen, tritt vor allem auf Moor- und Sandböden auf und führt zu Blattfall, verkümmerten Triebspitzen und gestörter Fruchtbildung. Häufiger als Cu-Mangel dürfte in Obstanlagen als Folge von Pflanzenschutzmittelbehandlungen jedoch Cu-Überschuss auftreten. Zu hohe Cu-Konzentrationen können negative Auswirkungen auf das Wurzelwachstum (> 200 mg Cu/kg; Österreicher und Aichner 1998) und die Bodenlebewesen (Regenwürmer) haben sowie die Aufnahme der Elemente Kalium, Eisen, Mangan und Zink konkurrenzieren.

3.10 Eisen und Mangan

Eisen (Fe) ist Bestandteil verschiedener Enzyme und damit in den Chloroplasten und im Chlorophyll vertreten. Weiter ist Fe wichtig für die Energieübertragung bei der Photosynthese und der Atmung. Mangan (Mn) aktiviert in der Pflanze zahlreiche Enzyme und ist damit an verschiedenen Stoffwechselprozessen beteiligt. Die Verfügbarkeit von Mn und Fe im Boden ist vom pH-Wert abhängig: In alkalischen Böden sind Mn und Fe stark gebunden und daher oft nur in tiefen Konzentrationen pflanzenverfügbar. Ein Mn- (Abbildung 9) und Fe-Mangel (Abbildung 10) kann durch Bodenverdichtung, unsachgemässe Kalkung sowie überhöhte Düngung mit Mg und Ammonium ausgelöst werden.

Aufgrund der Abhängigkeit vom pH-Wert kann die Verfügbarkeit von Mn und Fe nicht durch eine einfache Bodendüngung angehoben werden. Daher stehen bei Mn und Fe Blattdünger und pH-stabile Chelatdünger im Vordergrund (Kapitel 4.5 und 4.6). In der Regel ist der Bedarf an Mn und Fe nach der Blüte am höchsten (Tabelle 10). An Standorten mit Problemen mit der Mn- und/oder Fe-Versorgung kann allenfalls bereits vor der Blüte eine Düngung durchgeführt werden. Weitere Behandlungen im Sommer oder nach der Ernte (Steinobst) können ebenfalls angezeigt sein. Weiterführende Informationen: Heller und Ryser (1997a; 1997c), Baab (2009d; 2009g)



Abbildung 9 | Mangan-Mangelsymptome zeigen sich vor allem an vollentwickelten, mittelalten Blättern: nicht scharf abgegrenzte, diffuse Chlorophyllaufhellungen (blassgrün, später stumpfgelb) zwischen den Blattnerven, die meist grün bleiben respektive von einem breiten grünen Saum umgeben sind. Nekrosen treten erst sehr spät oder gar nicht auf. Birnen: einheitliche Blattvergilbung (ähnlich wie N-Mangel). Kirschen: häufig mit braunen Blatträndern (Foto oben: Othmar Eicher, Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg; unten: Jeanne Poulet, Union fruitière lémanique).



Abbildung 10 | Bei Eisenmangel sind die jüngsten Blätter leuchtend gelb, später braun. Nur die Blattnerven bleiben grün (Foto: Agroscope).

3.11 Zink

Zink (Zn) aktiviert eine Reihe von Enzymen und ist damit an Zellteilungs-, Zellstreckungs- und Stoffwechselprozessen beteiligt. Zn-Defizite treten vor allem in schweren, humushaltigen, verdichteten (Staunässe) oder alkalischen Böden ($\text{pH} > 7,2$) auf. Zn-Mangel führt zu Wachstumspro-

blemen bei Wurzeln und Trieben sowie zum Abfallen von Blüten und Blättern. Weiter kann Zn-Mangel kleinere Früchte sowie eine Verzögerung der Fruchtreife zur Folge haben. Zn-Mangel wird zuerst an sonnenexponierten und älteren Blättern sichtbar (kleine, schmale, starr aufrechtstehende, lanzettenförmige und rosettenförmig angeordnete Blätter mit mosaikförmigen Chlorophyllaufhellungen). Blattadern weisen einen deutlichen, grünen Saum auf. Blattränder sind meist gewellt oder stärker gezahnt. Chlorosen treten vor allem bei jungen Blättern auf.

Zn-Überschuss ist vor allem auf sauren Standorten ein Problem und kann zur Zerstörung von Chlorophyll und dadurch zu Wachstumsdepression führen. Zn wird in der Regel durch Blattdünger verabreicht. Weiterführende Informationen: Baab (2009c).

4. Düngetechnik

4.1 Breitflächige oder lokale Düngung

Dünger können in der Obstanlage entweder breitflächig mit dem Düngerstreuer oder lokal auf den Baumstreifen mit einer Vorrichtung für eine gezielte Ausbringung oder von Hand ausgebracht werden (Abbildung 11). Die begrenzte Ausbringung des Düngers auf den Baumstreifen ist vor allem bei schwachen Veredelungsunterlagen sinnvoll, da in diesen Fällen der Wurzelraum in der Regel im Baumstreifen bleibt. Eine gelegentliche Breitbanddüngung ist jedoch auch in diesen Anlagen von Zeit zu Zeit zur Unterstützung einer tragfähigen Grasnarbe in der Fahrgasse sinnvoll. Erfolgt die Düngung nur im Baumstreifen, so dürfen Bodenproben für die Nährstoffkontrolle ebenfalls nur im Baumstreifen genommen werden (Kapitel 2.3.1). Die Düngergaben werden jeweils für die Gesamtfläche der



Abbildung 11 | Düngerstreuer: breitflächige Düngung des Wurzelraums und der Fahrgasse (Foto: Thomas Kuster, Agroscope).

Obstanlage berechnet. Wird der Dünger nur lokal auf dem Baumstreifen ausgebracht, so verdreifacht sich bei gezielter Düngung die Düngergabe von P, K und Mg bezogen auf die effektiv gedüngte Fläche, da der Baumstreifen etwa einem Drittel der Gesamtfläche entspricht (Abbildung 1). Bei N wird empfohlen, bei einer Baumstreifendüngung die Gabe pro Hektare um ein Drittel zu reduzieren, was lokal der doppelten Menge des berechneten Düngerbedarfs entspricht. Höhere N-Mengen dürfen nicht ausgebracht werden, um eine Schädigung des Baumes, eine verminderte Fruchtqualität und eine Auswaschung der Nährstoffe zu vermeiden.

4.2 Nachbau und Düngung von Junganlagen

Obstbäume stehen, im Gegensatz zu anderen Kulturen, über mehrere Jahre immer am gleichen Standort. Ein Wechsel der angebauten Kultur ist erst nach mehreren Jahren bis Jahrzehnten möglich. Zusätzlich erschweren ein heterogener Aufbau einer Obstanlage sowie Investitionen in Witterungsschutz, Pflanzenschutz und Bewässerungsanlagen eine Verschiebung des Baumstreifens bei einer Neupflanzung. Bei wiederholtem Anbau von Obstbäumen auf der gleichen Fläche oder auf dem gleichen Streifen können jedoch Wuchs- und Ertragsminderungen (Bodenmüdigkeit, siehe auch Projekt Steinobststerben: Bosshard *et al.* 2004) auftreten. Diese Bodenmüdigkeit kann bodenphysikalische, bodenchemische, pilzbedingte oder tierische Ursachen haben. Ist mit Bodenmüdigkeit zu rechnen, so ist ein Wechsel der Obstsorte, eine Vegetationspause mit einer Gründüngung oder eine Verschiebung des Baumstreifens zu prüfen. Zusätzlich wird bei Nachbauproblemen eine Kompostgabe zur Bodenverbesserung empfohlen (siehe auch Kapitel 4.3, Abbildung 12). Zur Vorbereitung des Bodens sollten Mist, Gärgut oder organische Flüssigdünger bereits in der Vorkultur ausgebracht werden.



Abbildung 12 | Champignonkompost zur Bodenverbesserung im Nachbau einer Zwetschgenanlage (Foto: Thomas Schwizer, Agroscope).

Die Düngung von Junganlagen muss an die Pflanzenentwicklung während der Wachstumsphase angepasst werden. Junge Bäume benötigen zum Aufbau der Biomasse (Wurzel-, Stamm- und Triebwachstum) viele Nährstoffe. Daher sollte eine Junganlage trotz des ausbleibenden Nährstoffzugs durch die Ernte ausreichend, kulturangepasst und zeitgerecht gedüngt werden. Zu hohe Nährstoffgaben können jedoch bei jungen oder schwach wachsenden Bäumen aufgrund des noch kleinen Wurzelwerks nicht aufgenommen werden. Daher sollte in Junganlagen die Düngung lokal auf den Baumstreifen ausgebracht werden. Die Berechnung des Düngerbedarfs (inklusive Korrekturen) erfolgt aufgrund eines vorhergesagten Zielertrags in der Vollertragsphase. Beginnend mit der halben Ertragsmenge wird die Düngung bis zum Eintreten der Vollertragsphase schrittweise auf die ganze Norm angehoben. Die Dauer dieser Aufbauphase ist abhängig vom Standort, der Anbaustrategie, des Wachstums und der Pflanzenqualität, beträgt aber maximal fünf Jahre.

4.3 Organische Dünger

Die Düngung im Frühling mit organischem Material (Kompost, gut verrotteter Mist, Gülle etc.) hat, als Alternative zu mineralischen Düngern, mehrere Vorteile. Die organische Substanz muss von der Bodenfauna abgebaut werden, was nicht nur die biologischen Bodeneigenschaften und die Mykorrhizierung fördert, sondern auch ermöglicht, dass Nährstoffe über einen längeren Zeitraum kontinuierlich in die Bodenlösung abgegeben werden (ausser organische Dünger in flüssiger Form, z. B. Gülle). Dadurch kann die Anzahl Fahrten reduziert werden, was besonders bei nassen Böden die Gefahr von Verdichtung vermindert. Durch den Eintrag an organischem Material und der dadurch verbundenen höheren Bodenaktivität werden Humusgehalt und Krümelstruktur erhalten oder gar gesteigert, was sich wiederum positiv auf den Wasser- und Lufthaushalt eines Bodens auswirkt.

Im ersten Jahr nach der Ausbringung hat die Bodenabdeckung mit Kompost eine unkrautunterdrückende Wirkung. Weiter vermindert die Bodenabdeckung mit Kompost die Verdunstung und hat damit vor allem bei trockener Witterung eine positive Wirkung auf die Bodenfeuchtigkeit. Ebenfalls kann eine Bodenabdeckung mit Kompost eine positive Wirkung gegen Frostschäden haben. Je nach Qualität und Verrottungsgrad können durch einen Komposteinsatz zudem schädliche Bodenpilze gehemmt werden, was speziell bei Nachbauproblemen interessant ist (Kapitel 4.2). Das Ausbringen von organischem Material, namentlich Kompost, ist daher vor allem in langjährigen Kulturen wie im Obstbau eine wichtige Massnahme zur Boden- und Standortverbesserung.

Zu hohe Kompostgaben können negative Auswirkungen auf eine Obstanlage haben. Bei feuchten Böden kann eine geringere Verdunstung durch die Abdeckung mit organischem Material die Gefahr mechanischer Bodenverdichtung erhöhen. Zudem kann die Mäusegefahr erhöht sein. Kompost ist zudem oft reich an K und N (siehe Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern, Kapitel 3),

so dass erhöhte Gaben Aufnahmekonkurrenz oder physiologische Probleme auslösen können. Allgemein sollte der Nährstoffgehalt des organischen Materials möglichst gering sein, da die maximale Menge an Dünger durch die vorgegebene Düngungsnorm der verschiedenen Nährstoffe (vor allem durch P) limitiert ist. In jedem Fall sollten beim Lieferanten aktuelle Nährstoffanalysen verlangt werden.

Besonders zu beachten ist auch die Qualität des Komposts, die den Richtlinien der Branche entsprechen sollte (Abächerli *et al.* 2010). Der Gehalt an Schwermetallen und Fremdstoffen (Kunststoffe, Glas, Metall etc.) muss unterhalb der Grenzwerte liegen (ChemRRV), und der Kompost darf keine unerwünschten Organismen wie Samen von Neophyten oder Krankheitserreger enthalten (DüV). Der Verrottungsgrad muss zudem für die Kultur optimal und möglichst homogen sein. Weiterführende Informationen sind bei der Biomasse Suisse (www.biomassesuisse.ch) oder bei CVIS (Inspektoratssystem für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz, www.cvis.ch) erhältlich.

Um schädliche Auswirkungen von zu hohen Kompostgaben zu verhindern, darf zur Düngung innert drei Jahren maximal 25 t/ha Trockensubstanz (entspricht ca. 50 t/ha Frischgewicht, ca. 100 m³ Kompost) und zur Bodenverbesserung innert zehn Jahren maximal 100 t/ha Trockensubstanz (entspricht ca. 200 t/ha Frischgewicht, ca. 400 m³ Kompost) ausgebracht werden (ChemRRV, BAFU und BLW 2012). Wird im Rahmen einer organischen Bodenverbesserung die Normdüngung überschritten, so ist eine Sonderbewilligung der kantonalen Fachstelle nötig (Richtlinien für den Leistungsnachweis ÖLN im Obst- und Beerenanbau in der Schweiz). Weiterführende Informationen: Modul 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern.

4.4 Fertigation und Flüssigdünger

Wird eine Obstanlage mit Tropfenbewässerung oder lokalisierter Mikroberieselung bewässert (Monney und Bravin 2011), so kann die Düngung mit der Bewässerung ausgebracht werden (Fertigation, Abbildung 13). Diese Technik ist vor allem für intensive Kulturen mit schwachen Veredelungsunterlagen mit einem kleinen Wurzelraum oder bei gedeckten Kirschenanlagen interessant. Leicht auswaschbare Elemente können zudem in mehreren Düngungen zeitlich gezielt zugeführt werden, was vor allem für N und allenfalls auch für Mg interessant ist. Im Frühling, wenn die meisten Dünger ausgebracht werden, ist der Boden oft auch ohne Bewässerung genügend feucht. Die Düngerapplikation erfolgt daher oft in konzentrierter Form mit geringem Wasseraufwand. Nach einer Düngung müssen die Leitungen mit Wasser gespült werden, um Kristallisierungen zu verhindern.

Neben der Fertigation kann Flüssigdünger auch mit dem Herbizidbalken oder mit einer Brause ausgebracht werden («Duschen»). Vor allem N, zum Beispiel in Form von gelöstem Calcium- oder Kaliumnitrat, kann mit dem Herbizidbalken während und nach der Blütezeit appliziert werden. Bezüglich Baumentwicklung, Ertrag und Fruchtqualität



Abbildung 13 | Mittels Bewässerung kann die Düngung gezielt dem Wurzelraum zugeführt werden (Foto: Thomas Schwizer, Agroscope).

gibt es keine allgemeinen Vorteile der Fertigation oder Flüssigdüngung gegenüber der Streudüngung. Mit der Flüssigdüngung kann der N jedoch gezielt dem Wurzelraum zugeführt werden. Zudem sind die Nährstoffe rascher pflanzenverfügbar, da sie mit dem Wasser bereits in gelöster Form in den Boden gelangen. Wegen der zusätzlichen Wassergabe und der dadurch besseren Verteilung der Nährstoffe im Boden sind positive Effekte der Flüssigdüngung vor allem in trockenen Jahren denkbar. Bei Flüssigdünger ist die Menge an Salzen, die in der Nährstofflösung enthalten sind, zu beachten. Ein zu niedriger Wert kann Nährstoffmangel, ein zu hoher Wert kann durch zu hohe Salzkonzentrationen Wassermangel auslösen. Die Salzmenge wird als elektrische Leitfähigkeit (electric conductivity [EC], mS/cm) gemessen. Der optimale Salzgehalt in der Düngerlösung hängt von der angebauten Kultur, der Witterung und dem Salzgehalt im Boden ab, so dass es keine allgemein gültigen Angaben gibt. Fertigation und Flüssigdünger sind im Düngungsplan und damit in der gesamten betrieblichen Nährstoffbilanz zu berücksichtigen.

4.5 Blattdünger

Die Versorgung der Obstbäume mit Nährstoffen erfolgt vorwiegend über die Wurzeln. Kann durch eine Bodendüngung nicht die gewünschte Wirkung erzielt werden, so ist es möglich, die Nährstoffversorgung mittels Blattdüngung zu ergänzen. In kalkreichen oder kaliumreichen Böden ist es zum Beispiel nicht möglich, die Verfügbarkeit von Mg, B, Fe oder Mn durch eine Bodendüngung zu erhöhen, da diese Nährstoffe bei hohem pH-Wert sehr schnell im Boden gebunden oder wegen Antagonismen nicht aufgenommen werden können (Ausnahme: Chelatdünger, siehe Kapitel 4.6). Ebenso kann es bei starkem Blütenansatz und entsprechend hohem Nährstoffbedarf sinnvoll sein, Obstbäume nach dem Abblühen mit Blattdüngern zu

unterstützen. Die Wirkung der Blattdüngung darf jedoch nicht überbewertet werden. Eine Blattdüngung sollte daher nur bei Schwierigkeiten in der Kulturführung eingesetzt werden. Eine Nacherntebblattdüngung sollte zudem nur bei gesundem Blattwerk und genügend Zeit für die Reservestoffeinlagerung durchgeführt werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei genügender Nährstoffversorgung über den Boden die Quantität und die Qualität der Ernte durch Blattdüngung nicht gesteigert werden und das Auftreten von Alternanz nicht beeinflusst wird (Widmer *et al.* 2005, 2006; Kuster und Schweizer 2015), da nur ein geringer Anteil des gesamten Nährstoffbedarfs über das Blatt aufgenommen werden kann. In ausgeglichenen und gesunden Obstanlagen sind daher Blattdünger ökonomisch und ökologisch (Abdrift) nicht zu rechtfertigen.

Blattdüngungen werden in der Regel auf mehrere Gaben aufgeteilt, um Verluste zu reduzieren. Sie müssen in den angegebenen Mittel- und Wasseraufwandmengen (in der Regel 1000 l/ha) gespritzt werden und dürfen nicht wie Pflanzenschutzmittel aufkonzentriert werden. Daher können Blattdünger in den meisten Fällen nicht mit Pflanzenschutzmitteln gemischt werden. Werden Blattdünger mit anderen Blattdüngern oder trotzdem mit Pflanzenschutzmitteln gemischt, so müssen die Anwendungshinweise beachtet werden, um Phytotoxizität oder eine unzureichende Wirkung zu vermeiden. Die Spritzgeräte sind vor der Aufbereitung der Blattdünger gründlich zu reinigen.

Blattdünger werden passiv durch die Blattoberfläche aufgenommen. Das heisst, im Gegensatz zu Bodendüngern kann der Obstbaum die Aufnahme der Nährstoffe über das Blatt nicht aktiv beeinflussen. Vielmehr sind Witterung (vor allem die Luftfeuchtigkeit), der ausgebrachte Dünger (hygroskopische Eigenschaften, Aufwandmenge, Benetzungsqualität) sowie das Entwicklungsstadium der Blüten, Blätter und Früchte für die Wirkung entscheidend (Baab 2009f). Je höher die relative Luftfeuchtigkeit, desto schneller werden die Nährstoffe durch die aufgequollene Blattoberfläche aufgenommen. Bei tiefer Luftfeuchtigkeit trocknen Blattdünger schnell aus und kristallisieren auf der Blattoberfläche, bevor sie aufgenommen werden. Bei zu langer Antrocknungszeit besteht die Gefahr von Blattverbrennungen. Generell sollten Blattdünger nicht bei heisser Witterung (> 25 °C) gespritzt werden, ab 20 °C sollte die Aufwandmenge reduziert werden.

Eine zu hohe Aufwandmenge respektive eine zu hohe Konzentration kann die Blüte oder das Blatt schädigen, so dass Blattdünger eher in mehreren Applikationen mit jeweils moderaten Mengen statt in einer einzigen Gabe ausgebracht werden sollten. Die Gebrauchsanleitungen der einzelnen Produkte müssen in jedem Fall genauestens berücksichtigt werden.

Blattdünger gibt es in Form von Salzen oder als formulierte Blattdünger. Letztere enthalten Netz-, Haft-, Adsorptions- und Penetrationsmittel zur besseren Aufnahme des Düngers durch die Blattoberfläche. Je nach Nährstoff und Anwendungsbedingungen eignet sich eine der unter-

schiedlichen Formulierungen (Chelate, Nitrate, formulierte Suspensionen, Sulfate) besser als eine andere.

4.6 Chelatdünger

Als Ergänzung zu den üblichen Bodendüngern können an Standorten mit Problemen bei der Nährstoffversorgung neben Blattdüngern auch pH-stabile Chelatdünger verwendet werden. Chelatdünger bleiben im Boden in der Regel über längere Zeit pflanzenverfügbar, so dass Pflanzen auch auf sauren Böden mit Ca und an kalkreichen Standorten mit Mg, B, Fe, und Mn über die Wurzeln versorgt werden können. Chelatdünger sollten wenn möglich mittels Fertigation (siehe Kapitel 4.4), Lanzendüngung oder vergleichbaren Verfahren der mechanischen Injektion eingebracht werden (Baab 2009g). Zwar können Chelatdünger auch oberflächlich zum Beispiel mit einer Herbizidspritze oder einem Herbizidbalken ausgebracht werden. Wegen der geringen UV-Stabilität sollten Chelatdünger oberflächlich aber nur in den Abendstunden und vor Niederschlägen oder einer Bewässerung gedüngt werden. Je nach Produkt und Zeitpunkt können Chelatdünger mit einem Herbizid ausgebracht werden.

Bei Boden-Chelatdüngern gibt es grosse Unterschiede in ihrer pH-Stabilität, wobei der Stabilität der Chelatdünger vor allem bei einem hohen Boden-pH-Wert Beachtung zu schenken ist. Zum Beispiel wird bei eisenhaltigen Chelatdüngern mit der Bindungsform ortho-ortho (o, o) Fe am stärksten gebunden. Die Bindungsform ortho-para (o, p) ist bei hohen pH-Werten weniger stabil. Die geringste Stabilität weist die Form para-para (p, p) auf. Die Bindungsform sollte deshalb beim Kauf überprüft werden. Chelatdünger können auch als Blattdünger eingesetzt werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass EDTA-haltige Chelatdünger nicht aufs Blatt appliziert werden dürfen.

4.7 Düngung der Feldobstbäume

Der Nährstoffbedarf von Feldobstbäumen wird entweder aufgrund eines mittleren Jahresbedarfs pro Einzelbaum (0,45 kg N, 0,15 kg P₂O₅, 0,56 kg K₂O und 0,08 kg Mg) oder des jährlichen Fruchtertrags (1,5 kg N, 0,5 kg P₂O₅, 1,8 kg K₂O und 0,25 kg Mg, jeweils pro Tonne Fruchtertrag) berechnet. In einer Hochstammobstanlage ist jedoch in der Regel der Nährstoffentzug durch die Nutzung des Unterwuchses deutlich grösser als der Entzug durch die Obstbäume (Abbildung 14). Dadurch variiert der Nährstoffbedarf von Feldobstanlagen vor allem mit der Nutzungsintensität der Wiesen. Die Düngung des Unterwuchses erfolgt entsprechend dem Modul 9/ Düngung von Grasland. Um die Unsicherheiten in den Richtwerten zu berücksichtigen, ist im Feldobstbau alle fünf Jahre eine regelmässige Überprüfung des Nährstoffzustandes mittels Bodenproben sinnvoll. Im Mittel beträgt die Düngungsnorm bei Ertragsbäumen inklusive Unternutzung 150 kg N, 100 kg P₂O₅, 300 kg K₂O und 50 kg Mg pro Hektare und Jahr.

Im Feldobstbau werden im Gegensatz zum Erwerbsobstbau vorwiegend Hofdünger eingesetzt. Es wird empfoh-

len, im Frühling (Februar–März) eine mittlere Mistgabe (20 t/ha) auszubringen (Tabelle 10). Je nach klimatischen Bedingungen, dem Triebwachstum der Bäume und der Nutzungsintensität der Wiese sind zusätzlich bis zu zwei Güllegaben mit je ca. 20 m³ notwendig. Die letzte Güllegabe sollte vor Anfang Juli ausgebracht werden, um einem verzögerten Triebabschluss und den dadurch möglichen Frostschäden vorzubeugen. Auf Flächen, die für den ökologischen Leistungsnachweis angerechnet werden, darf nur die Lanzendüngung zur Baumernährung eingesetzt werden. Mit einer Lanzendüngung kann Dünger gezielt in den Wurzelraum eines Hochstammobstbaumes zugeführt werden. Dabei wird pro cm Stammumfang ein Liter einer wässrigen Lösung (6–8 %) eines Mehrnährstoffdüngers verwendet (zwei Einstiche je m² und l).



Abbildung 14 | In einer Hochstammobstanlage ist in der Regel der Nährstoffentzug durch die Nutzung des Unterwuchses grösser als der Entzug durch die Obstbäume (Foto: Richard Hollenstein, Landwirtschaftliches Zentrum SG).

4.8 Düngung im biologischen Obstbau

Im Biolandbau wird, wie im konventionellen Obstbau, eine termin- und mengenmässig optimale Nährstoffversorgung der Bäume angestrebt, um eine qualitativ und quantitativ hochstehende Ernte zu ermöglichen. Durch die eingeschränkte Auswahl an Düngern und Pflanzenschutzmitteln im Biolandbau sind der Aufbau und die Erhaltung einer hohen Bodenfruchtbarkeit, das Gleichgewicht zwischen vegetativem und generativem Wachstum und die Baumgesundheit besonders wichtig. Daher muss die Düngung gezielt mit anderen Massnahmen zur Kulturführung abgestimmt werden. Für weitere Informationen können das Modul 6/ Pflanzenernährung im biologischen Landbau FiBL (<https://shop.fibl.org/de/artikel/c/bml.html>) sowie die Richtlinien von BioSuisse (<http://www.bio-suisse.ch/de/regelwerkmerkbltter3.php>) konsultiert werden.

5. Literatur

- Abächerli F., Baier U., Berner F., Bosshard C., Fuchs J., Galli U., Gfeller H., Leuenberger R., Mayer J., Pfaffen P., Schleiss K., Trachsel D. & Wellinger A., 2010. Schweizerische Qualitätsrichtlinie 2010 der Branche für Kompost und Gärgut. Inspektionskommission der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz (Hrsg.), Biogas Forum, Kompostforum Schweiz, Interessengemeinschaft Anlagen des Kompostforums Schweiz, Verband Kompost- und Vergärwerke Schweiz VKS. Zugang: http://www.biomassesuisse.ch/files/biomasse_temp/data/Das_bieten_wir/Q-Richtlinie_2010_def_weiss_web.pdf [16. 11. 2016].
- Agroscope, 1996. Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1: Bodenuntersuchungen zur Düngeberatung, Ausgabe 2015. Agroscope Zürich-Reckenholz und Wädenswil.
- Baab G., 2004. Die Blattanalyse – ein wichtiger Beitrag zum Leistungszustand der Blätter. *Kernobst* 29 (8), 417–421.
- Baab G., 2009a. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 1: Kalium. *Besseres Obst* 54 (1), 16–19.
- Baab G., 2009b. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 2: Phosphor. *Besseres Obst* 54 (3), 20–23.
- Baab G., 2009c. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 3: Zink. *Besseres Obst* 54 (4), 20–24.
- Baab G., 2009d. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 4: Mangan. *Besseres Obst* 54 (5), 13–16.
- Baab G., 2009e. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 5: Magnesium. *Besseres Obst* 54 (6), 12–16.
- Baab G., 2009f. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 6: Calcium. *Besseres Obst* 54 (7), 18–21.
- Baab G., 2009g. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 7: Eisen. *Besseres Obst* 54 (8), 15–18.
- Baab G., 2009h. Damit sie keinen Mangel leiden – Die wichtigsten Nährstoffe im Obstbau, Teil 8: Stickstoff. *Besseres Obst* 54 (10–11), 22–26.
- Baab G., 2012. Das Spurennährelement Bor. *European Fruit Magazine* 2012 (3), 28–32.
- BAFU & BLW, 2012. Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 62 S.
- Batjer L., Rogers B. & Thompson A., 1952. Fertilizer applications as related to nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium utilization by apple trees. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 60, 1–6.
- Bergmann W., 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Spektrum Akademischer Verlag, Jena.
- Bertschinger L., Gysi C., Häseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Ryser J.-P., Schmid A. & Weibel F., 2003. Grundlagen für die Düngung der Obstkulturen. Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil, Nyon. 48 S.
- BLW, 2013. Direktzahlungsverordnung 2016. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern. Zugang: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen.html> [4. 11. 2016].
- Bosshard E., Rüegg J. & Heller W., 2004. Bodenmüdigkeit, Nachbauprobleme und Wurzelkrankheiten. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 140 (10), 6–9.
- ChemRRV, 2005. Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen. Der Bundesrat, Bern. Zugang: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021520/index.html> [14. 11. 2016].
- DüV, 2001. Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern. Der Bundesrat, Bern. Zugang: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20002050/index.html> [14. 11. 2016].
- Heller W. & Ryser J.-P., 1997a. Eisenmangelchlorose im Obstbau. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Wädenswil.
- Heller W. & Ryser J.-P., 1997b. Magnesiummangel bei Obstbäumen. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Wädenswil.
- Heller W. & Ryser J.-P., 1997c. Manganmangel bei Obstbäumen. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Wädenswil.
- Kuster T. & Schweizer S., 2015. Nachernteblattdünger mit Harnstoff im Kirschenanbau: Aufwandmenge dem Fruchtansatz anpassen. *Früchte & Gemüse* 2015 (6), 11–12.
- Monney P. & Bravin E., 2011. Bewässerung von Obstbäumen. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Wädenswil. 27 S.
- Österreicher J. & Aichner M., 1998. Kupfergehalt beeinflusst Baumwachstum. *Obstbau Weinbau* 35 (1), 18–20.
- Scheffer F., Schachtschabel P., Blume H.-P. & Thiele-Bruhn S., 2010. Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 569 S.
- Stünzi H., 2006. Zur Phosphor-Bodenextraktion mit Ammoniumacetat-EDTA (AAE10). *Agrarforschung* 13 (11–12), 488–493.
- SAIO, 2017. Richtlinien für den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) im Obst- und Beerenbau in der Schweiz. Schweiz. Arbeitsgruppe für Integrierte Obstproduktion (SAIO), Schweizer Obstverband, Zug. Zugang: <http://members.swissfruit.ch/system/files/2017-01/SAIO-Richtlinien-2017.pdf> [20. 3. 2016].
- Widmer A., Bünter M. & Stadler A., 2006. Blattdüngung: Ergebnisse aus der Praxis. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 2006 (20), 9–12.
- Widmer A., Stadler A. & Krebs C., 2005. Regelmässige Erträge dank Blattdüngung. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 2005 (13), 6–9.

6. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Düngungsnormen für Kern- und Steinobst sowie für Kiwi in Abhängigkeit des Ertrags.....	13/4
Tabelle 2 Jährlicher Nährstoffbedarf verschiedener Organe von Apfelbäumen.	13/4
Tabelle 3 Korrektur der N-Düngung für Kernobst und Steinobst.	13/4
Tabelle 4 Korrektur der N-Düngung für Kiwianlagen.	13/4
Tabelle 5 Korrektur der P-, K- und Mg-Düngung für Kernobst, Steinobst und Kiwi.	13/5
Tabelle 6 Obligatorische und empfohlene Bodenuntersuchungen im Obstbau.	13/5
Tabelle 7 Beispiel einer Berechnung des Düngerbedarfs für eine fiktive Apfelanlage im Vollertrag.....	13/7
Tabelle 8 Referenzwerte der Blattanalyse im Obstanbau Mitte Juni.....	13/8
Tabelle 9 Referenzwerte der Blattanalyse im Obstanbau im Juli/August (75–105 Tage nach der Vollblüte).....	13/8
Tabelle 10 Beprobung sowie Boden- und Blattdüngung im Jahresverlauf bei Stein- und Kernobst.....	13/9

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schema für die Entnahme von Bodenproben, wenn die ganze Obstanlage oder nur lokal auf Terrassen oder Baumstreifen gedüngt wird.....	13/5
Abbildung 2 Pro Parzelle werden mit einem Bodenbohrer 12–20 repräsentative Proben in Tiefen von 2–25 cm und 25–50 cm entnommen.....	13/6
Abbildung 3 Für die Blattanalyse werden pro Baum maximal zwei Blätter jeweils in der Mitte eines Jahrestriebs entnommen. Blätter, die bezüglich Grösse, Farbe und Neigung nicht repräsentativ für den Baum respektive für die Obstanlage sind, dürfen nicht verwendet werden.....	13/8
Abbildung 4 Phosphormangel.....	13/10
Abbildung 5 Kaliummangel.....	13/11
Abbildung 6 Calciummangel.....	13/11
Abbildung 7 Magnesiummangel.....	13/12
Abbildung 8 Bormangel.....	13/12
Abbildung 9 Manganmangel.....	13/13
Abbildung 10 Eisenmangel.....	13/13
Abbildung 11 Düngerstreuer: breitflächige Düngung des Wurzelraums und der Fahrgasse.....	13/14
Abbildung 12 Champignonkompost zur Bodenverbesserung im Nachbau einer Zwetschgenanlage.....	13/14
Abbildung 13 Mittels Bewässerung kann die Düngung gezielt dem Wurzelraum zugeführt werden.....	13/16
Abbildung 14 In einer Hochstammobstanlage ist in der Regel der Nährstoffentzug durch die Nutzung des Unterwuchses grösser als der Entzug durch die Obstbäume.....	13/17



14/ Düngung von Beerenkulturen

Christoph Carlen und André Ançay
Agroscope, 1964 Conthey, Schweiz

Auskünfte: christoph.carlen@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung	14/3
2. Ziele und Aufgaben einer angepassten Düngung.....	14/3
3. Düngungsnormen für Beerenkulturen	14/3
4. Düngung der Erdbeeren	14/3
4.1 Stickstoffdüngung	14/3
4.2 Kalium-, Phosphor-, Magnesium- und Spurenelementdüngung	14/4
5. Düngung von Himbeeren, Brombeeren, Johannisbeeren und alternativen Strauchbeeren.....	14/5
5.1 Stickstoffdüngung	14/5
5.2 Phosphor-, Kalium- und Magnesiumdüngung	14/6
6. Düngung der Heidelbeeren.....	14/6
7. Fertigation mittels Tropfbewässerung	14/6
8. Düngung von Erdbeeren, Himbeeren und Brombeeren auf Substrat.....	14/7
8.1 Substrat	14/7
8.2 Nährlösung	14/7
8.3 Zubereitung der Nährlösung.....	14/8
8.4 Zubereitung der Nährlösung mit Einzeldüngern.....	14/8
8.5 Nährlösungsgaben	14/9
8.6 Anpassung der Nährlösung	14/9
8.7 Offenes oder geschlossenes System	14/10
9. Literatur.....	14/10
10. Tabellenverzeichnis	14/11
11. Abbildungsverzeichnis.....	14/11

Vorderseite: Himbeeren auf Substrat (Foto: Agroscope).

1. Einleitung

Die Grundlagen für die Düngung der Beerenkulturen enthalten die notwendigen Informationen für eine pflanzen- und umweltgerechte Düngung. Sie dienen in erster Linie den Produzenten und der landwirtschaftlichen Beratung, um eine an die Beerenkultur angepasste Düngung zu planen und umzusetzen. Die verschiedenen Tabellen stammen aus Erfahrungen von Agroscope, dem Handbuch Beeren (Ançay *et al.* 2012), den Grundlagen für die Düngung der Obstkulturen (Bertschinger *et al.* 2003), den Grundlagen für die Düngung von Kulturen auf Substrat (Pivot *et al.* 2005) sowie weiteren Publikationen bezüglich Substratkulturen (Lieten 1999; Guérineau 2003; Pivot und Gillioz 2000).

2. Ziele und Aufgaben einer angepassten Düngung

Die Grundlagen für die Düngung haben zum Ziel, eine nachhaltige und bedarfsgerechte Düngung der Beerenkulturen zu fördern. Die Düngungsnorm für die Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bei Erdbeeren dem totalen Entzug durch die Pflanzen auf einem ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgten Boden. Bei den Strauchbeeren entspricht die Düngungsnorm vor allem der durch die Ernte abgeführten und der im Holzkörper gebundenen Nährstoffmenge. Dementsprechend ist die Düngungsnorm abhängig vom erwarteten Ertrag.

Mit Hilfe einer regelmässig wiederholten Bodenuntersuchung und einer davon abgeleiteten Korrektur der Düngungsnorm kann ein über- oder unterversorgter Boden wieder in ein Nährstoffgleichgewicht gebracht werden. Dadurch können Mangelerscheinungen oder Antagonismen sowie die Beeinträchtigung der Umwelt vermieden werden.

Die Stickstoffnorm wird im Allgemeinen nicht allein durch den Stickstoffentzug der Kultur, sondern auch unter Berücksichtigung der Stickstoff(N)-Mineralisierung des Bodens bestimmt. Auch der geschätzte Ertrag, Bodeneigenschaften und der Wuchs der Beerenkulturen werden berücksichtigt. Falls eine Düngung von mehr als 60 kg N/ha nötig ist, sollte die Menge auf mehrere Gaben verteilt werden, um Auswaschverluste zu reduzieren. Mit einer Aufteilung der Stickstoffgaben werden Verluste erheblich reduziert und die Effizienz der Stickstoffdüngung erhöht. Gaben von maximal 60 kg N/ha sind nicht zu überschreiten.

3. Düngungsnormen für Beerenkulturen

Die Düngungsnormen der verschiedenen Beerenkulturen entsprechen dem Bedarf an Nährstoffen, um ein bestimmtes Ertragsniveau auf einem genügend mit Nährstoffen versorgten Boden zu erreichen (Tabelle 1). Weiter werden die Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Düngung aufgrund der Bodenanalysen korrigiert.

4. Düngung der Erdbeeren

4.1 Stickstoffdüngung

Um die Auswaschung des Stickstoffs zu reduzieren und dessen Ausnutzung zu optimieren, wird empfohlen, den Stickstoff in drei Gaben aufzuteilen und falls möglich nur auf der Pflanzreihe auszubringen (Tabelle 2). Im Vergleich zu einer breitflächigen Ausbringung kann mit einer Reihendüngung die Stickstoffdüngungsnorm um rund ein Drittel reduziert werden (Abbildung 1).

Die Stickstoffdüngung kann auch mittels N_{\min} -Analysen gesteuert werden. Die N_{\min} -Analysen geben Informationen zur pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge in einer Bodentiefe von 0–30 cm. N_{\min} -Analysen sind im Sommer nach der Pflanzung, im Frühjahr ab Vegetationsbeginn und zur Blüte durchzuführen, um der Dynamik des Stickstoffs im Boden Rechnung zu tragen und die Stickstoffversorgung zu optimieren. Ist das Resultat tiefer als 60 kg N_{\min} /ha, wird eine Stickstoffdüngung gemäss Tabelle 2 notwendig.

Für die Interpretation der N_{\min} -Resultate wird auch die Wuchskraft der Kultur berücksichtigt. In wüchsigen Kulturen mit geringerem Fruchtansatz wird empfohlen, die Stickstoffdüngung ab Blühbeginn zu reduzieren, in weniger wüchsigen Kulturen und Kulturen mit hohem Fruchtbehang erst ab Ende Blüte. Ein Überschuss an Stickstoff fördert einseitig das vegetative Wachstum, kann Krankheiten und Schädlinge fördern sowie den Ertrag und die Fruchtqualität reduzieren.

Analysen haben gezeigt, dass der N_{\min} -Gehalt in einer Dammpflanzung nach der Pflanzung höher ist als in einer herkömmlichen Kultur (Neuweiler *et al.* 2003). Daher ist es bei Dammkulturen vielfach nicht nötig, im Pflanzjahr Stickstoff zuzugeben.



Abbildung 1 | Erdbeeren, Beginn der Blüte. Erdbeeren sind die wichtigsten Beerenkulturen in der Schweiz (Foto: Agroscope).

Tabelle 1 | Düngungsnormen für verschiedene Beerenkulturen in Abhängigkeit des Ertrages (Bertschinger *et al.* 2003; Ancay *et al.* 2012).

Kultur	Ertrag (kg/m ²)	Düngungsnorm (kg/ha)					
		N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg
Erdbeeren	1,5	80	10	23	65	79	15
	2,0	100	15	34	100	121	20
	2,5	120	20	46	130	157	25
Himbeeren	1,0	30	5	11	35	42	10
	1,5	45	10	23	50	61	15
	2,0	60	15	34	65	79	15
	2,5	75	20	46	80	97	20
Brombeeren	1,5	40	10	23	35	42	15
	2,0	55	15	34	55	67	15
	2,5	70	20	46	70	85	20
Rote Johannisbeeren	1,5	60	15	34	75	91	15
	2,0	85	20	46	100	121	15
	2,5	110	25	57	125	151	20
Schwarze Johannisbeeren	1,5	50	15	34	70	85	15
	2,0	70	20	46	100	121	15
	2,5	90	25	57	130	157	20
Stachelbeeren	1,2	40	10	23	50	61	15
	1,7	60	15	34	65	79	15
	2,2	80	20	46	90	109	20
Heidelbeeren	1,5	50	5	11	55	67	15
	2,0	55	10	23	60	73	20
	2,5	60	15	34	65	79	25
Alternative Strauchbeeren: Mini-Kiwi, Holunder, Goji, Aronia (Apfelbeere), <i>Lonicera</i> (Maibeere)	1,0	35	10	23	50	61	10
	1,5	60	15	34	75	91	15
	2,0	85	20	46	100	121	15
	2,5	110	25	57	125	151	20

Die zu wählende Stickstoffform hängt vom pH-Wert des Bodens ab. In eher sauren Böden wird mit Calciumnitrat und in eher alkalischen Böden mit Ammoniumsulfat gedüngt.

4.2 Kalium-, Phosphor-, Magnesium- und Spurenelementdüngung

Die im Boden eher wenig mobilen Nährstoffe (P, K, Mg) können schon vor oder nach der Bodenbearbeitung mittels Handelsdünger ausgestreut werden. Erdbeeren lieben humusreiche Böden. Die organische Düngung hat einen doppelten Vorteil: Sie erhält die Fruchtbarkeit des Bodens und verbessert seine Struktur. Es können auch Mist (15–30 m³/ha alle drei bis vier Jahre) oder Kompost (25 t Trockensubstanz pro ha alle drei Jahre) eingesetzt werden, die leicht eingearbeitet werden sollten. Aus verschiedenen Gründen ist dabei gut verrotteter Mist dem frischen Mist vorzuziehen. Die Nährstoffe in den organischen Düngern sind für die Düngungsplanung zu berücksichtigen.

Tabelle 2 | Aufteilung der Stickstoffdüngung bei Erdbeeren.

	Breitflächige Düngung (kg N/ha)	Reihendüngung (kg N/ha)
Sommer: zwei bis drei Wochen nach der Pflanzung	0–40	0–30
Frühjahr: ab Vegetationsbeginn	30–40	20–30
Dritte Blüte: spätestens bis zur Stroheinlage	30–40	20–30

Die Erdbeeren sind sehr empfindlich auf einen zu hohen Salzgehalt und auf chlorhaltige Dünger. Daher ist Kalium in Sulfatform den Vorzug zu geben. In neutralen bis alkalischen Böden sind sauerwirkende Dünger von Vorteil, da dadurch die Verfügbarkeit von Spurenelementen wie Eisen und Mangan verbessert wird. Falls der Boden-pH 7,5

übersteigt, wird empfohlen, Blattdüngung für verschiedene Spurenelemente durchzuführen (vor allem Eisen- und Manganchelate).

5. Düngung von Himbeeren, Brombeeren, Johannisbeeren und alternativen Strauchbeeren

5.1 Stickstoffdüngung

Die Düngermenge hängt vom Ertragspotenzial der Kultur ab. Weiter kann die Stickstoffnorm für mehrjährige Kulturen aufgrund verschiedener Parameter korrigiert werden (Tabellen 3 und 4). Die Summe dieser Korrekturwerte erlaubt es, die jährliche Stickstoffdüngermenge zu bestimmen. Werden die Nährstoffgaben auf die Reihe konzentriert, kann die Düngermenge um ein Drittel reduziert werden.

Für Herbstsorten werden mässige Stickstoffgaben empfohlen. Bei zu starker Stickstoffdüngung verzögert sich die Blütenbildung zugunsten des Wuchses, was zu einer verspäteten Ernte führt.

Um die Auswaschung des Stickstoffs zu reduzieren und dessen Ausnutzung zu optimieren, ist der Stickstoff in zwei Gaben aufzuteilen:

- Erste Gabe bei Vegetationsbeginn (15–60 kg N/ha)
- Zweite Gabe während der Blüte (15–60 kg N/ha)

Eine Hilfe für die Stickstoffdüngung sind N_{\min} -Analysen im Frühjahr ab Vegetationsbeginn und zur Blüte. Ist das Resultat tiefer als 60 kg N_{\min} /ha, dann ist eine ergänzende Stickstoffdüngung nötig (30–40 kg N/ha).

Bei regelmässigen Einträgen von Kompost oder Mist sind die mineralischen Stickstoffdünger entsprechend zu begrenzen. Strauchbeerenkulturen reagieren empfindlich auf zu hohe Düngergaben. Die Konsequenzen daraus zeigen sich in Form von geringeren Erträgen als Folge von übermässig langen Internodien, geringer Produktivität im unteren Triebbereich und erhöhtem Krankheitsdruck.

Die auszubringende Stickstoffmenge hängt auch von der Sorte ab. Bei starkwüchsigen Sorten sind mässige Gaben empfohlen. Für Sorten mit geringerer Wuchskraft sind höhere Stickstoffmengen für ein ausreichendes Triebwachstum erforderlich.

Bei Einjahreskulturen von Himbeeren bleibt die Düngungsnorm dieselbe wie bei Dauerkulturen (Tabelle 1), nur die Verteilung der Dünger ändert. Einjahreskulturen bedürfen im Sommer nach der Pflanzung beachtlicher Stickstoffgaben, da die Ruten schnell und stark wachsen. Zeigen sich bei der N_{\min} -Analyse Werte unter 60 kg N/ha, ist eine Stickstoffgabe von 30 bis 40 kg/ha erforderlich. Demgegenüber ist der Stickstoffbedarf nach der Blüte bedeutend geringer, weil dann die Neutriebe entfernt werden:

- Erste Gabe bei Pflanzung im Frühjahr/Sommer (20–40 kg N/ha)

Tabelle 3 | Korrektur der Stickstoffdüngung für Himbeeren und Brombeeren. Jeder Korrekturwert entspricht 1 kg N/ha Abzug (–) oder Zuschlag (+) der Norm (Bertschinger et al. 2003; Ancay et al. 2012).

Parameter zur Beurteilung des Abzugs (–) oder Zuschlags (+)	kg/ha		
	–	0	+
Wuchskraft (Trieblänge)	– 11 (übermässig)	0 (normal)	+ 11 (schwach)
Triebabschluss	– 3 (spät)	0 (normal)	+ 2 (früh)
Pilzkrankheiten (Botrytis, Didymella etc.)	– 2 (häufig)		0 (selten)
Triebbildung	– 3 (stark)	0 (mittel)	+ 1 (schwach)
Steinanteil	– 3 (gering, < 10 %)	0 (mittel, 10–30 %)	+ 3 (hoch, > 30 %)
Gehalt an organischer Substanz	– 5 (sehr hoch)	0 (befriedigend)	+ 5 (schwach)
Bodenbearbeitung	– 3 (unbegrünt)		+ 10 (begrünt)

Tabelle 4 | Korrektur der Stickstoffdüngung für Johannisbeeren, alternative Strauchbeeren und Heidelbeeren. Jeder Korrekturwert entspricht 1 kg N/ha Abzug (–) oder Zuschlag (+) der Norm (Bertschinger et al. 2003; Ancay et al. 2012).

Parameter zur Beurteilung des Abzugs (–) oder Zuschlags (+)	kg/ha		
	–	0	+
Wuchskraft (Trieblänge)	– 15 (übermässig)	0 (normal)	+ 15 (schwach)
Blattfall	– 4 (spät)	0 (normal)	+ 3 (früh)
Steinanteil	– 3 (gering, < 10 %)	0 (mittel, 10–30 %)	+ 3 (hoch, > 30 %)
Gehalt an organischer Substanz	– 5 (sehr hoch)	0 (befriedigend)	+ 5 (schwach)
Bodenbearbeitung	– 3 (unbegrünt)		+ 3 (begrünt)
Anbau auf Sägemehl, Holzschnitzel, org. Material			+ 30

- Zweite Gabe bei Vegetationsbeginn nach dem Winter (20–40 kg N/ha)
- Dritte Gabe bei Blüte (0–20 kg N/ha)

5.2 Phosphor-, Kalium- und Magnesiumdüngung

Die im Boden wenig mobilen Nährelemente (P, K, Mg) sind im Frühjahr ab Austrieb mittels Handelsdünger auszubringen. Himbeeren sind empfindlich auf chlorhaltige Dünger. Daher ist Kalium in Sulfatform den Vorzug zu geben.

In neutralen bis alkalischen Böden sind sauerwirkende Dünger von Vorteil, da dadurch die Verfügbarkeit von Spurenelementen wie Eisen und Mangan verbessert wird. Falls der Boden-pH 7,0 übersteigt, sind zwei bis drei Blatt-düngungen mit verschiedenen Spurenelementen wie Eisen und Mangan (in chelatisierter Form) durchzuführen.

6. Düngung der Heidelbeeren

Die Stickstoffdüngung der Heidelbeeren kann gemäss Tabelle 4 angepasst werden. Erfolgt der Anbau auf Torfersatz, dann sind die Stickstoffgaben um 20 bis 30 kg/ha zu erhöhen, um ein optimales Wachstum sicherzustellen.

In Kulturen, bei denen nicht kompostiertes organisches Material wie Holzhäcksel, Rinde oder Sägemehl verwendet wird, ist eine zusätzliche Stickstoffgabe ab dem Erstellungsjahr von 100 kg/ha verteilt über ein bis zwei Jahre erforderlich, damit die Blockierung des Stickstoffs durch die Mikroorganismen kompensiert werden kann.

Bei Heidelbeeren, die auf ganzflächig ausgelegtem Substrat stehen, ist die Düngung breitflächig auszubringen. Beim Graben- oder Dammsystem (Frick-System) ist die Düngung auf den entsprechenden Pflanzstreifen auszubringen. Es empfiehlt sich, den Stickstoffbedarf ab Austrieb bis Mitte August auf Gaben alle drei bis vier Wochen aufzuteilen. Bei Topfkulturen werden die Nährstoffe über die Tropfbewässerung ausgebracht (Abbildung 2).

Heidelbeeren benötigen saure Böden; sie reagieren empfindlich auf Kalküberschuss, Kaliummangel und unausge-

glichenen Gehalt von Spurenelementen wie Zink oder Bor. Es sind sauer reagierende Dünger wie Ammoniumsulfat, Kaliumsulfat, Magnesiumsulfat und phosphathaltige Dünger zu verwenden.

7. Fertigation mittels Tropfbewässerung

Mit der Fertigation können den Pflanzen mittels Tropfbewässerung sehr gezielt Nährstoffe und Wasser zugeführt werden. Die Fertigation hat den Vorteil, dass genauer und effizienter gedüngt werden kann und der Ertrag und die Qualität der Früchte im Vergleich zur traditionellen Düngung erhöht werden können. Bei Dampfpflanzungen unter schwarzem Plastik ist sie unumgänglich.

Die Fertigation erfolgt über eine Stammlösung mit konzentrierter Nährlösung. Um Verstopfungen im Bewässerungssystem zu vermeiden, sind kalkhaltige Dünger zu meiden, weil sie in den Nährlösungen leicht ausfallen. Die Nährlösung wird durch eine Dosieranlage (Proportionalpumpe) mit dem Bewässerungswasser über die Kultur verteilt (täglich bis einmal pro Woche). Ist die Tages- oder Wochenmenge ausgebracht, muss mit reinem Wasser weitergefahren bzw. bewässert werden, um die Leitungen zu spülen.

Mit der Tropfbewässerung wird nur ein kleiner Teil des Bodenvolumens mit Wasser versorgt, und die Wurzeln konzentrieren sich auf diesen Bereich. Daher ist es wichtig, in dieser Zone alle Nährelemente (N, P, K, Mg, auch Spurenelemente) mit der Fertigation zu verabreichen, um eine optimale Düngung der Beerenkultur zu erzielen. Eine Fertigation mit löslichem Volldünger ist vorteilhaft, weil sie die Entwicklung und den Ertrag positiv beeinflusst. Falls der Boden-pH 7,5 übersteigt, wird empfohlen, eine Blatt-düngung für verschiedene Spurenelemente durchzuführen (Eisen- und Manganchelate).

Die Menge an Nährelementen, die pro Gabe auszubringen sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab: von der Düngungsperiode, von der gemäss Bodenanalysen korrigierten Düngungsnorm und von der Anzahl vorgesehener Gaben (Tabellen 5 und 6).

Abbildung 2 | Heidelbeeren in Kübeln: Sortenversuch bei Agroscope in Conthey (Foto: Agroscope).



Tabelle 5 | Fertigation von einjährigen Beerenkulturen wie Erdbeeren und Himbeeren mit Tropfbewässerung im Feld: Düngungsperiode, Anzahl Gaben und Menge an Nährstoffen je Gabe.

Düngungsperiode	Pflanzjahr:	Zwei Wochen nach Pflanzung bis Mitte September
	Erntejahr:	Blattneubildung im Frühjahr bis Mitte Ernte
Anzahl Düngergaben mit Tröpfchenbewässerung	täglich bis einmal pro Woche	
Menge an Nährstoffen pro Gabe	Erdbeeren:	
	Pflanzjahr:	30 % Norm _{korrr} / Anzahl vorgesehener Gaben
	Erntejahr:	70 % Norm _{korrr} / Anzahl vorgesehener Gaben
	Sommerhimbeeren:	
	Pflanzjahr:	40 % Norm _{korrr} / Anzahl vorgesehener Gaben
	Erntejahr:	60 % Norm _{korrr} / Anzahl vorgesehener Gaben
	Herbsthimbeeren:	
Pflanzung und Ernte im selben Jahr: 100 % Norm _{korrr} / Anzahl vorgesehener Gaben		

Norm_{korrr} = Düngungsnorm korrigiert aufgrund von Bodenanalysen

Tabelle 6 | Fertigation von mehrjährigen Beerenkulturen wie Himbeeren, Brombeeren, Johannisbeeren, Heidelbeeren und alternativen Strauchbeeren mit Tropfbewässerung im Feld: Düngungsperiode, Anzahl Gaben und Menge an Nährstoffen je Gabe.

Düngungsperiode	Blattneubildung im Frühjahr bis Ende Ernte
Anzahl Gaben	täglich bis einmal pro Woche
Menge an Nährstoffen pro Gabe	Norm _{korrr} / Anzahl vorgesehener Gaben

Norm_{korrr} = Düngungsnorm korrigiert aufgrund von Bodenanalysen



Abbildung 3 | Erdbeeren auf Substrat erhöhen den Ertrag und erleichtern die Ernte (Foto: Agroscope).

8. Düngung von Erdbeeren, Himbeeren und Brombeeren auf Substrat

8.1 Substrat

Das kleine Bodenvolumen in den Töpfen, Kisten oder Säcken und somit das geringe Wasserspeichervermögen sowie das Fehlen von Nährstoffen in den Substraten bedingt eine regelmässige Zufuhr einer ausgewogenen und an den Kulturstand angepassten Nährlösung. Die mineralische Zusammensetzung und die Handhabung der Nährlösungszufuhr mit der Bewässerung sind entscheidende Faktoren für das Gelingen einer Substratkultur (Abbildungen 3 und 4).

8.2 Nährlösung

Die Nährlösung muss sowohl Makroelemente (Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Calcium, Magnesium) wie auch Spurenelemente (Eisen, Mangan, Zink, Bor, Kupfer, Molybdän) enthalten. Bei deren Zubereitung ist dem Nährstoffgehalt des Leitungswassers Rechnung zu tragen, weil die Gehalte von Sulfaten, Calcium und Magnesium den Bedarf der Kulturpflanzen oft zu decken vermögen. Die mineralische Zusammensetzung des Wassers hängt von dessen Herkunft (Quelle, Grundwasser, See) ab. Sie



Abbildung 4 | Himbeeren auf Substrat haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen (Foto: Agroscope).

kann selbst während der Saison beachtlichen Schwankungen unterliegen. Wasser mit einem Salzgehalt (Elektrikleitfähigkeit, EC) von unter 0,5 mS/cm stellt kein Problem dar. Wenn dagegen der Salzgehalt auf über 1 mS/cm steigt, ist die Grenze der Verwendbarkeit des Wassers, insbesondere bei der Rezyklierung, erreicht. Ein erhöhter Salzgehalt des Leitungswassers provoziert die Ansammlung von Elementen, welche die Unausgewogenheit des Nährstoffgehaltes fördern.

Tabelle 7 | Optimale Zusammensetzung der Nährlösungen für Erdbeer-, Himbeer- und Brombeerkulturen (gemäss Lieten 1999; Guerinou 2003; Ançay et al. 2012).

Periode	Vegetatives Wachstum	Blüte bis Ende Ernte
EC (mS/cm)	1,2 (0,8–1,6)	1,4 (0,8–1,8)
pH-Wert	5,8 (5,2–6,4)	5,8 (5,2–6,4)
Makroelemente (mmol/l)		
NH ₄ ⁺	1,0	0,0
K ⁺	3,5	5,5
Ca ²⁺	4,5	3,5
Mg ²⁺	1,5	1,5
NO ₃ ⁻	10,5	11,0
SO ₄ ²⁻	1,5	1,5
H ₂ PO ₄ ⁻	1,5	1,5
Spurenelemente (µmol/l)		
Fe	15–20	15–20
Mn	15–20	15–20
Zn	7,5–10	7,5–10
B	8–12	8–12
Cu	0,7–1,0	0,7–1,0
Mo	0,3–0,5	0,3–0,5

EC = Elektrikleitfähigkeit

8.3 Zubereitung der Nährlösung

Die Nährlösungen können mit Volldüngern oder Einzelnährstoffen zubereitet werden. Die Verwendung von Volldüngern ist besonders bei kleinen Flächen angezeigt. Bei grösseren Produktionseinheiten rechtfertigt sich der Einsatz von Einzelnährstoffen durch die geringeren Kosten. Die optimale Zusammensetzung der Nährlösungen für Erdbeer-, Himbeer- und Brombeerkulturen ist in Tabelle 7 aufgeführt.

Bei Bedarf kann die Nährlösung durch Zufügen von Einzelnährelementen ergänzt werden. Die Konzentration der Mutterlösung ist in der Regel hundertmal höher als jene der Nährlösung. Mit diesem System kann die Dosierung der Nährlösung einfach mit einer Dosierpumpe (Dosatron) erfolgen. Je nach der Qualität des Leitungswassers und der verwendeten Düngerart muss mit einer zweiten Dosierpumpe der pH-Wert korrigiert werden.

8.4 Zubereitung der Nährlösung mit Einzeldüngern

Die Zubereitung der Nährlösung erfolgt mit Einzeldüngern (Tabelle 8). Um eine ausgewogene Mutterlösung herzustellen, muss die Bedarfsmenge jedes einzelnen einzubringenden Düngers berechnet werden. Die Konzentration der Mutterlösung ist üblicherweise hundert- bis zweihundertmal höher als die Nährlösung. Sie wird durch die Wasserlöslichkeit der verwendeten Nährstoffe beschränkt. Als Hauptregel gilt, dass keine sulfat- oder phosphathaltigen Elemente mit Calcium gemischt werden, weil sie sonst ausfallen. Aus diesem Grund sind die nicht kompatiblen Nährlösungen in zwei verschiedenen Behältern herzurichten. Um den pH-Wert gut handhaben zu können, sind Säuren in einem dritten Behälter zu verdünnen. Die Spurenelemente werden jenem Behälter beigefügt, in dem sich die Phosphate und Sulfate befinden. Das Eisen wird dagegen in die Kalziumlösung gebracht. In diesem Fall sind drei Dosierpumpen erforderlich, oder man verwendet eine automatische Mischanlage (Abbildung 5).

Tabelle 8 | Zubereitung der Nährlösung mit Einzeldüngern für Erdbeer-, Himbeer- und Brombeersubstratkulturen.

Dünger für 100 Liter Stammlösung	Vegetative Phase			Blüte und Fruchtbildung		
	Behälter A	Behälter B	Behälter C	Behälter A	Behälter B	Behälter C
<i>Einstellung der Proportional-dosierer</i>	0,8–1,2 %	0,8–1,2 %	0,5–1,5 % (Wasserqualität)	0,8–1,2 %	0,8–1,2 %	0,5–1,5 % (Wasserqualität)
Kaliumdihydrogenphosphat KH ₂ PO ₄	2,0 kg			2,0 kg		
Magnesiumsulfat MgSO ₄ ·7H ₂ O	3,7 kg			3,7 kg		
Mischung aus Spurenelementen	0,15 kg			0,15 kg		
Kaliumnitrat KNO ₃		2,0 kg			4,0 kg	
Calciumnitrat 5(Ca(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O)NH ₄ NO ₃		7,6 kg			5,4 kg	
Salpetersäure HNO ₃ – 60 % (d = 1,37)			2 Liter			2 Liter



Abbildung 5 | Automatische Mischanlage zur Herstellung der angepassten Nährlösung für Beeren auf Substrat (Foto: Agroscope).

In beiden Fällen führen die Dosierpumpen die Nährlösung entweder direkt in das Bewässerungsnetz oder in den Nährstoffbehälter, in dem auch das Drainagewasser geführt wird.

8.5 Nährlösungsgaben

Dauer und Frequenz der Nährlösungsgaben müssen an folgende Parameter angepasst werden:

- Volumen und Wasserrückhaltevermögen des Substrates
- Entwicklungsstadium der Pflanzen
- Wetter (Lichtintensität, Temperatur)

In der Regel ist eine fixe Beregnung am frühen Morgen vorzusehen. Anschliessend werden die Bewässerungen durch das Solarimeter ausgelöst. Die letzte Beregnung ist unmittelbar vor 18 Uhr auszuführen, damit das Substrat in der Nacht abtrocknen kann. Mit druckausgleichenden Tropfern reichen Bewässerungen von zwei bis drei Minuten, in Abhängigkeit des Substratvolumens, aus. Bei Substraten mit einem schwachen Rückhaltvermögen wie Kokosfasern sind kürzere Wassergaben aber höhere Frequenzen vorzusehen. Die tägliche Drainage muss zwischen 10 und 20 % der gesamten Zufuhr beim offenen System betragen. Beim geschlossenen System kann der Wert auch 25 % übersteigen.

Die zugeführte Wassermenge und das Drainagewasser sind mindestens zwei- bis dreimal pro Woche zu kontrollieren, um sicherzustellen, dass Bewässerungsvorgaben eingehalten werden und die Anlage einwandfrei funktioniert. Im Zusammenhang mit diesen Kontrollen sind auch der EC- und der pH-Wert der Drainage zu messen (Abbildung 6).

8.6 Anpassung der Nährlösung

Die Menge der aufgenommenen Nährlösung hängt von den Sorteneigenschaften, dem Entwicklungsstand der Kultur und der Lichtintensität ab. Aus diesem Grund müssen die beim Tropfer vorgegebenen EC-Werte während der Saison der Sorte und dem Entwicklungsstand der Kultur angepasst werden (Tabelle 9). Die Werte können bei bedecktem Himmel um 0,2 erhöht und im gleichen Ausmass bei sonnigem Wetter gesenkt werden.



Abbildung 6 | Kontrolle des pH- und des EC-Wertes der Nährlösung (Foto: Agroscope).

Tabelle 9 | EC- und pH-Werte der Nährlösung in Abhängigkeit des Pflanzenstadiums (gemäss Lietsen 1999; Guerineau 2003; Ançay et al. 2012).

Stadium	Einmaltragende Sorten (EC)	Remontierende Sorten (EC)	Alle Sorten (pH)
Austrieb	1,2	0,8–1,0	5,8
Blüte	1,6	1,2–1,4	5,8
Fruchtreife	1,2	1,0–1,2	5,8

EC = Elektrokonduktivität

Um den Nährelementgehalt zu korrigieren und dem Bedarf der Pflanzen anzupassen, sind regelmässige Analysen der Nährlösung und des Drainagewassers unumgänglich. In der Regel werden die Analysen bei offenen Systemen alle fünf bis sechs Wochen, bei geschlossenen Systemen alle drei bis vier Wochen vorgenommen.

Um die Konzentration der Nährsalze schnell messen zu können, ermittelt man den EC-Wert des Drainagewassers. Diese Messung reflektiert die relative Intensität der Wasseraufnahme und der Nährelemente. Sie gibt Auskunft über die Gesamtkonzentration der mineralischen Elemente, aber nicht über deren Zusammensetzung. Zu Zeiten grosser Hitze nimmt die Pflanze mehr Wasser als Nährstoffe, in lichtschwachen Perioden im Vergleich dazu mehr Nährelemente auf.

Um eine gute pflanzliche Entwicklung und eine gute Fruchtqualität zu fördern sowie einen Blühabbruch und

eine Verbrennung der Wurzeln zu verhindern, muss der EC-Wert des Drainagewassers regelmässig, am besten jeden Tag, kontrolliert werden. Er darf den Wert von 2,0 mS/cm nicht überschreiten. Wird dieser Wert überschritten, muss während eines Tages mit Frischwasser bewässert werden, um eine zu starke Versalzung zu verhindern, da Beerenkulturen sehr salzempfindlich sind. Jede Abweichung des EC-Wertes des Drainagewassers von mehr als 20 % im Vergleich zur ausgebrachten Nährlösung erfordert eine Anpassung des EC-Wertes der Ausgangslösung. Der pH-Wert des Drainagewassers kann zwischen 5 und 7 variieren, ohne die Pflanzenentwicklung zu beeinflussen.

8.7 Offenes oder geschlossenes System

Beim offenen System wird bei jeder Bewässerung neue Nährlösung zugefügt. Das überschüssige Drainagewasser muss aufgefangen und in einer anderen Kultur ausgebracht werden. Diese Wiederverwendung erfordert Kenntnisse über den Nährelementgehalt der aufgefangenen Nährlösung, weil dies in der Nährstoffbilanz (Suisse-Bilanz) der betreffenden Kultur aufgeführt werden muss.

Das geschlossene System erlaubt eine aktive Wiederverwendung der aufgefangenen Nährlösung. Durch die Wiederverwendung der ausgeflossenen Nährlösungen variieren die Nährelementanteile in Abhängigkeit der Aufnahme durch die Pflanze. Daraus können Anreicherungen einzelner Nährelemente und entsprechende Unausgeglichheiten entstehen. Daher sind regelmässige (alle drei bis vier Wochen) und vollständige Analysen notwendig, um das Nährstoffgleichgewicht wieder dem Pflanzenbedarf entsprechend herzustellen. Über alles gesehen ermöglicht die Rezyklierung eine beachtliche Einsparung an Wasser und Dünger. Zurzeit bestehen die Rezyklertechniken der Nährlösungen in der Anpassung der Leitfähigkeit (EC) des Gemischs von Drainage- und Leitungswasser an die vorgegebenen Werte.

In beiden Fällen ist ein der Fläche angepasstes Lagervolumen vorzusehen. Man kann von einem täglichen Drainagevolumen von 0,2–0,5 l je m² ausgehen.

9. Literatur

- Ançay A., Carlen C. & Sigg P., 2012. Düngungsgrundlagen. In: Handbuch Beeren. Schweizer Obstverband, Zug. S. 149.
- Bertschinger L., Gysi C., Häseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Ryser J.-P., Schmid A. & Weibel F., 2003. Grundlagen für die Düngung der Obstkulturen. FAW Flugschrift Nr. 15, Wädenswil. S. 48.
- Guerineau C., 2003. La culture du fraisier sur substrat. Réalisation Ctifl et Cifref. Editions Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris. 165 S.
- Lieten P., 1999. Guidelines for nutrient solutions, peat substrate and leaf values of Elsanta strawberries. Communication COST ACTION 836, Integrated Research in Berries, 2nd meeting WG4, Nutrition and soilless culture, Versailles.
- Neuweiler R., Bertschinger L., Stamp P. & Feil B., 2003. The impact of ground cover management on soil nitrogen levels parameters of vegetative crop development, yield and fruits quality of strawberries. *European Journal of Horticultural Science* 86 (4), 189–191.
- Pivot D. & Gillioz J., 2000. Fraisier hors sol: alimentation minérale en solution recyclée. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 32 (4), 207–210.
- Pivot D., Gilli C. & Carlen C., 2005. Données de base pour la fumure des cultures de légumes, de fleurs et de fraises sur substrat. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 34 (4), 3–8.

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Düngungsnormen für verschiedene Beerenkulturen in Abhängigkeit des Ertrages.	14/4
Tabelle 2 Aufteilung der Stickstoffdüngung bei Erdbeeren.	14/4
Tabelle 3 Korrektur der Stickstoffdüngung für Himbeeren und Brombeeren. Jeder Korrekturwert entspricht 1 kg N/ha Abzug (-) oder Zuschlag (+) der Norm.	14/5
Tabelle 4 Korrektur der Stickstoffdüngung für Johannisbeeren, alternative Strauchbeeren und Heidelbeeren. Jeder Korrekturwert entspricht 1 kg N/ha Abzug (-) oder Zuschlag (+) der Norm.	14/5
Tabelle 5 Fertigation von einjährigen Beerenkulturen wie Erdbeeren und Himbeeren mit Tropfbewässerung im Feld: Düngungsperiode, Anzahl Gaben und Menge an Nährstoffen je Gabe.	14/7
Tabelle 6 Fertigation von mehrjährigen Beerenkulturen wie Himbeeren, Brombeeren, Johannisbeeren, Heidelbeeren und alternativen Strauchbeeren mit Tropfbewässerung im Feld: Düngungsperiode, Anzahl Gaben und Menge an Nährstoffen je Gabe.	14/7
Tabelle 7 Optimale Zusammensetzung der Nährlösungen für Erdbeer-, Himbeer- und Brombeerkulturen.	14/8
Tabelle 8 Zubereitung der Nährlösung mit Einzeldüngern für Erdbeer-, Himbeer- und Brombeersubstratkulturen.	14/8
Tabelle 9 EC- und pH-Werte der Nährlösung in Abhängigkeit des Pflanzenstadiums.	14/9

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Erdbeeren, Beginn Blüte. Erdbeeren sind die wichtigsten Beerenkulturen in der Schweiz.	14/3
Abbildung 2 Heidelbeeren in Kübeln: Sortenversuch bei Agroscope in Conthey.	14/6
Abbildung 3 Erdbeeren auf Substrat erhöhen den Ertrag und erleichtern die Ernte.	14/7
Abbildung 4 Himbeeren auf Substrat haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen.	14/7
Abbildung 5 Automatische Mischanlage zur Herstellung der angepassten Nährlösung für Beeren auf Substrat.	14/9
Abbildung 6 Kontrolle des pH-Wertes und des EC-Wertes der Nährlösung.	14/9



15/ Düngung von Medizinal- und Aromapflanzen

Christoph Carlen und Claude-Alain Carron
Agroscope, 1964 Conthey, Schweiz

Auskünfte: christoph.carlen@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung	15/3
2. Ziele und Grundsätze der Düngung	15/3
3. Düngungsnormen	15/3
4. Böden und Anforderungen der Pflanzen	15/5
5. Bedarf und Zufuhr von Nährstoffen	15/7
5.1 Phosphor, Kalium und Magnesium	15/7
5.2 Stickstoff	15/7
6. Nährstoffquellen	15/7
6.1 Bodenstickstoff	15/7
6.2 Ernterückstände (P, K, Mg)	15/7
6.3 Hofdünger, Kompost	15/7
6.4 Handelsdünger	15/8
6.5 Düngung im biologischen Anbau	15/8
6.6 Düngung und Umwelt	15/8
7. Literatur	15/9
8. Tabellenverzeichnis	15/10
9. Abbildungsverzeichnis	15/10

1. Einleitung

Die Grundlagen für die Düngung von Medizinal- und Aromapflanzen sollen Beratern und Produzenten ermöglichen, eine für diese wertschöpfungsstarken Kulturen angepasste Düngung zu planen und umzusetzen. Die vorliegenden Düngungsgrundlagen enthalten alle notwendigen Informationen für eine nachhaltige und bedarfsgerechte Düngung der Medizinal- und Aromapflanzen, wobei den Pflanzen eine angepasste Nährstoffzufuhr unter Schonung der Umwelt gewährleistet wird. Dabei wurden die Düngungsnormen aufgrund eigener Versuche und Erhebungen sowie von Entzugszahlen aus der Literatur definiert (Bomme und Nast 1998; Dachler und Pelzmann 1999; Marquard und Kroth 2002; Carlen *et al.* 2004; Carlen *et al.* 2007; Hoppe 2012; Hoppe 2013).

2. Ziele und Grundsätze der Düngung

Eine nachhaltige und angepasste Düngung der Medizinal- und Aromapflanzen hat zum Ziel, einerseits den Pflanzen eine ausgeglichene und angemessene Nährstoffzufuhr für ein optimales Wachstum und eine qualitativ hochstehende Produktion zu gewährleisten und andererseits die Fruchtbarkeit der Böden zu erhalten sowie die Umwelt zu schonen. Die Düngung ist allerdings nicht der einzige Faktor, den es bei der Pflanzenernährung zu berücksichtigen gilt. Die Boden- und Klimabedingungen sowie die Anbaupraktiken interagieren stark mit der Verfügbarkeit und der Aufnahme der verschiedenen Nährstoffe. Vor der Planung der Düngung muss also das Potenzial des Standortes für die Medizinal- und Aromapflanzen analysiert werden. Verschiedene Aspekte wie Bodenstruktur, Gehalt an organischer Substanz, Klima, Anbautechniken und Fruchtfolge sollten dabei berücksichtigt werden.

Die Düngungsnorm für die wichtigsten Nährstoffe wie Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entspricht in etwa der Entnahme durch die Pflanzen an einem für die Kultur geeigneten Standort und auf einem Boden mit einem genügenden Gehalt an Nährstoffen und Wasser. Die Düngungsnorm kann dem geschätzten Ertrag angepasst und aufgrund des Bodennährstoffgehaltes korrigiert werden. Mit diesen Massnahmen werden Mangel oder Ungleichgewichte (Antagonismen) von Nährstoffen verhindert.

Die Norm für die Stickstoffdüngung entspricht hingegen nicht immer dem effektiven Entzug durch die Kultur, da eine durchschnittliche Stickstoffmineralisierung des Bodens berücksichtigt wird. Diese Norm kann ebenfalls im Verhältnis zum geschätzten Ertrag angepasst werden. Verluste durch Auswaschen können durch Aufteilung der Stickstoffzufuhr stark vermindert werden.

3. Düngungsnormen

Die Düngungsnormen für die Medizinal- und Aromapflanzen entsprechen den erforderlichen Mengen, um auf



Abbildung 1 | Melisse: die Agroscope-Sorte Lorelei unter Beobachtung (Foto: Agroscope).

einem normal versorgten Boden einen durchschnittlichen Ertrag und eine gute Qualität zu erhalten. Für Phosphor, Kalium und Magnesium entsprechen sie hauptsächlich den Entzügen durch die Ernte (Tabellen 1 und 2).

Die Normen für die Stickstoffdüngung hängen vom Entzug durch die Pflanzen, deren Wachstumsperiode sowie der Mineralisierung des organischen Bodenstickstoffs ab (letztere ist abhängig vom Gehalt an organischer Substanz, vom Klima, von der Bodenstruktur usw.). Um die durchschnittliche Mineralisierung des Bodenstickstoffs bei mehrjährigen Kulturen mit verschiedenen Ernten während der gesamten Vegetationsperiode (Andorn, Bohnenkraut, Brennessel, Ehrenpreis, Eisenkraut, Rosenmelisse, Melisse, Pfefferminze, Oregano, Rosmarin, Salbei, Schafgarbe, Thymian, Spitzwegerich, Ysop) zu berücksichtigen, liegt die Norm etwa 20 % unter dem Stickstoffentzug durch die Pflanze (Abbildungen 1, 2 und 3). Dasselbe gilt für einjährige Kulturen mit einer langen Vegetationszeit (Dill, Eibisch, Liebstöckel, Majoran, Malve, Bibernelle). Für Kulturen, die früh in der Saison (Edelweiss, Edelraute) oder vor Anfang August (Arnika, Frauenmantel, Johanniskraut, Kamille) geerntet werden, ist die Düngungsnorm rund 10 % tiefer als der Stickstoffentzug (Abbildung 4).

Beim Basilikum entspricht die Norm für die Stickstoffdüngung dem Entzug, um den Ertrag und vor allem den Gehalt an ätherischen Ölen der Blätter zu fördern (Marquard und Kroth 2002). Beim Fenchel wurde sie gegenüber dem Entzug hingegen stark gesenkt, damit das Pflanzenwachstum nicht auf Kosten der Samenbildung stimuliert wird (Dachler und Pelzmann 1999).

Für die Schlüsselblume, eine Kultur, bei der ausschliesslich die Blüten geerntet werden (0,5–0,7 t Blüten/ha), entspricht die Norm für die wichtigsten Nährstoffe rund 50 % der Entnahme durch die ganze Pflanze (Abbildung 5). Beim Holunder hingegen wurde die Düngungsnorm im Vergleich zum Nährstoffentzug durch die Ernte ähnlich wie bei den Obstkulturen erhöht, um die im wachsenden Holzkörper gebundenen Nährstoffe zu berücksichtigen (Kuster *et al.* 2017).

Tabelle 1 | Entzug an Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium für verschiedene Medizinal- und Aromapflanzen (Carlen et al. 2007).

Kultur	TS-Ertrag ¹ (t/ha)	Entzug durch die Ernte (kg/ha)						
		N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	
Andorn	5,0	146	13	30	188	227	17	
Arnika ²	Blüten ²	0,4	10	2	5	10	12	2
	Blätter ²	1,0	33	5	11	43	52	5
Basilikum ²	5,0	96	12	27	96	116	16	
Bibernelle	Wurzeln ²	2,5	24	5	11	29	35	4
	Blätter ²	3,5	113	23	53	176	213	14
Bohnenkraut ²	6,0	144	24	55	184	223	19	
Brennnessel	5,0	206	27	62	228	276	31	
Dill ²	3,0	87	10	23	177	214	10	
Echte Edelraute (Genépi)	1,5	32	8	18	32	39	6	
Edelweiss	2,5	39	8	18	79	96	6	
Eibisch	Wurzeln	4,0	86	21	48	86	104	13
	Blätter	3,0	40	13	30	71	86	10
Eisenkraut (gebr., wohlriech.)	4,0	110	15	34	98	119	14	
Ehrenpreis	2,0	42	7	16	55	67	8	
Frauenmantel	5,0	84	15	34	104	126	16	
Fenchel ²	Körner ²	1,5	69	14	32	53	64	7
	Blätter ²	3,0	59	10	23	144	174	15
Holunder	0,6	24	3	7	15	18	5	
Johanniskraut ²	4,0	105	17	39	99	120	10	
Kamille	Blüten ²	1,2	24	3	7	40	48	3
	Blätter ²	3,0	34	7	16	37	45	4
Liebstöckel	8,0	201	24	55	206	249	26	
Majoran ²	3,5	96	13	30	98	119	9	
Malvé	5,0	199	27	62	223	270	25	
Melisse	5,0	141	18	41	144	174	34	
Orangenminze	5,5	110	20	46	165	200	12	
Oregano	4,0	90	13	30	105	127	14	
Pfefferminze	5,5	135	24	55	223	270	15	
Rosenmelisse	4,5	74	13	30	109	132	14	
Rosenwurz	Wurzeln ³	5,0	90	14	32	50	61	5
Rosmarin	4,5	71	10	23	90	109	16	
Salbei	5,0	147	15	34	164	198	15	
Schafgarbe	6,5	138	21	48	213	258	18	
Schlüsselblume	ganze Pflanze ²	2,5	53	7	16	76	92	14
Spitzwegerich	5,0	168	17	39	208	252	22	
Thymian	4,0	68	9	21	87	105	9	
Ysop	4,5	101	13	30	115	139	14	

¹ TS-Ertrag = Trockensubstanzertrag; für mehrjährige Kulturen sind die Erträge im zweiten Jahr berücksichtigt.

² Entzüge gemäss Bomme und Nast (1998).

³ Entzüge der Wurzeln von Rosenwurz nach vier Kulturjahren, angepasst gemäss Ampong-Nyarko (2014).

Tabelle 2 | Düngungsnormen für verschiedene Medizinal- und Aromapflanzen (Carlen et al. 2007).

Kultur	TS-Ertrag ¹ (t/ha)	Düngungsnorm (kg/ha)						
		N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	
Andorn	5,0	120	15	34	180	218	20	
Arnika	Blüten	0,4	30	10	23	50	61	5
Basilikum		5,0	100	15	34	100	121	15
Bibernelle	Wurzeln	2,5	110	30	69	190	230	20
Bohnenkraut		6,0	110	25	57	180	218	20
Brennnessel		5,0	150	25	57	200	242	30
Dill		3,0	80	15	34	160	194	10
Echte Edelraute (Genépi)		1,5	30	10	23	35	42	5
Edelweiss		2,5	40	10	23	75	91	5
Eibisch	Wurzeln	4,0	100	35	80	150	182	20
Eisenkraut (gebr., wohlriech.)		4,0	90	15	34	100	121	15
Ehrenpreis		2,0	40	10	23	55	67	10
Frauenmantel		5,0	70	15	34	100	121	15
Fenchel	Körner	1,5	80	25	57	150	182	20
Holunder		0,6	60	10	23	50	61	10
Johanniskraut		4,0	90	15	34	100	121	10
Kamille	Blüten	1,2	50	10	23	70	85	5
Liebstöckel		8,0	150	25	57	190	230	25
Majoran		3,5	80	15	34	100	121	10
Malvé		5,0	150	25	57	200	242	25
Melisse		5,0	110	20	46	140	169	30
Orangenmize		5,5	90	20	46	150	182	15
Oregano		4,0	80	15	34	100	121	15
Pfefferminze		5,5	110	25	57	200	242	15
Rosenmelisse		4,5	65	15	34	100	121	15
Rosenwurz	Wurzeln ²	5,0	40	10	23	60	73	10
Rosmarin		4,5	60	10	23	90	109	15
Salbei		5,0	120	15	34	150	182	15
Schafgarbe		6,5	100	20	46	190	230	20
Schlüsselblume	ganze Pflanze	2,5	30	5	11	50	61	10
Spitzwegerich		5,0	120	15	34	200	242	20
Thymian		4,0	60	10	23	85	103	10
Ysop		4,5	80	15	34	110	133	15

¹ TS-Ertrag = Trockensubstanzertrag; für mehrjährige Kulturen sind die Erträge im zweiten Jahr berücksichtigt.

² Düngungsnorm für Rosenwurz angepasst gemäss Buchwald et al. (2015).

Für die Betriebe, die über eine relativ kleine Fläche an Medizinal- und Aromapflanzen verfügen, wurden vereinfachte Normen nach Artengruppen aufgrund des Ertrags definiert (Tabelle 3). Diese Normen sind in der Suisse-Bilanz integriert, einem Planungs- und Kontrollinstrument, mit welchem analysiert werden kann, ob die Stickstoff- und Phosphorbilanzen der Betriebe gemäss den in der Direktzahlungsverordnung definierten ökologischen Anforderungen ausgeglichen sind.

4. Böden und Anforderungen der Pflanzen

Die Wahl des Anbaustandortes für Medizinal- und Aromapflanzen erfordert gute Kenntnisse der pedoklimatischen Anforderungen jeder Pflanze. Die Anforderungen an den Boden weichen je nach Art ab: Thymian zieht eher trockene und Pfefferminze eher feuchte Bedingungen vor. Arnika liebt saure Böden und Edelraute leichte und ma-

Tabelle 3 | Düngungsnormen für N, P, K und Mg für verschiedene Artengruppen von Medizinal- und Aromapflanzen in Abhängigkeit des Ertrages (Carlen et al. 2007).

Artengruppen in Abhängigkeit des Ertrages (in Frischmasse)		TS-Ertrag ¹ (t/ha)	Düngungsnorm (kg/ha)					
			N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg
gering	(5 t FM/ha) ²	0,8	40	10	23	50	61	10
mittel	(15 t FM/ha)	2,5	70	15	34	130	157	15
gross	(35 t FM/ha)	5,0	120	20	46	160	194	20
sehr gross	(50 t FM/ha)	7,5	160	25	57	200	242	25

¹ TS = Trockensubstanz ² FM = Frischmasse



Abbildung 2 | Thymian: Die Agroscope-Sorte Varico 3 ist reich an ätherischem Öl mit hohem Gehalt an Thymol (Foto: Valplantes).



Abbildung 3 | Salbei: eine sehr wichtige Medizinal- und Aromapflanze in der Schweiz (Foto: Valplantes).



Abbildung 4 | Frauenmantel: Die Agroscope-Sorte Aper ist sehr gut ans Berggebiet angepasst (Foto: Agroscope).



Abbildung 5 | Schlüsselblumen verschiedener Herkünfte im Vergleich (Foto: Agroscope).

gere. Gute Kenntnisse des Bodens und der klimatischen Bedingungen ermöglichen eine an den Standort angepasste Kultur auszuwählen, um eine qualitativ und quantitativ zufriedenstellende Produktion zu erreichen.

5. Bedarf und Zufuhr von Nährstoffen

5.1 Phosphor, Kalium und Magnesium

Die Düngungsnorm für die Nährstoffe P, K und Mg entspricht der Menge, die einem Boden mit genügender Fruchtbarkeit zugeführt werden muss. Das Ertragsniveau, auf das sich die Norm stützt, wird auf den meisten Betrieben erreicht. Wenn jedoch in gewissen Regionen oder auf bestimmten Parzellen (Grenzzonen für den Anbau von Medizinal- und Aromapflanzen, flachgründiger Boden, keine Bewässerung usw.) die Erträge regelmässig tiefer sind, sind die Normen proportional zu senken. Demgegenüber sind die Normen bei systematisch höheren Erträgen im Verhältnis zu erhöhen. Bei einem um 10 % höheren Ertrag wird zum Beispiel die Norm ebenfalls um 10 % erhöht. Gelegentliche Ertragsunterschiede müssen nicht berücksichtigt werden. Bei den mehrjährigen Kulturen ist in der Regel die Düngungsnorm im Pflanzjahr aufgrund des geschätzten Ertrags deutlich zu senken. Diese ertragsbedingten Korrekturen der Düngungsnorm können dann je nach Versorgungszustand des Bodens weiter korrigiert werden.

Die Düngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium bezweckt eine langfristig genügende Bodenfruchtbarkeit.

Es ist möglich, Phosphor für drei bis vier Jahre mit einer einzigen Gabe zuzuführen, insbesondere wenn die notwendigen Mengen klein sind oder in organischer Form wie Mist oder Kompost zugeführt werden. Kalium und Magnesium werden möglichst vor Beginn des Wachstums der Kulturen im Frühjahr ausgebracht.

5.2 Stickstoff

Stickstoff hat einen erheblichen Einfluss auf den Wuchs der Medizinal- und Aromapflanzen. Ein Stickstoffmangel

vermindert hauptsächlich die Wüchsigkeit und den Ertrag der Kulturen, während ein Übermass wegen des starken Auswaschens dieses Elementes vor allem ein Umweltproblem darstellt und die Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen erhöhen kann. Die Stickstoffnorm ist wie bei P, K und Mg aufgrund des geschätzten Ertrags zu korrigieren.

Um ein Auswaschen zu verhindern, muss die Gabe bei grossem Stickstoffbedarf unbedingt aufgeteilt werden. Dies erhöht auch die Effizienz der Düngung. Pro Gabe sind höchstens 60 kg N/ha der Kultur zuzuführen. Die erste und zweite Gabe können im Frühjahr bei Wachstumsbeginn und nach dem ersten Schnitt im Mai/Juni erfolgen. Für Kulturen mit einem grossen Stickstoffbedarf ist eine dritte Gabe einzuplanen.

6. Nährstoffquellen

6.1 Bodenstickstoff

Die Nachlieferung von Nährstoffen durch den Boden ist vor allem beim Stickstoff wichtig. Sie hängt stark vom Mineralisierungspotenzial der Parzelle ab. Die Mineralisierung wird am meisten vom Gehalt des Bodens an organischer Substanz (OS), der Bodenbearbeitung und von der Vorfrucht beeinflusst (Tabelle 4).

6.2 Ernterückstände (P, K, Mg)

Die allfälligen Mengen an Phosphor, Kalium und Magnesium, die durch die Ernterückstände der Vorkultur anfallen, sind bei der Planung der Düngung zu berücksichtigen. Nur wenige Medizinal- und Aromapflanzen hinterlassen Ernterückstände (Tabelle 5), da bei den meisten Pflanzen alle oberirdischen Teile geerntet werden.

6.3 Hofdünger, Kompost

In den meisten Fällen deckt der Hofdünger des Betriebs (Gülle und Mist) einen grossen Teil des Bedarfs der Kulturen ab. Aus Gründen der Effizienz und Wirtschaftlichkeit

Tabelle 4 | Stickstoffnachlieferung des Bodens in Abhängigkeit der Vorkultur und der organischen Substanz des Bodens, der Bodenbearbeitung und der Hackvorgänge (die folgenden Werte können je nach Standort und Witterung stark schwanken) (angepasst nach Neuweiler et al. 2006).

Stickstoffquelle	N-Nachlieferung (kg/ha)	
Wiesen (Stoppeln, nach Schnitt)	Naturwiese oder Ansaatwiese (dreijährig und älter)	10–30
	zweijährige Ansaatwiese	0–10
	einjährige Ansaatwiese	0
Gründüngungen	Leguminosen, Phacelia, Raps, Chinakohlrübsen	30
	Roggen, Sonnenblumen	20
	Hafer, Gräser	10
N-Nachlieferung aus der organischen Substanz (OS): pro Bodenbearbeitung oder Hackvorgang ab Mai (im Berggebiet ab Juni) bei optimalen Bedingungen bezüglich Bodenfeuchte und Bodenstruktur	< 5 % OS	15
	5–12 % OS	20
	< 12 % OS	25

müssen alle Betriebe mit Viehhaltung ihren Hofdünger möglichst angepasst nutzen. Richtwerte über die Nährstoffgehalte helfen den Landwirtinnen und Landwirten, eine quantitative und qualitative Einschätzung des Hofdüngers vorzunehmen. Für den Anbau von Medizinal- und Aromapflanzen werden Kompost, Mist oder Gülle aus hygienischen Gründen vor der Pflanzung ausgebracht und in den Boden eingearbeitet.

6.4 Handelsdünger

In der Schweiz werden die meisten Medizinal- und Aromapflanzen nach den Richtlinien des biologischen Landbaus produziert. Die gemäss diesen Richtlinien erlaubten Handelsdünger finden sich in der Hilfsstoffliste, die jährlich vom Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) herausgegeben wird. Wichtig sind dabei die organischen, stickstoffhaltigen Handelsdünger (Carlen *et al.* 2004).

6.5 Düngung im biologischen Anbau

Grundsätzlich gelten alle Empfehlungen im vorliegenden Dokument auch für den biologischen Landbau. Es sind jedoch einige Besonderheiten bei der Verwendung der Düngemittel hervorzuheben. Eines der Grundprinzipien des biologischen Anbaus besteht darin, den Boden schonend zu bewirtschaften und eine hohe biologische Aktivität

aufrechtzuerhalten und zu fördern. Das Bodenleben, das unter anderem für die Mineralisierung des Stickstoffs verantwortlich ist, kann mit der Erhöhung des Anteils an Leguminosen in der Fruchtfolge und der gezielten Anwendung von Kompost und Hofdünger stimuliert werden. Im Vergleich zum Pflügen fördert die oberflächliche Einarbeitung des Hofdüngers und der Ernterückstände die Mineralisierung des Stickstoffs und seine Verwendung durch die Pflanze. Weiter sind die spezifischen Richtlinien zur Düngung im biologischen Anbau zu berücksichtigen.

6.6 Düngung und Umwelt

Eine umweltschonende Düngung hat zum Ziel, die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten und vermeidbare Verluste von Nährstoffen sowie die Belastung von Oberflächengewässern und Grundwasser zu verhindern. Es wird empfohlen, vor dem Einsatz von Düngern eine Bodenanalyse zur Kontrolle der Bodenfruchtbarkeit durchzuführen. Wenn eine Düngergabe notwendig ist, müssen die spezifischen und momentanen Bedürfnisse der Pflanze berücksichtigt werden, damit die gedüngten Nährstoffe aufgenommen werden können. Die Landwirtinnen und Landwirte können die Düngung der Medizinal- und Aromapflanzen auf ihrem Betrieb aufgrund der vorliegenden Grundlagen, ihrer Erfahrung und unter Einbezug von Beratern so planen, dass sie den Bedürfnissen der Pflanzen entspricht und im richtigen Zeitpunkt erfolgt.

Tabelle 5 | Mengen an Phosphor, Kalium und Magnesium, die in Form von Ernterückständen auf dem Feld zurückbleiben. Die nicht in dieser Liste aufgeführten Medizinal- und Aromapflanzen haben keine oder vernachlässigbare Mengen an Ernterückständen (Carlen *et al.* 2007).

Kultur	Menge an Ernterückständen (t/ha)	Ernterückstände (kg/ha)				
		P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg
Arnika Blätter*	1,0	5	11	43	52	5
Bibernelle Blätter*	3,5	23	53	176	213	14
Eibisch Blätter*	3,0	13	30	71	86	10
Fenchel Blätter	2,5	10	23	144	174	15
Kamille Blätter*	3,0	7	16	37	45	4

* Gemäss Bomme und Nast (1998).

7. Literatur

- Ampong-Nyarko K., 2014. *Rhodiola rosea* Cultivation in Canada and Alaska. In: *Rhodiola rosea* (Ed. Cuerrier A. & Ampong-Nyarko K.). CRC Press, Boca Raton, London, New York, 125–153.
- Bomme U. & Nast D., 1998. Nährstoffentzug und ordnungsgemäße Düngung im Feldbau von Heil- und Gewürzpflanzen. *Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen* 3, 82–90.
- Buchwald W., Mordalski R., Kucharski W.A., Gryszczynska A. & Adamczak A., 2015. Effect of fertilization on roseroot (*Rhodiola rosea* L.) yield and content of active compounds. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus* 14 (2), 109–121.
- Carlen C., Carron C.A. & Amsler P., 2007. Grundlagen für die Düngung der Gewürz- und Medizinalpflanzen. *Agrarforschung Schweiz* 14 (1), 1–8.
- Carlen C., Carron C.-A. & Rey C., 2004. La fertilisation en culture biologique: normes et choix des engrais. *Actes du 5e colloque Mediplant, Evolène*, 25.–27. September 2003, 63–67.
- Dachler M. & Pelzmann H., 1999. *Arznei- und Gewürzpflanzen*. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg. 353 S.
- Hoppe B. (Ed.), 2012. *Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus, Band 4: Arznei- und Gewürzpflanzen A–K*. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen Saluplanta e.V. Bernburg, 800 S.
- Hoppe B. (Ed.), 2013. *Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus, Band 5: Arznei- und Gewürzpflanzen L–Z*. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen Saluplanta e.V. Bernburg, 800 S.
- Kuster Th., Eicher O., Leumann L., Müller U., Poulet J. & Rütishauser R., 2017. 13/ Düngung im Obstbau. In: *Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017)* (Ed. W. Richner & S. Sinaj). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 13/1–13/20.
- Marquard R. & Kroth E., 2002. *Anbau und Qualitätsanforderungen ausgewählter Arzneipflanzen II*. Buchedition Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme, 191 S.
- Neuweiler R., Gilli C., Freund M., Koch W., Wigger A., Koller M. & Moos D., 2006. *Düngung*. Handbuch Gemüse. Verband Schweizerischer Gemüseproduzenten, Bern, 71–96.

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Entzug an Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium für verschiedene Medizinal- und Aromapflanzen.	15/4
Tabelle 2 Düngungsnormen für verschiedene Medizinal- und Aromapflanzen.	15/5
Tabelle 3 Düngungsnormen für N, P, K und Mg für verschiedene Artengruppen von Medizinal- und Aromapflanzen in Abhängigkeit des Ertrages.	15/6
Tabelle 4 Stickstoffnachlieferung des Bodens in Abhängigkeit der Vorkultur und der organischen Substanz des Bodens, der Bodenbearbeitung und der Hackvorgänge (die folgenden Werte können je nach Standort und Witterung stark schwanken).	15/7
Tabelle 5 Mengen an Phosphor, Kalium und Magnesium, die mittels Ernterückständen auf dem Feld zurückbleiben. Die nicht auf dieser Liste aufgeführten Medizinal- und Aromapflanzen haben keine oder vernachlässigbare Mengen an Ernterückständen.	15/8

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Melisse: die Agroscope-Sorte Lorelei unter Beobachtung.	15/3
Abbildung 2 Thymian: Die Agroscope-Sorte Varico 3 ist reich an ätherischem Öl mit hohem Gehalt an Thymol.	15/6
Abbildung 3 Salbei: eine sehr wichtige Medizinal- und Aromapflanze in der Schweiz.	15/6
Abbildung 4 Frauenmantel: Die Agroscope-Sorte Aper ist sehr gut ans Berggebiet angepasst.	15/6
Abbildung 5 Schlüsselblumen verschiedener Herkünfte im Vergleich (Foto: Agroscope).	15/6



16/ Düngung von Zierpflanzen und Gehölzen

Christoph Carlen¹, Céline Gilli¹, Josef Poffet² und Hans Peter Wegmüller³

¹ Agroscope, 1964 Conthey, Schweiz

² Jardin Suisse, 5000 Aarau, Schweiz

³ Hauert HBG Dünger AG, 3257 Grossaffoltern, Schweiz

Auskünfte: christoph.carlen@agroscope.admin.ch

Inhalt

1. Einleitung.....	16/3
2. Düngung von Topf- und Containerpflanzen.....	16/3
3. Schnittblumen auf Substrat im Gewächshaus.....	16/7
4. Düngung von Schnittblumen als Bodenkultur.....	16/8
5. Nadel- und Laubgehölze in Freilandbaumschulen	16/9
6. Literatur	16/10
7. Tabellenverzeichnis	16/11
8. Abbildungsverzeichnis.....	16/11

1. Einleitung

Diese Grundlagen sollen Leitlinien für eine nachhaltige Düngung von Zierpflanzen und Gehölzen im kommerziellen Anbau definieren. Eine bedarfsgerechte Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen ist Voraussetzung für ein harmonisches Wachstum und für gesunde, qualitativ hochwertige Pflanzen. Diese Grundlagen sollen auch als Basis für die Anforderungen von SwissGAP Hortikultur im Bereich Düngung dienen. Sie wurden unter Berücksichtigung älterer und jüngerer Literatur erstellt. Dabei wurden vor allem die Düngungsnormen aufgrund von Entzugszahlen definiert (Wegmüller und Gysi 1993; Jentzsch und Thalk 2007; Röber und Schacht 2008; Wartenberg 2008; Wegmüller *et al.* 2012). Auf die vielfältigen Möglichkeiten, die Nährstoffe auszubringen und den Zierpflanzen und Gehölzen zur Verfügung zu stellen, wurde hingegen weniger eingegangen.

Die Begriffe Zierpflanzen und Gehölze umfassen verschiedenste Pflanzenarten, die im Boden, in Erdsubstraten sowie in organischen oder mineralischen Substraten und als Hydrokulturen angebaut werden. Auf der Basis der unterschiedlichen Düngungsbedürfnisse und Düngungssysteme, wobei Hydrokulturen hier nicht berücksichtigt sind, werden die kommerziell angebauten Zierpflanzen und Gehölze in vier Gruppen aufgeteilt:

- a) Topfkulturen und Containerpflanzen
- b) Schnittblumen auf Substrat im Gewächshaus
- c) Schnittblumen als Bodenkultur
- d) Nadel- und Laubgehölze in Freilandbaumschulen

2. Düngung von Topf- und Containerpflanzen

Topf- und Containerkulturen sind bodenunabhängige Kulturverfahren, bei denen die Pflanzen in Töpfen, in Containern oder in anderen Behältern wachsen (Abbildungen 1, 2 und 3). Unter- und Überversorgung in einem abgegrenzten Raum können zu Wachstums- und Blühproblemen führen. Die Düngung von Topf- und Containerkulturen ist daher sehr anspruchsvoll (Tabellen 1 und 2). Die Angaben basieren auf dem Leitnährstoff Stickstoff (N). Für die Verwendung des Stickstoffs als Leitnährstoff spricht unter anderem, dass dieser Nährstoff den engsten Optimalbereich aufweist und somit den Kulturerfolg bei unangepasster Düngung am schnellsten gefährdet (Scharpf 1989; Wartenberg 2008). Die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) werden dann in bestimmten Verhältnissen zum Leitnährstoff Stickstoff verabreicht.

In Tabelle 1 ist der Stickstoffbedarf für die wichtigsten Topfpflanzen aufgelistet, die in der Schweiz angebaut werden. Der Phosphor-, Kalium- und Magnesiumbedarf wurden davon abgeleitet. Das Verhältnis der Elemente N:P beträgt 1,0:0,2. Das Verhältnis der Elemente N:K schwankt je nach Pflanzenart zwischen 1,0:0,6 und 1,0:1,5, respektive für N:Mg zwischen 1,0:0,10 und



Abbildung 1 | Primeln (*Primula acaulis*) als Topfpflanzen (Foto: Agroscope).



Abbildung 2 | Ein wichtige Topfpflanze ist der Weihnachtsstern (Poinsettie, *Euphorbia pulcherrima*; Foto: Agroscope).



Abbildung 3 | Callunen (*Calluna vulgaris*) als Topfpflanze (Foto: Agroscope).

Tabelle 1 | Düngungsnormen für wichtige Topfpflanzenarten. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N (Röber und Schacht 2008; Wartenburg 2008; Wegmüller *et al.* 2012).

Pflanzenart, Pflanzengruppe	Pflanzengrösse, Topfgrösse	Stickstoffbedarf (g N pro Pflanze)	Verhältnis N:P:K:Mg (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O:Mg)
Chrysanthemen	kleine Pflanzen	0,2–0,3	1,0:0,2:1,5:0,15 (1,0:0,45:1,8:0,15)
	mittlere Pflanzen	0,3–0,4	
	grosse Pflanzen	0,4–0,5	
Primeln	10-cm-Topf	0,2–0,3	1,0:0,2:1,25:0,15 (1,0:0,45:1,5:0,15)
Saintpaulien	kleine Pflanzen	0,05–0,08	
	grosse Pflanzen	0,1–0,2	
Fuchsien	11-cm-Topf	0,3–0,4	1,0:0,2:1,0:0,15 (1,0:0,45:1,2:0,15)
Petunien	10-cm-Topf	0,3–0,4	
Hortensien	11-cm-Topf	0,5	
Impatiens Neuguinea	mittlere Sorten	0,3–0,4	
Kalanchoe	11-cm-Topf	0,4	
Violen	9–10-cm-Topf	0,15–0,2	
Cyclamen ¹	Mini-Pflanzen	0,15–0,25	
	normale Pflanzen	0,45–0,6	
	grosse Pflanzen	0,7–0,8	
Elatior-Begonien	kleine Pflanzen	0,2–0,3	
	grosse Pflanzen	0,4–0,6	
Pelargonien	Sämlinge	0,3–0,4	1,0:0,2:0,85:0,12 (1,0:0,45:1,0:0,15)
	kleine Pflanzen	0,3–0,4	
	mittlere Pflanzen	0,4–0,5	
	grosse Pflanzen	0,5–0,7	
Poinsettien	kleine Eintrieber	0,2	
	kleine Mehrtrieber	0,4–0,5	
	mittlere Mehrtrieber	0,6–0,7	
	grosse Mehrtrieber	0,8–1,0	
	Stämmchen	3,0–5,0	
Azaleen	11-cm-Topf	0,5	1,0:0,2:0,7:0,10 (1,0:0,45:0,85:0,15)
Callunen	12-cm-Topf	0,5–0,6	
Eriken	11-cm-Topf	0,5	
Rosen	10-cm-Topf	0,2	

¹ Letztes Kulturdrittel für Cyclamen N:P:K:Mg = 1,0:0,2:1,0:0,15.

1,0:0,15. Für die zahlreichen Topfpflanzen, die im Anbau sind, hat Wartenburg (2008) aus Literaturquellen die Düngungsrichtlinien für rund 200 Topfpflanzenarten zusammengestellt.

Begrifflich ist für die Düngung von Topfpflanzen die Unterteilung in eine Grunddüngung und eine Nachdüngung zweckmässig. Die Grunddüngung entspricht dem Nährstoffausgleich mit löslichen Düngern auf das Niveau der Grundversorgung für ein Substrat (Tabelle 3). Die Nachdüngung dagegen deckt jene Nährstoffmenge ab, die eine Kultur während der Kulturzeit aufnimmt. Sie kann als Vorratsdüngung mit Depot- oder Langzeitdüngern bereits bei der Substrataufbereitung beigemischt oder beim Topfen gegeben werden. Die oft verwendeten Depot- oder

Langzeitdünger stellen eine Nährstoffversorgung über einen längeren Kulturabschnitt bis hin über die gesamte Kulturdauer sicher (Wartenburg 2008; Wegmüller *et al.* 2012). Die ergänzende Nachdüngung erfolgt in der Regel als Flüssigdüngung (vor allem als Bewässerungsdüngung) einmal pro Woche oder in grösseren Abständen. Dabei wird das Bewässerungswasser mit wasserlöslichen Düngern angereichert, wobei die Salzeempfindlichkeit der verschiedenen Kulturen zu berücksichtigen ist (Tabelle 4).

Eine andere Möglichkeit der Düngung ist die Bewässerungsdüngung mittels geschlossener Systeme (Anstau-bewässerung, Fliessmatten, Rinnenbewässerung, Tropfbewässerung). Die Bewässerungsdüngung hat eine grosse Bedeutung, und es werden bei jeder Bewässerung mit

Tabelle 2 | Düngungsnormen von Baumschulgehölzen in Containern. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N¹ (Wegmüller et al. 2012).

Pflanzenart	Stickstoff(N)-Bedarf	Pflanzenart	Stickstoff(N)-Bedarf
<i>Abies nordmanniana</i> <i>Cotoneaster dammeri</i> <i>Deutzia rosea</i> , schwachwachsend <i>Pachysandra terminalis</i> <i>Pinus cembra</i> <i>Pinus mugo</i> «Mughus» <i>Pinus wallichiana</i> <i>Potentilla fruticosa</i> <i>Prunus cerasifera</i> <i>Rhododendron repens</i> <i>Ribes sanguineum</i> <i>Salix repens</i> <i>Skimmia japonica</i>	gering 0,3–0,45 kg/m ³ oder g/l	<i>Juniperus communis</i> «Hibernica» <i>Juniperus squamata</i> «Meyeri» <i>Kolkwitzia amabilis</i> <i>Lonicera pileata</i> <i>Mahonia aquifolium</i> Malus-Hybriden <i>Pinus nigra</i> «Austriaca» <i>Prunus laurocerasus</i> <i>Pyracantha coccinea</i> <i>Spiraea bumalda</i> <i>Spiraea japonica</i> <i>Taxus baccata</i> <i>Thuja occidentalis</i> <i>Viburnum burkwoodii</i> <i>Viburnum plicatum</i>	mittel 0,45–0,6 kg/m ³ oder g/l
<i>Acer saccharinum</i> <i>Amelanchier canadensis</i> <i>Amelanchier laevis</i> <i>Berberis canadensis</i> <i>Berberis thunbergii</i> <i>Buddleja davidii</i> <i>Buxus sempervirens</i> <i>Callicarpa bodinieri</i> <i>Cedrus deodara</i> <i>Cotoneaster adpressus</i> <i>Cytisus scoparius</i> <i>Deutzia gracilis</i> <i>Deutzia rosea</i> <i>Euonymus alatus</i> <i>Euonymus fortunei</i> «Vegetus» <i>Exochorda racemosa</i> <i>Genista tinctoria</i> <i>Hibiscus syriacus</i> <i>Hypericum calycinum</i> <i>Hypericum patulum</i>	mittel 0,45–0,6 kg/m ³ oder g/l	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> <i>Cotoneaster multiflorus</i> <i>Forsythia x intermedia</i> <i>Hydrangea paniculata</i> <i>Ilex aquifolium</i> <i>Juniperus chinensis</i> <i>Kerria japonica</i> <i>Ligustrum ovalifolium</i> <i>Viburnum rhytidophyllum</i> Weigelia-Hybriden	hoch 0,6–0,75 kg/m ³ oder g/l

¹ N:P:K:Mg = 1,0:0,15:0,6:0,1 oder N:P₂O₅:K₂O:Mg = 1,0:0,34:0,73:0,1.

Hilfe von Stammlösungen, Restwasser, Pumpsystemen und Düngermischer Nährstoffe in gewünschter Konzentration zum Bewässerungswasser zugeführt, mit dem Ziel, ein optimales Wachstum der Zierpflanzen zu ermöglichen. Die Technik ist hier ähnlich wie bei den Substratkulturen bei Beeren (Carlen et al. 2017). Als ideale Steuerungsmethode hat sich die Messung des pH-Wertes und des Elektrokonduktivitäts-Wertes (EC-Wert in mS/cm) der Nährlösung etabliert. Die optimalen Werte schwanken zwischen 5,6 und 6,2 für den pH-Wert und zwischen 0,5 und 2,5 mS/cm für den EC-Wert (Tabellen 4 und 5).

Zur Kontrolle der Nährstoffversorgung im Substrat wird folgende Methode zur Bestimmung des pH- und EC-Wertes eines Substrates empfohlen:

1. In einem verschliessbaren Schüttelgefäss bei 200 ml und 300 ml eine Markierung anbringen
2. Bis zur 200-ml-Marke entmineralisiertes Wasser einfüllen
3. Substrat (Durchschnittsprobe, gut angefeuchtet) bis zur 300-ml-Marke einfüllen
4. Ca. eine Minute schütteln (Abbildung 4)
5. pH-Wert und EC-Wert dieser Suspension messen



Abbildung 4 | Verschliessbares Schüttelgefäss mit Markierungen bei 200 ml und 300 ml zur Bestimmung des pH-Wertes und des EC-Wertes eines Substrates (Foto: Josef Poffet, Jardin Suisse).

Tabelle 3 | Wasserlösliche Nährstoffe pro Liter Substrat nach der 1:1,5-Volumenextraktionsmethode. Die Grundversorgung entspricht dem Erhaltungsniveau während der Kulturzeit (Gysi et al. 1995; Wegmüller et al. 2012).

Bedarfsgruppe	Angestrebte Grundversorgung mit löslichen Nährstoffen (mg/l Substrat) (bezieht sich auf einzelne Elemente)			
	N	P ¹	K	Mg
Nährstoffempfindliche Kulturen (Aussaaterden)	60	10	85	15
Mittlerer Nährstoffbedarf	120	20	180	30
Hoher Nährstoffbedarf	220	40	275	60

¹ Die Wasserlöslichkeit von Phosphor ist stark pH-abhängig. Wird bei pH-Werten von über 6,5 die wasserlösliche P-Menge nicht erreicht, ist die P-Reserve nach der Ammonium-Acetat-EDTA-Methode für die Beurteilung miteinzubeziehen.

Tabelle 4 | Salzverträglichkeit und optimale Einstellung des Elektrokonduktivitäts(EC)-Wertes der Nährlösung bei Flüssigdüngung (Nachdüngung oder Bewässerungsdüngung) und Optimalbereich im Substrat für verschiedene Pflanzenarten gemäss Wegmüller et al. (2012).

Salzverträglichkeit	Kulturen	Optimalbereich des EC-Wertes im Giesswasser (mS/cm)	Optimalbereich des EC-Wertes im Substrat (mS/cm)
Sehr empfindlich	Orchideen, Bromelien Farne Vermehrung: Eriken, Callunen, Azaleen Aussaaten generell	0,5–1,0	0,4–0,6
Empfindlich	Azaleen Callunen, Eriken Jungpflanzen generell	1,0–1,5	0,6–0,8
Weniger empfindlich	Begonien Cyclamen Poinsettien Rosen	1,5–2,0	0,8–1,2
Verträglich	Chrysanthemem Pelargonien	2,0–2,5	1,3–1,8

Tabelle 5 | Zusammensetzung der Nährlösungen für Topfpflanzen und Schnittblumen in geschlossenen Systemen (gS) und in offenen Systemen (oS) auf organischen Substraten gemäss Pivot et al. (2005).

System	Topfpflanzen	Alstromerien		Flamingo-Blumen		Nelken		Gerbera		Rosen	
	gS	oS	gS	oS	gS	oS	gS	oS	gS	oS	gS
EC (mS/cm)	1,6	1,2	1,6	0,8	1,1	1,1	1,8	1,1	1,6	0,7	1,6
pH	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2	5–6,2
Hauptnährstoffe (mmol/l)											
NH ₄ ⁺	1,1	0,7	0,7	0,3	0,3	0,75	0,7	0,7	1,5	0,8	1,0
K ⁺	5,5	4,3	5,8	3,5	3,9	4,4	6,7	4,5	5,5	2,2	4,5
Ca ²⁺	3,0	2,0	3,5	0,9	1,3	1,5	3,5	1,6	3,0	0,8	3,2
Mg ²⁺	0,75	0,7	1,3	0,7	1,0	0,6	1,0	0,4	1,0	0,6	1,5
NO ₃ ⁻	10,6	7,3	11,2	4,7	6,4	7,3	13,0	7,2	11,2	4,3	11,2
SO ₄ ²⁻	1,0	1,2	1,9	0,8	0,8	0,7	1,2	0,7	1,2	0,5	1,2
H ₂ PO ₄ ⁻	1,5	0,7	1,0	0,7	0,8	0,7	1,2	0,6	1,2	0,5	1,2
Spurenelemente (µmol/l)											
Fe	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Mn	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Zn	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
B	20	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30
Cu	0,5	0,5	0,75	0,5	0,75	0,5	0,75	0,5	0,75	0,5	0,75
Mo	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Diese Ergebnisse sind mit Labormessungen nach der in der Schweiz gebräuchlichen Volumenextraktionsmethode vergleichbar oder können direkt mit den Angaben in Tabelle 4 betreffend Optimalbereich des EC-Wertes im Substrat interpretiert werden. Insbesondere bei tiefen Messwerten lässt sich eine Korrektur einfach durch eine Erhöhung des Nachdüngungsniveaus erreichen. Liegt das Ergebnis im Normalbereich oder darüber, und es werden trotzdem Nährstoffstörungen vermutet, hilft eine Laboranalyse zur differenzierten Nährstoffbestimmung weiter.

In Tabelle 5 ist ein Beispiel der Mineralstoffzusammensetzung einer Nährlösung für Topfpflanzen in geschlossenen Systemen beschrieben. Bei geschlossenen Bewässerungssystemen ist eine genaue Anpassung des Nährstoffangebots an den tatsächlichen Nährstoffentzug wichtig. Stimmen die beiden Grössen nicht annähernd überein, kommt es zu einer Anreicherung einzelner Nährstoffe in der umlaufenden Nährlösung und im Substrat. Nährstoffanalysen und die entsprechende Korrektur der Nährlösung sind in regelmässigen Abständen von drei bis vier Wochen durchzuführen.

Über das Blatt können nur wenige Nährstoffe aufgenommen werden. Diese wirken dann aber bedeutend schneller als die Aufnahme über die Wurzeln. Daher wird empfohlen, vor allem bei Mangel an Spurenelementen die Nährstoffversorgung mittels Blattdüngung zu korrigieren.

In Tabelle 2 ist der Stickstoffbedarf für verschiedenste Containerpflanzen drei Bedarfsgruppen zugeordnet. Der Phosphor-, Kalium- und Magnesiumbedarf wurden dann davon abgeleitet. Das Verhältnis der Elemente N:P:K:Mg beträgt 1,0:0,15:0,6:0,1. Dabei werden am besten vollumhüllte Langzeitdünger verwendet und in den mittleren Bereich des Containers eingebracht. Bewährt hat sich auch,



Abbildung 5 | Gerbera-Schnittblumenproduktion auf Substrat im Gewächshaus (Foto: Agroscope).

die Grundversorgung mit einem organisch-mineralischen Dünger einzustellen und die Nachdüngung mit einem geeigneten teilumhüllten Langzeitdünger bei Herbsttopfung oder im Frühjahr kurz nach dem Aufstellen vorzunehmen. Zum Aufstreuen gibt es verschiedene rationelle Methoden. Die Vorteile dieser Strategie sind minimale Auswaschungsverluste und durchwegs tiefe Salzgehalte im Substrat, was sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt.

3. Schnittblumen auf Substrat im Gewächshaus

Für Schnittblumen auf Substrat im geschützten Anbau werden hohe Ansprüche an das Substrat und die Nährlösung für die Bewässerungsdüngung gestellt (Abbildung 5). Das Substrat dient der Pflanze bis zu einem gewissen Grade als Reservoir, aus dem sie die für das Wachstum benötigten Nährstoffe bezieht. Die Substrate sind heute in der Regel organisch oder aber mineralischen Ursprungs. Dank der Bewässerungsdüngung kann im bodenunabhängigen Anbau Wasser eingespart und eine optimale Nährstoffzufuhr erzielt werden. Die Nährlösung muss allerdings ausgewogen und den Wachstumsbedürfnissen der auf Substrat angebaute Zierpflanzen-Kulturen angepasst sein. Unabhängig davon, welches Bewässerungsdüngungssystem (offen oder geschlossen) gewählt wird, müssen die Elemente im rückfliessenden Dränwasser agronomisch sinnvoll genutzt werden. Die Herstellung und Anpassung der Nährlösungen für offene und geschlossene Systeme sind im Modul 14/ Düngung von Beerenkulturen ausführlich beschrieben (Carlen *et al.* 2017). Die Zusammenstellung der Nährlösungen für offene und geschlossene Systeme von verschiedenen wichtigen Schnittblumen sind in Tabelle 5 angegeben. Weiter kann die Düngung auch auf-



Abbildung 6 | Margerite (*Leucanthemum vulgare*) als Schnittblume im Freiland (Foto: Agroscope).

Tabelle 6 | Optimaler Mineralstoffgehalt der Lösung im Substrat des Wurzelraums von Topfpflanzen und Schnittblumen auf Substrat gemäss Pivot et al. (2005).

	Topfpflanzen	Alstromerien	Flamingo-Blumen	Nelken	Gerbera	Rosen
EC (mS/cm)	1,7	2,0	1,0	2,2	2,0	2,0
pH	5,5	5,5	5,5	5,5	5,2	5,5
Hauptnährstoffe (mmol/l)						
NH ₄ ⁺	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K ⁺	4,5	5	3	7	6	5
Ca ²⁺	<4	<5	<3	<4	<6	<6
Mg ²⁺	4	5	2	5	5	5
NO ₃ ⁻	9,5	13	5	14	13	12,5
SO ₄ ²⁻	2	2,5	1,5	3	2,5	2,5
H ₂ PO ₄ ⁻	1	1	0,75	0,9	1	0,9
Spurenelemente (µmol/l)						
Fe	20	30	15	20	40	25
Mn	10	5	2	3	3	3
Zn	3	5	4	5	5	3,5
B	20	40	40	60	40	20
Cu	0,5	1	1	1	1	1
Mo	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabelle 7 | Stickstoffbedarf einjähriger Schnittkulturen im Freiland. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N gemäss Jentzsch und Thal (2007) mit Anpassung der Stickstoffdüngung gemäss Erfahrungen in der Schweiz.

Pflanzenarten, Pflanzengruppen	Stickstoff(N)-Bedarf ¹	Verhältnis N:P:K:Mg (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O:Mg)
<i>Acrolinium roseum</i> <i>Ageratum houstonianum</i> <i>Anthriscus</i> <i>Centaurea cyanus</i> <i>Craspedia globosa</i>	8 g N/m ²	1,0:0,2:1,5:0,12 (1,0:0,45:1,8:0,15)
<i>Amaranthus</i> <i>Ammi visnaga</i> <i>Antirrhinum majus</i> <i>Calendula officinalis</i> <i>Callistephus chinensis</i> <i>Carthamus tinctorius</i> <i>Celosia</i> <i>Chrysanthemum x grandiflorum</i> <i>Cosmos bipinnatus</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Gaillardia pulchella</i> <i>Gomphrena globosa</i> <i>Gypsophila elegans</i> <i>Helichrysum bracteatum</i>	12 g N/m ²	1,0:0,2:1,5:0,12 (1,0:0,45:1,8:0,15)
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i> <i>Cirsium japonicum</i>	15 g N/m ²	1,0:0,2:1,5:0,12 (1,0:0,45:1,8:0,15)
<i>Euphorbia marginata</i> <i>Lathyrus odoratus</i> <i>Zinnia elegans</i> Ziergräser		
<i>Lavatera trimestris</i> <i>Limonium sinuatum</i> <i>Limonium tetragonum</i> <i>Molucella laevis</i> <i>Nigella damascena</i> <i>Rudbeckia hirta</i> <i>Salvia farinacea</i> <i>Scabiosa atropurea</i> <i>Scabiosa stellata</i> <i>Tanacetum parthenium</i> <i>Trachelium caeruleum</i> <i>Trachymene coerulea</i> <i>Xanthophthalmum segetum</i>		
<i>Dianthus barbatus</i> <i>Helianthus annuus</i>		

¹ Es handelt sich hier um Richtlinien. Je nach Kulturführung und System kann der Bedarf ändern.

grund von Normen des optimalen Nährstoffgehalts der Lösungen im Substrat des Wurzelraums gesteuert werden (Tabelle 6).

Es ist notwendig, regelmässig die Nährlösung zu kontrollieren (pH und EC-Wert) und die Schwankungen auszugleichen, um die Nährstoffgaben optimal zu halten. In einem offenen, nicht rezyklierten System sollte sich die Menge des rückfliessenden Dränwasser um die 20 % der zugeführten Wassermenge bewegen, in einem geschlossenen System mit Rezyklierung der Restwassermenge kann sie

höher liegen. Dabei ist meist eine Desinfektion des Restwassers in Betracht zu ziehen. Dies wird hier aber nicht thematisiert.

4. Düngung von Schnittblumen als Bodenkultur

Schnittblumen werden als Bodenkultur im Freiland, unter Plastiktunneln oder im Gewächshaus angebaut (Abbildung 6). Für die Düngung wird wie bei den Topfpflanzen

Tabelle 8 | Stickstoffbedarf von mehrjährigen Freilandschnittstauden. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N (Jentzsch und Thal 2007).

Pflanzenarten, Pflanzengruppen	Stickstoff(N)-Bedarf ¹	Verhältnis N:P:K:Mg (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O:Mg)
<i>Asphodeline</i> <i>Astilbe</i> <i>Bergenia</i> <i>Carlina</i> <i>Centranthus</i> <i>Cimicifuga</i> <i>Convallaria</i> <i>Dicentra spectabilis</i> <i>Doronicum</i> <i>Gladiolus</i> <i>Helleborus</i> <i>Hemerocallis</i>	<i>Leontopodium</i> <i>Lupinus</i> <i>Narcissus</i> <i>Ornithogalum</i> <i>Paeonia</i> <i>Penstemon</i> <i>Primula</i> <i>Pseudolysimachion spicatum</i> <i>Silene chalcedonica</i> <i>Solidaster luteus</i> <i>Thalictrum</i>	8 g N/m ² 1,0:0,2:1,5:0,12 (1,0:0,45:1,8:0,15)
<i>Achillea millefolium</i> <i>Aconitum napellus</i> <i>Alchemilla mollis</i> <i>Alstroemeria</i> <i>Aquilegia</i> <i>Asclepias</i> <i>Asparagus officinalis</i> <i>Aster amellus</i> <i>A. ericoides</i> <i>A. novae-angliae</i> <i>A. novi-belgii</i> <i>A. pringlei</i> <i>Campanula glomerata</i> <i>Centaurea macrocephala</i> <i>Chelone obliqua</i> <i>Chrysanthemum x grandiflorum</i> <i>Coreopsis</i> <i>Cortaderia</i>	<i>Crocsmia</i> <i>Echinacea</i> <i>Eryngium</i> <i>Gentiana «Royal Blue»</i> <i>Goniolimon</i> <i>Gypsophila helenium</i> <i>Heliopsis</i> <i>Hosta</i> <i>Leucanthemum vulgare</i> <i>Liatris</i> <i>Monarda</i> <i>Phlox paniculata</i> <i>Physostegia</i> <i>Pseudolysimachion</i> <i>Scabiosa</i> <i>Sedum</i> <i>Trollius</i>	12 g N/m ² 1,0:0,2:1,5:0,12 (1,0:0,45:1,8:0,15)
<i>Achillea filipendulina</i> <i>Aconitum carmichaelii</i> <i>Astilbe x arendsii</i> <i>Cynara</i> <i>Delphinium</i> <i>Echinops</i> <i>Eremurus</i>	<i>Erigeron</i> <i>Gaillardia</i> <i>Helianthus</i> <i>Iris</i> <i>Ligularia</i> <i>Papaver</i> <i>Rudbeckia nitida</i>	15 g N/m ² 1,0:0,2:1,5:0,12 (1,0:0,45:1,8:0,15)

¹ Es handelt sich hier um Richtlinien. Je nach Kulturführung und System kann der Bedarf ändern. Im Pflanzjahr ist die N-Düngung bei Schnittstauden um etwa 30 % zu reduzieren.

auch bei den Schnittblumen der Stickstoff als Leitnährelement verwendet. In den Tabellen 7 und 8 sind die Düngungsnormen für einjährige Schnittkulturen sowie für mehrjährige Schnittstauden gemäss Jentzsch und Thalk (2007) aufgeführt. Die Stickstoffdüngung kann mittels N_{min}-Analysen optimiert werden.

Die Düngung der Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) wird in bestimmten Verhältnissen zum Leitnährelement Stickstoff verabreicht. Sofern keine spezifische Information zu einzelnen Pflanzen vorliegt, wird aufgrund der Untersuchungen von Jentzsch und Thalk (2007) folgendes Verhältnis N:P:K:Mg = 1:0,2:1,5:0,12 empfohlen. Für die Elemente P, K und Mg ist die Düngungsnorm je nach Versorgungszustand des Bodens weiter zu korrigieren. Die Düngung ist so auszurichten, dass mittelfristig die Bodenanalysen eine genügende Versorgung aufweisen.

Die Düngungsverfahren bei Bodenkulturen können mit organischen oder mineralischen Düngern erfolgen. In der Regel werden zwei Drittel des Nährstoffbedarfes als Start-

dünger zu Kultur- oder Vegetationsbeginn gegeben und die Restmenge später in der Hauptwachstumsphase zugeführt (Wartenberg 2008). Bei hohem Bedarf an Nährstoffen ist vor allem die Stickstoffdüngung in drei Düngungen aufzuteilen, um Verluste zu minimieren. Eine andere Möglichkeit sind Langzeit- oder Depotdünger, die eine einmalige Düngung ermöglichen.

5. Nadel- und Laubgehölze in Freilandbaumschulen

Die Höhe des Entzugs an Nährstoffen bei Nadel- und Laubgehölzen ist vor allem vom Pflanzenwachstum, d. h. von der produzierten Menge an Spross-, Blatt- und Wurzelmasse pro ha abhängig. Für eine regelmässige Nährstoffversorgung ohne Stosswachstum wird mit Vorteil ein Langzeit-Stickstoffdünger eingesetzt.

Wie bei den Topfpflanzen und Schnittblumen als Bodenkultur wird auch bei den Freilandbaumschulen der Stickstoff als Leitnährelement verwendet. Für die Stickstoff-

Tabelle 9 | Stickstoffbedarf von Nadelgehölzen in Freilandbaumschulen pro Jahr. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N¹ (Wegmüller et al. 2012).

Standjahr	Nadelgehölze	
	<i>Picea</i> (Fichten)	<i>Abies</i> (Weisstannen)
	Stickstoffbedarf (kg N/ha)	Stickstoffbedarf (kg N/ha)
1.–2.	15–20	25–40
3.–5.	20–40	40–60
ab 6.	40–60	60–80

¹ N:P:K:Mg = 1,0:0,15:0,6:0,1 oder
N:P₂O₅:K₂O:Mg = 1,0:0,34:0,73:0,1.

Tabelle 10 | Stickstoffbedarf von Laubgehölzen in Freilandbaumschulen pro Jahr. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N¹ (Wegmüller und Gysi 1993; Wegmüller et al. 2012).

Frischsubstanzzuwachs (ohne Blätter)	Laubgehölze ²		
	Stickstoffbedarf (kg N/ha)		
	4–8 t/ha (geringe Pflanzdichte)	6–12 t/ha (mittlere Pflanzdichte)	10–20 t/ha (hohe Pflanzdichte)
1.–2. Standjahr	30–40	40–60	60–80
3.–5. Standjahr	40–60	60–80	80–100
ab 6. Standjahr	60–80	80–120	100–140

¹ N:P:K:Mg = 1,0:0,15:0,6:0,1 oder
N:P₂O₅:K₂O:Mg = 1,0:0,34:0,73:0,1.

² Im Pflanzjahr keinen Stickstoff düngen, aber P-K-Mg-Grundversorgung vornehmen.

Düngung sind die Normen für Nadel- und Laubgehölze in den Tabellen 9 und 10 dargestellt. Die anderen Hauptnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium werden dann in bestimmten Verhältnissen zum Leitnährstoff Stickstoff verabreicht. Dabei wird das folgende Verhältnis N:P:K:Mg = 1:0,15:0,6:0,1 empfohlen (Wegmüller und Gysi 1993). Die P-, K-, Mg-Düngung ist so auszurichten, dass mittelfristig die Bodenanalysen eine genügende Versorgung aufweisen.

6. Literatur

- Carlen C. & Ançay A., 2017. 14/ Düngung von Beerenkulturen. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Ed. W. Richner & S. Sinaj). Agrarforschung Schweiz 8 (6), Spezialpublikation, 14/1–14/12.
- Gysi C., von Allmen F., Heller W., Poffet J. & Wegmüller H.P., 1995. Substratuntersuchung für den Zierpflanzenbau. Flugschrift 113, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein-, und Gartenbau, Wädenswil, 11 S.
- Jentzsch M. & Thalk J., 2007. Produktion von Freiland-schnittblumen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 184 S.
- Pivot D., Gilli C. & Carlen C., 2005. Données de base pour la fumure des cultures de légumes, de fleurs et de fraises sur substrat. Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture 34 (4), 3–8.
- Röber R. & Schacht H., 2008. Pflanzenernährung im Gartenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 444 S.
- Scharpf H.C., 1989. Pflanzenernährung im Zierpflanzenbau – wohin geht die Entwicklung? In: Düngen im Zierpflanzenbau. Lehr und Versuchsanstalt für Gartenbau Hannover Ahlem. Verlag Bernhard Thalacker, Braunschweig, S. 7–16.
- Wartenberg S., 2008. Düngungsrichtlinie Zierpflanzenbau. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 20, 120 S. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden. Zugang: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14187/documents/16743> [27. 12. 2016].
- Wegmüller H.P. & Gysi C., 1993. Düngung in der Freilandbaumschule. Flugschrift 131, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil, 23 S.
- Wegmüller H.P., Heckly C., Oester P. & Frühhaber P., 2012. Das Wichtigste zur Düngung. Hauert HGB Dünger AG (Hrsg.), Gossaffoltern, 7. Auflage, 99. S.

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Düngungsnormen für wichtige Topfpflanzenarten. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N.	16/4
Tabelle 2 Düngungsnormen von Baumschulgehölzen in Containern. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N.	16/5
Tabelle 3 Wasserlösliche Nährstoffe pro Liter Substrat nach der 1 : 1,5-Volumenextraktionsmethode. Die Grundversorgung entspricht dem Erhaltungsniveau während der Kulturzeit.	16/6
Tabelle 4 Salzverträglichkeit und optimale Einstellung des Elektrokonduktivitäts(EC)-Wertes der Nährlösung bei Flüssigdüngung (Nachdüngung oder Bewässerungsdüngung) und Optimalbereich im Substrat für verschiedene Pflanzenarten.	16/6
Tabelle 5 Zusammensetzung der Nährlösungen für Topfpflanzen und Schnittblumen in geschlossenen Systemen (gS) und in offenen Systemen (oS) auf organischen Substraten.	16/6
Tabelle 6 Optimaler Mineralstoffgehalt der Lösung im Substrat des Wurzelraums von Topfpflanzen und Schnittblumen auf Substrat.	16/8
Tabelle 7 Stickstoffbedarf einjähriger Schnittkulturen im Freiland. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N mit Anpassung der Stickstoffdüngung gemäss Erfahrungen in der Schweiz.	16/8
Tabelle 8 Stickstoffbedarf von mehrjährigen Freilandschnittstauden. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N.	16/9
Tabelle 9 Stickstoffbedarf von Nadelgehölzen in Freilandbaumschulen pro Jahr. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N.	16/10
Tabelle 10 Stickstoffbedarf von Laubgehölzen in Freilandbaumschulen pro Jahr. Dabei ist Stickstoff (N) der Leitnährstoff, und die anderen Hauptnährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) entsprechen bestimmten Verhältnissen zu N.	16/10

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Primeln (<i>Primula acaulis</i>) als Topfpflanze.	16/3
Abbildung 2 Ein wichtige Topfpflanze ist der Weihnachtsstern (Poinsettie, <i>Euphorbia pulcherrima</i>).	16/3
Abbildung 3 Callunen (<i>Calluna vulgaris</i>) als Topfpflanze.	16/3
Abbildung 4 Verschlussbares Schüttelgefäss mit Markierungen bei 200 ml und 300 ml zur Bestimmung des pH-Wertes und des EC-Wertes eines Substrates.	16/5
Abbildung 5 Gerbera-Schnittblumenproduktion auf Substrat im Gewächshaus.	16/7
Abbildung 6 Margerite (<i>Leucanthemum vulgare</i>) als Schnittblume im Freiland.	16/7



17/ Anhänge

Walter Richner¹, Regula Wolz² und Sokrat Sinaj³

¹ Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

² Agroscope, 3003 Bern, Schweiz

³ Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: walter.richner@agroscope.admin.ch

Inhalt

Anhang 1 Umrechnungsfaktoren für verschiedene Nährstoffformen	17/3
Anhang 2 Abkürzungsliste	17/5
Anhang 3 Definitionen wichtiger Begriffe	17/6
Anhang 4 Terminologieliste	17/8
Anhang 5 Autorinnen und Autoren	17/13
Anhang 6 Koordinatoren	17/15

Foto auf der Vorderseite: Carole Parodi, Agroscope.

Anhang 1 | Umrechnungsfaktoren für verschiedene Nährstoffformen

Gegeben		Faktor	Gesucht	
Chem. Element bzw. Verbindung	Übliche Bezeichnung		Chem. Element bzw. Verbindung	Übliche Bezeichnung
N	Stickstoff	4,427	NO ₃	Nitrat
N	Stickstoff	1,214	NH ₃	Ammoniak
N	Stickstoff	1,286	NH ₄	Ammonium
N	Stickstoff	2,857	NH ₄ NO ₃	Ammoniumnitrat
N	Stickstoff	4,716	(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammoniumsulfat
N	Stickstoff	2,144	CO(NH ₂) ₂	Harnstoff
NO ₃	Nitrat	0,226	N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak	0,824	N	Stickstoff
NH ₄	Ammonium	0,778	N	Stickstoff
NH ₄ NO ₃	Ammoniumnitrat	0,350	N	Stickstoff
(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammoniumsulfat	0,212	N	Stickstoff
CO(NH ₂) ₂	Harnstoff	0,466	N	Stickstoff
P	Phosphor	2,291	P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid
P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid	0,436	P	Phosphor
K	Kalium	1,205	K ₂ O	Kaliumoxid
K ₂ O	Kaliumoxid	0,830	K	Kalium
Ca	Calcium	2,497	CaCO ₃	Kohlensaurer Kalk
Ca	Calcium	1,399	CaO	Gebrannter Kalk
Ca	Calcium	1,850	Ca(OH) ₂	Gelöschter Kalk
Ca	Calcium	4,297	CaSO ₄ · H ₂ O	Calciumsulfat (Gips)
CaO	Gebrannter Kalk	0,715	Ca	Calcium
CaO	Gebrannter Kalk	1,785	CaCO ₃	Kohlensaurer Kalk
CaO	Gebrannter Kalk	1,321	Ca(OH) ₂	Gelöschter Kalk
Ca(OH) ₂	Gelöschter Kalk	0,540	Ca	Calcium
Ca(OH) ₂	Gelöschter Kalk	0,757	CaO	Gebrannter Kalk
Ca(OH) ₂	Gelöschter Kalk	1,351	CaCO ₃	Kohlensaurer Kalk
CaCO ₃	Kohlensaurer Kalk	0,400	Ca	Calcium
CaCO ₃	Kohlensaurer Kalk	0,561	CaO	Gebrannter Kalk
CaCO ₃	Kohlensaurer Kalk	0,740	Ca(OH) ₂	Gelöschter Kalk
CaSO ₄ · H ₂ O	Calciumsulfat (Gips)	0,233	Ca	Calcium
Mg	Magnesium	1,658	MgO	Magnesiumoxid
Mg	Magnesium	4,951	MgSO ₄	Magnesiumsulfat
Mg	Magnesium	3,472	MgCO ₃	Magnesiumkarbonat
MgO	Magnesiumoxid	0,603	Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid	2,986	MgSO ₄	Magnesiumsulfat
MgO	Magnesiumoxid	2,093	MgCO ₃	Magnesiumkarbonat
MgSO ₄	Magnesiumsulfat	0,202	Mg	Magnesium
MgSO ₄	Magnesiumsulfat	0,335	MgO	Magnesiumoxid
MgSO ₄	Magnesiumsulfat	0,701	MgCO ₃	Magnesiumkarbonat
MgCO ₃	Magnesiumkarbonat	0,288	Mg	Magnesium
MgCO ₃	Magnesiumkarbonat	0,476	MgO	Magnesiumoxid
MgCO ₃	Magnesiumkarbonat	1,427	MgSO ₄	Magnesiumsulfat
S	Schwefel	2,995	SO ₄	Sulfat

SO ₄	Sulfat	0,334	S	Schwefel
B	Bor	5,627	H ₃ BO ₃	Borsäure
B	Bor	8,819	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax
B	Bor	3,220	B ₂ O ₃	Borsäureanhydrid
B ₂ O ₃	Borsäureanhydrid	0,311	B	Bor
B ₂ O ₃	Borsäureanhydrid	1,777	H ₃ BO ₃	Borsäure
B ₂ O ₃	Borsäureanhydrid	2,739	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax
H ₃ BO ₃	Borsäure	0,178	B	Bor
H ₃ BO ₃	Borsäure	1,567	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax
H ₃ BO ₃	Borsäure	0,572	B ₂ O ₃	Borsäureanhydrid
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax	0,113	B	Bor
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax	0,638	H ₃ BO ₃	Borsäure
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	Borax	0,365	B ₂ O ₃	Borsäureanhydrid
Mn	Mangan	4,061	MnSO ₄ · 4 H ₂ O	Mangansulfat
Mn	Mangan	3,603	MnCl ₂ · 4 H ₂ O	Manganchlorid
MnSO ₄ · 4 H ₂ O	Mangansulfat	0,246	Mn	Mangan
MnCl ₂ · 4 H ₂ O	Manganchlorid	0,278	Mn	Mangan
Cu	Kupfer	3,928	CuSO ₄ · 5 H ₂ O	Kupfersulfat
CuSO ₄ · 5 H ₂ O	Kupfersulfat	0,255	Cu	Kupfer
Fe	Eisen	4,979	FeSO ₄ · 7 H ₂ O	Eisensulfat
FeSO ₄ · 7 H ₂ O	Eisensulfat	0,201	Fe	Eisen
Zn	Zink	4,398	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	Zinksulfat
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	Zinksulfat	0,227	Zn	Zink

Anhang 2 | Abkürzungsliste

AAE10	Extraktion mit Ammoniumacetat-EDTA, Verhältnis Boden : Extraktionsmittel 1 : 10	LHP	Legehennenplatz
AGFF	Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues	m	Meter
AHL	Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung	ME	Melkeinheit
Al	Aluminium	Mg	Magnesium
ASL	Ammoniumsulfatlösung	MgCO ₃	Magnesiumkarbonat
B	Bor	MJ	Megajoule
BAFU	Bundesamt für Umwelt	mm	Millimeter
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft	Mn	Mangan
BS	Basensättigung	Mo	Molybdän
C	Kohlenstoff	MPP	Mastpouletplatz
Ca	Calcium	MSP	Mastschweineplatz
Ca(OH) ₂	Calciumhydroxid, gelöschter Kalk, Ätzkalk	MUFA	einfach ungesättigte Fettsäuren (engl. <i>monounsaturated fatty acids</i>)
CaCl ₂	Extraktion mit Calciumchlorid, Verhältnis Boden : Extraktionsmittel 1 : 4 (N _{min}) bzw. 1 : 10 (Mg)	N	Stickstoff
CaCO ₃	Calciumkarbonat, kohlensaurer Kalk, Düngkalk	NH ₃	Ammoniak
CaO	Calciumoxid, gebrannter Kalk	NH ₄ ⁺	Ammonium
Cl	Chlor	N _{lös}	wasserlösliche Stickstoffformen
cm	Zentimeter	N _{min}	Mineralstickstoff
CO ₂	Extraktion mit CO ₂ -gesättigtem Wasser, Verhältnis Boden : Extraktionsmittel 1 : 2,5	NO ₃ ⁻	Nitrat
Cu	Kupfer	N _{tot}	Gesamtstickstoff
CVIS	Inspektoratssystem für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz	N _{verf}	verfügbarer Stickstoff
DNS	Desoxyribonukleinsäure (Träger der Erbinformation)	O	Sauerstoff
dt	Dezitonne	ÖLN	Ökologischer Leistungsnachweis
EC	elektrische Leitfähigkeit (engl. <i>electric conductivity</i>)	OS	organische Substanz
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure	P	Phosphor
Fe	Eisen	P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau	PMI	PUFA-MUFA-Index
FS	Frischsubstanz	ppm	<i>parts per million</i> (Teile pro Million)
g	Gramm	PUFA	mehrfach ungesättigte Fettsäuren (engl. <i>polyunsaturated fatty acids</i>)
GVE	Grossvieheinheit	RP	Rohprotein
H	Wasserstoff	S	Schwefel
H ₂ O10	Wasserextraktion, Verhältnis Boden : Extraktionsmittel 1 : 10	SAIO	Schweizerische Arbeitsgruppe für Integrierte Obstproduktion
ha	Hektare	S _{min}	löslicher Schwefel in Bodenproben
IP	Integrierte Produktion	SO ₃ ²⁻	Sulfit
K	Kalium	SO ₄ ²⁻	Sulfat
K ₂ O	Kaliumoxid	S _{tot}	Gesamtschwefel
KAK	Kationenaustauschkapazität	t	Tonne
kg	Kilogramm	TS	Trockensubstanz
KUK	Kationenumtauschkapazität (früher anstelle des heute geläufigen Begriffs KAK verwendet)	VES	Verdauliche Energie Schwein
l	Liter	Zn	Zink
		ZSP	Zuchtschweineplatz

Anhang 3 | Definitionen wichtiger Begriffe

Begriff	Erläuterung
Alkalischer Boden, alkalische Bodenreaktion	Boden mit pH > 7,2 (gemessen in wässriger Suspension)
Anion	Negativ geladenes Ion
Antagonismus	Eine hohe Konzentration eines oder mehrerer Nährstoffe kann die Aufnahme eines in geringerer Konzentration vorhandenen Nährstoffs durch die Pflanze behindern.
Basensättigung (BS)	Prozentualer Anteil der Austauschplätze gemäss Kationenaustauschkapazität (KAK), die mit den Kationen Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ und Na ⁺ belegt sind
Blattdünger	Dünger, die auf das Blattwerk appliziert werden und deren Nährstoffe passiv durch die Blattoberfläche der Pflanze aufgenommen werden
Bodenmüdigkeit	Wuchs- oder Ertragsminderung, nachdem auf dem gleichen Boden wiederholt die gleiche Kultur angebaut wurde, mit bodenphysikalischen, bodenchemischen, pilz- oder schädlingsbedingten Ursachen
Chelatdünger	pH-stabile Dünger mit neutraler Ladung, deren Nährstoffe über eine längere Zeit pflanzenverfügbar bleiben. Chelatdünger schützen die enthaltenen Nährstoffe, insbesondere Mikronährstoffe, vor Festlegung im Boden und verbessern ihre Aufnahme durch die Pflanze.
Chlorose, chlorotisch	Ein durch Chlorophyllmangel bedingtes Krankheitssymptom (Mangelercheinung) mit charakteristischem Schadbild: Gelbfärbung der Blätter, oft bis zu verbrennungsartigen Blattschädigungen
Ernterückstände	Nach der Ernte einer Kultur auf dem Feld verbleibende Nebenprodukte (Stroh, Kartoffelstauden, Rübenblätter usw.)
Fertigation	Ausbringen von flüssigen oder wasserlöslichen Düngern durch ein Bewässerungssystem
Frischmist	Mist, der weniger als einen Monat gelagert wurde
Gesamtstickstoff (N _{tot})	Gesamt-N, unabhängig von der Form
Gülle kotarm	Enthält den grössten Teil des Harns und wechselnde Mengen an Kot (je nach Aufstallungssystem und Einstreumengen)
Hennenkot	Enthält die gesamten Ausscheidungen von Geflügel aus Kotband-Aufstallungssystemen
Hennenmist, Pouletmist, Trutenmist	Enthält nebst der Einstreu die gesamten Ausscheidungen von Geflügel
Humus	Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz
Ion	Elektrisch geladenes Atom oder Molekül. Man unterscheidet negativ geladene Ionen (Anionen) und positiv geladene Ionen (Kationen).
Kälber-, Schweine-, Pferde-, Schaf- und Ziegenmist	Mist, der mehr als drei Monate ohne spezielle Pflege ausserhalb des Stalls auf einem befestigten Platz gelagert wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials noch klar ersichtlich. Enthält nebst der Einstreu den gesamten Kot- und einen unterschiedlichen Teil des Harnanfalls.
Kalkung	Ausbringung von Kalkdüngern, um die Säuren im Boden zu neutralisieren und damit einer Bodenversauerung entgegenzuwirken
Kation	Positiv geladenes Ion
Kationenaustauschkapazität (KAK)	Menge an Kationen, die ein Boden an seinem Austauscherkomplex bei einem bestimmten pH-Wert (je nach Analyseverfahren) binden kann. Die KAK ist somit ein Mass für die Speicherkapazität für Nährstoffe (Kationen) eines Bodens. Je mehr Ton und je mehr organische Substanz ein Boden enthält, desto grösser ist in der Regel seine KAK.
Körnung	Partikelgrössenverteilung im Boden (Ton, Schluff und Sand), kann analytisch oder mittels Fühlprobe bestimmt werden
Korrekturfaktor	Faktor zur Anpassung der Normdüngung an nicht optimale Nährstoffverhältnisse des Bodens, des Standortes oder der Kultur
Laufstallmist	Mist aus Tiefstreulaufställen. Enthält nebst der Einstreu den gesamten Kot- und Harnanfall
Makronährstoffe	Lebensnotwendige (essenzielle) Nährstoffe, die von Pflanzen in grösseren Mengen benötigt werden. Dazu gehören N, P, K, Mg, Ca und S.
Mangelercheinung	Äusserlich sichtbarer oder unsichtbarer, akuter oder latenter Mangel eines Nährstoffes. Sichtbare Mangelercheinungen bilden für jede Pflanze typische Mangelsymptome aus.
Mikronährstoffe (Spurenelemente)	Lebensnotwendige (essenzielle) Nährstoffe, die von Pflanzen in geringeren Mengen benötigt werden. Dazu gehören Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo und – je nach Autoren – weitere Nährstoffe.
Mineralstickstoffgehalt (N _{min})	Summe des Nitrat- und Ammoniumgehalts

Mistkompost	Mist, der mehr als sechs Monate gelagert und mehrmals umgesetzt wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials nicht mehr erkennbar. Farbe: dunkelbraun. Ausgangsmaterial: Frisch- oder Laufstallmist aus der Rindviehhaltung, Mist anderer Tierarten
Nährstoffentzug	Aufgenommene Nährstoffmenge in Haupt- und Nebenprodukten (ohne unvermeidbare Ernteverluste, Stoppeln und Wurzeln) einer Kultur
Nährstoffrichtwerte Hofdünger	Die Werte wurden grösstenteils mit Hilfe von Fütterungsplänen (je nach Tierart mit mehreren Rationen) berechnet. Teilweise wurden auch Hofdüngerelementanalysen aus Praxisbetrieben verwendet. Im Einzelfall können in Abhängigkeit von Fütterung und Aufstallungssystem grössere Abweichungen von den Richtwerten auftreten.
Nährstoffwegfuhr, -abfuhr	Weggeführte Nährstoffmenge, die in den vom Feld abgeführten Haupt- und Nebenprodukten einer Kultur enthalten ist
Nekrosen, nekrotisch	Absterben von Blattgewebe, z. B. als Folge eines Nährstoffmangels, mit charakteristischem Schadbild
Neutraler Boden, neutrale Bodenreaktion	Boden mit pH 6,8–7,2 (gemessen in wässriger Suspension)
Normdüngung (P, K, Mg)	Bedarf einer Kultur an P, K oder Mg zur Erzielung des schweizerischen Referenzertrags mit einwandfreier Qualität bei genügender Nährstoffversorgung des Bodens. Die Düngungsnorm für diese Nährstoffe wird von ihrem Entzug durch die Pflanze, korrigiert gemäss dem Nährstoffaneignungsvermögen der Kultur, abgeleitet.
Normdüngung (N)	N-Bedarf einer Kultur unter durchschnittlichen Boden- und Witterungsbedingungen zur Erzielung des schweizerischen Referenzertrags mit einwandfreier Qualität
Organische Substanz	Gesamtheit der Bodenbestandteile, die von pflanzlichen und tierischen Organismen stammen
Phosphat (Orthophosphat)	Phosphat kommt in wässriger Lösung in drei Anionenformen vor: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} und H_2PO_4^- ; ihre Anteile sind pH-abhängig. Bei typischen pH-Werten in der Bodenlösung liegen HPO_4^{2-} und H_2PO_4^- vor. Pflanzen nehmen Phosphat in diesen beiden Formen auf.
Physiologische Störung	Schwächung oder Krankheit einer Pflanze, die auf eine Fehl- oder Mangelernährung zurückzuführen ist und nicht durch einen Schaderreger (Vögel, Nager, Insekten, Pilze, Bakterien, Viren) verursacht wird: im Obstbau z. B. Stippe, Kernhausfäule, Glasigkeit, Fleischbräune
Rottemist	Mist, der mehr als drei Monate gelagert und mindestens einmal umgesetzt wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials schwach ersichtlich. Farbe: braun. Ausgangsmaterial: Frisch- oder Laufstallmist aus Rindviehhaltung, Mist anderer Tierarten
Saurer Boden, saure Bodenreaktion	Boden mit pH < 6,8 (gemessen in wässriger Suspension)
Stapelmist	Mist, der mehr als drei Monate ohne spezielle Pflege ausserhalb des Stalls auf einem befestigten Platz gelagert wurde. Struktur des Strohs/Einstreumaterials noch klar ersichtlich. Farbe: dunkelbraun bis grünlich. Ausgangsmaterial: Frischmist aus der Rindviehhaltung
Stickstoffausnutzung, scheinbare	Prozentualer Anteil des gedüngten Stickstoffs, der in der erntbaren Pflanzenmasse enthalten ist. Er wird auf Basis von Versuchen, die Verfahren mit und ohne N-Düngung beinhalten, ermittelt: $\text{Scheinbare N-Ausnutzung (\%)} = (\text{N-Entzug}_{\text{gedüngt}} - \text{N-Entzug}_{\text{ungedüngt}}) / \text{totale N-Menge}_{\text{gedüngt}} \times 100$.
Stickstoffwirkung	Wirkung des N von Hof- oder Recyclingdüngern auf Ertrag und/oder Qualität der Pflanzen. Die Angabe erfolgt in Prozenten der Wirkung einer gleichen N-Menge in Form eines mineralischen Vergleichsdüngers (Mineraldüngeräquivalent), meistens Ammonsalpeter. Bei Kulturen, die nicht während einer vollständigen Vegetationsperiode wachsen (z. B. Getreide, Kartoffeln), sowie bei nicht optimaler Hofdüngereconomie ist als Folge erhöhter N-Verluste die N-Wirkung oft geringer.
Verfügbarer Phosphor (P_{verf})	Gesamte P-Menge des Bodens, die während der Wachstumsphase einer Kultur in Form von Orthophosphat-Anionen in die Bodenlösung übergeht
Verfügbarer Stickstoff (N_{verf})	Prozentualer Anteil des anfallenden Gesamt-N in Ernterückständen, Hof-, Recycling- und Gründüngern, der bei optimaler Wirtschaftsweise kurz- und mittelfristig für die Pflanzen verfügbar ist bzw. verfügbar wird. Diese Grösse ist nicht identisch mit dem ertragswirksamen N, da ein Teil des organischen N auch ausserhalb der Ertragsbildungsphasen verfügbar wird und zu erwünschten (z. B. bei Getreide) oder zu unerwünschten (z. B. bei Zuckerrüben, Blattgemüse) Zunahmen der N-Gehalte in den Ernteprodukten (Haupt- und/oder Nebenprodukte) oder insbesondere im Ackerbau und Feldgemüsebau auch zu erhöhter Nitratauswaschung führen kann.
Vollgülle, Schweinegülle	Gülle, welche die gesamten Ausscheidungen der Tiere und eventuelle Einstreumaterialien (Strohhäcksel, Sägemehl, Späne usw.) enthält
Wasserlöslicher Stickstoff ($N_{\text{lös}}$)	Wasserlösliche N-Formen (Ammonium, Harnstoff u. a.) in Ausscheidungen der Nutztiere und in Hofdüngern

Anhang 4 | Terminologieliste

Die Terminologieliste ist im Rahmen der Übersetzungsarbeiten für die GRUD 2017 entstanden. Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Begriffe wird keine Garantie übernommen.

Weitergehende spezifische Fachbegriffe enthält das Agroscope-Fachwörterbuch: www.agroterm.ch

D	F	I
Abfalldünger	engrais de recyclage	concime ottenuto dal riciclaggio
Abschwemmung	ruissellement	ruscellamento
Ammoniakemissionen (NH ₃)	émissions d'ammoniac (NH ₃)	emissioni d'ammoniaca (NH ₃)
Ammoniakverflüchtigung (NH ₃)	volatilisation d'ammoniac (NH ₃)	volatilizzazione dell'ammoniaca (NH ₃)
Ammoniumstickstoff	azote ammoniacal	azoto ammoniacale
Ammonsalpeter	nitrate d'ammonium	nitrate ammonico
Anbaueignung des Bodens	aptitudes culturales du sol	idoneità del suolo per la coltura prevista
Anfall der Hofdünger	production d'engrais de ferme	produzione di concimi aziendali
Anforderungskatalog	cahier des exigences	lista delle esigenze
Anwendungshinweis	indication pour l'application	prescrizioni d'utilizzazione
Aufdüngung	fertilisation de complément	concimazione integrativa
Aufkalkung	chaulage de correction	calcitazione di correzione
Aufstallungssystem	système de stabulation	sistema di stabulazione
Aufwandmenge	dosage	dosaggio
Aufwuchs, Schnitt, Futteraufwuchs	coupe, cycle d'utilisation	sfalcio, ricrescita
Ägstlen	semis d'août de prairies temporaires	semina estiva di prati temporanei
Ausbringsystem	système d'épandage	sistema di distribuzione
Ausbringtechnik	technique d'épandage	tecnica di distribuzione
Ausbringung von Hofdüngern	épandage des engrais de ferme	distribuzione di concimi aziendali
Auslegerstreuer	épandeur à rampe	spandiconcime a caduta
ausreichend (Versorgungsstufe C)	satisfaisant (niveau de fertilité C)	sufficiente (classe di fertilità C)
Auswaschung	lessivage, lixiviation	dilavamento
Basensättigung	saturation	tasso di saturazione in basi (SB)
Bedarf	besoins	fabbisogno
Begrünung	couverts végétaux	copertura vegetale
Beinigkeit (Karotten)	fourchure (des carottes)	biforcute (carote)
Belastung (Umwelt-)	pollution (de l'environnement)	inquinamento (dell'ambiente)
Bestockung	tallage	accestimento
Betriebsmittelliste	liste des intrants	lista dei mezzi di produzione autorizzati
Bewirtschaftung	exploitation (mode d')	gestione
Bewirtschaftungsintensität	intensité d'utilisation/d'exploitation	intensità di gestione
Bilanzrechnungen	calculs de bilans	calcolo dei bilanci
biologischer Landbau	agriculture biologique	agricoltura biologica
Bittersalz	sulfate de magnésium	solfato di magnesio
Blattuntersuchung, Blattanalyse	analyse foliaire	analisi fogliare
Blattwirkung	effet foliaire	effetto fogliare, effetto sulle foglie
Blaufleckigkeit	tâches blombées	maculatura nera
Bodenart	type de sol	tipo di suolo
Bodenbearbeitbarkeit	réaction au travail du sol	lavorabilità del suolo
Bodenbestandteile	composants du sol	componenti del suolo
bodenbürtig	lié au sol	tellurico
Bodenschicht	horizon (couche de sol)	orizzonte pedologico
Bodenschwund	perte de sol	perdite di suolo
Bodenstruktur	structure du sol	struttura del suolo
Bodensubstanz, organische	matière organique du sol	sostanza organica del suolo
Bodentextur	texture du sol	tessitura del suolo
Bodenuntersuchungen	analyses du sol	analisi del suolo
Bodenverdichtung	tassement, compactage	compattamento del suolo
Branntkalk	chaux vive	calce viva
Breitverteilung	distribution large	dispersione nell'aria
Chelatdünger	engrais à base d'éléments chélatés	concime contenente chelati
Dammaufbau (Häufeln)	buttage	rincalzatura

Dezitonne (dt)	quintal, décitonne (dt)	quintale (q)
Düngergabe	apport d'engrais	distribuzione di concime, apporto di concime
Düngermenge	dose d'engrais	quantità di concime
Düngung	fertilisation	concimazione
Düngungsempfehlungen	recommandations de fertilisation	concimazione raccomandata
Düngungskonzept	concept de fertilisation	concetto di concimazione
Düngungsnormen	normes de fumure, normes de fertilisation	norma di concimazione
Düngungsplan	plan de fumure	piano di concimazione
Durchlüftung	aération	aerazione (del suolo)
Durchwurzelbarkeit	pénétration des racines	penetrazione delle radici
Einzelgaben	épandage fractionnés	distribuzione unica, apporto unico
Einzelnährstoffdünger	engrais simples	concime semplice
Entwicklungsstadium	stade de développement	stadio di sviluppo
Entzug	prélèvement	prelievo
Erhaltungskalkung	chaulage d'entretien	calcitazione di mantenimento
Ernährungsindex, Versorgungsindex	indice de nutrition (IN)	indice di nutrizione IN
Ernährungszustand	statut nutritionnel	stato nutrizionale
Ernterückstände	résidus de récolte	residui colturali
Ertrag, verzehrter	rendement ingéré	quantità di foraggio consumata dal bestiame
Ertragserwartung	rendement attendu	aspettativa di resa
Ertragsziel	objectif de rendement	obiettivo di resa
Feldobstbau (-anlage)	verger haute tige	frutteto ad alto fusto
Feldverluste	pertes au champ	perdite di foraggio in campo
Fertigation	fertigation (irrigation fertilisante)	fertirrigazione
Feststoffvergärung	fermentation de produits solides	fermentazione di sostanze solide
Feuchtkalk	chaux humide	calce umidificata
Fruchtfolge	assolement, rotation des cultures	rotazione colturale
Futter	fouirage	foraggio
Futteraufnahmefähigkeit (der Tiere)	capacité d'ingestion	capacità d'assimilazione (bestiame)
Futterbilanz	bilan fourrager	bilancio foraggero
Futtermation	ration fourragère	razione foraggera
Fütterungsplan	plan d'affouragement	piano di foraggiamento
Gabe	apport	apporto
Gärgut, festes	digestats solides	digestati solidi
Gärgut, flüssiges	digestats liquides	digestati liquidi
Gefügebildung	formation d'agrégats	formazione di aggregati
Gehaltsindex	indice de nutrition	indice di nutrizione (IN)
genügend (Versorgungsstufe)	satisfaisant (niveau de fertilité)	sufficiente (classe di fertilità C)
Gräser	graminées	graminacee
Grasland, Wiesland	herbages	superfici prative
Graslandbetriebe	exploitations herbagères	aziende a vocazione foraggera
Grunddüngung	fertilisation de fond, fumure de fond	concimazione di base
Gründigkeit	profondeur utile	profondità fisiologica (del suolo), volume di suolo utilizzabile dalle radici
Gründigkeit, pflanzennutzbare	profondeur utile du sol	profondità utile del suolo, volume di suolo utilizzabile dalle radici
Gründüngung	engrais verts	sovescio
Güllebelüftung	aération du lisier/purin	aerazione dei liquami
Gülledrill	enfouissement du lisier	incorporazione del liquame nel suolo
Gülleschlitzgeräte	enfouisseur à lisier	tubi semirigidi con assolcatore per incorporare o iniettare liquami nel suolo
Gülleverschlachtung	purinage par tuyaux	tubo di alimentazione flessibile per la distribuzione dei liquami
Hauptnutzungsjahr	année principale d'utilisation	anno di sfruttamento principale
Heuwiese	prairie à faner	prato da fieno
Hofdünger	engrais de ferme	concimi aziendali
Hofdüngergaben	épandage des engrais de ferme	distribuzione di concimi aziendali
Hofdüngeraufbereitung	traitement des engrais de ferme	preparazione dei concimi aziendali

Humusgehalt	teneur en humus	tenore in humus
Immobilisierung von Nährstoffen	immobilisation des éléments nutritifs	immobilizzazione degli elementi nutritivi
Kaliumdüngung	fertilisation potassique	concimazione potassica
Kaliumgehalt	teneur en potassium	tenore in potassio
Kaliumgehaltsindex	indice de nutrition potassique	indice di nutrizione K
Kalkanteil	teneur en chaux	tenore in calcare
Kalkdünger	amendements calciques	ammendanti calcarei
Kalkgehalt	état calcique du sol	tenore in CaCO ₃ del suolo
Kalkung	chaulage	calcitazione, ammendamento calcareo
Kalkverträglichkeit	tolérance à la chaux	tolleranza al calcare
Kalkwirkung	effet calcaire	effetto del calcare
Kationenaustauschkapazität (KAK)	capacité d'échange de cations (CEC)	capacità di scambio cationico (CSC)
Knöllchenbakterien	bactéries des nodosités	batteri dei noduli radicali (delle leguminose)
Konzentration, kritische	concentration critique	concentrazione critica
Kopfdüngung	fertilisation de couverture, fumure de couverture	concimazione di copertura
Körnerleguminosen	légumineuses à grains	leguminose da granella
Kornertrag	rendement en grains	resa in granella
Kornertragspotenzial	potentiel de rendement en grain	resa potenziale in granella
Körnung	granulométrie	granulometria
Korrekturfaktor	facteur de correction	fattore di correzione
Kräuter	autres plantes	«altre erbe»
krümelig (Boden)	friable (sol)	friabile (suolo)
Kunstwiesen	herbages temporaires, prairies temporaires	prati temporanei
Kurzrasenweiden	pâtûre continue sur gazon court	pascolo continuo a cotico basso
Lagerungsverluste	pertes de conservation	perdite di conservazione
Laufstallmist	fumier de stabulation libre	letame di stabulazione libera
Lebendgewicht	poids vif	peso vivo
Leerzeit	durée de vide sanitaire	vuoto sanitario
Löschkalk	chaux éteinte	calce spenta
Luxuskonsum	consommation de luxe	consumo di lusso
Mähweide (gelegentlich beweidete Wiese)	prairie de fauche-pâtûre	prato-pascolo
Mähwiese	prairie de fauche	prato da sfalcio
Mangel, akuter	carence aigüe	carencia acuta
Mangel, latenter	carence latente (déficiency)	carencia latente (deficienza)
Mangelercheinung	symptôme de carence	sintomo di carencia
Material, organisches	matière organique	sostanza organica
Meeralgenkalk	chaux d'algues marines	calcare d'alghe marine
Mehrnährstoffdünger	engrais composés	concime composto
Methode der prognostizierten Bilanz	méthode du bilan prévisionnel	metodo del bilancio previsionale
Mikronährstoffe (Spurenelemente)	micro-éléments	microelementi, oligoelementi
Mineraldünger	engrais minéraux	concime minerale
Mischkultur	couvert associé	consociazione
Mistausbringung	épandage du fumier	distribuzione di letame
Miststreuer	épandeur à fumier	spandiletame
Muldenstreuer	épandeur monocoque	spandiletame monoscocca ribassato
Nachwirkung	arrière-effet	effetto residuo
Nährstoff	élément nutritif	elemento nutritivo
Nährstoffaneignungsvermögen	capacité d'absorption	capacità d'assorbimento
Nährstoffangebot	disponibilité en éléments nutritifs	disponibilità in elementi nutritivi
Nährstoffausscheidungen	éléments nutritifs excrétés ou déjections	elementi nutritivi escreti dal bestiame
Nährstoffbedarf	besoins nutritionnels	fabbisogno in elementi nutritivi
Nährstoffbilanz	bilan des éléments nutritifs	bilancio degli elementi nutritivi
Nährstoffentzug/-entzüge	prélèvements en éléments nutritifs	prelievo di elementi nutritivi
Nährstoffflüsse	flux d'éléments nutritifs	flussi di elementi nutritivi
Nährstoffgehalt	teneur en éléments nutritifs	tenore in elementi nutritivi
Nährstoffkreislauf	cycle des éléments nutritifs	ciclo degli elementi nutritivi

Nährstoffrücklieferung bei der Beweidung	restitutions au pâturage	restituzioni durante il pascolo
Nährstoffspeicherkapazität	capacité de stockage en éléments nutritifs	capacità di ritenzione degli elementi nutritivi
Nährstoffversorgung	état de nutrition	approvvigionamento in elementi nutritivi
Nährstoffversorgung des Bodens	état d'approvisionnement du sol	approvvigionamento in elementi nutritivi
Nährstoffversorgungsstufe des Bodens	niveau de fertilité du sol	stato nutrizionale del suolo
Nährstoffflussberechnungen	calculs des flux d'éléments nutritifs	calcolo dei flussi di elementi nutritivi
Naturwiesen	herbages permanents	superfici prative permanenti
N-Ernährung der Pflanzen	approvisionnement des plantes en N	approvvigionamento delle piante in N
N-Überdüngung	surfertilisation en N	sovracoconcimazione azotata
N-Verfügbarkeit	disponibilité de l'azote	disponibilità d'azoto
N-Verlust	perte d'azote	perdita d'azoto
Nettonährstoffbedarf	besoins nets en éléments nutritifs	fabbisogno netto in elementi nutritivi
Nutzungen, übliche Anzahl	nombre standard d'utilisations	numero di sfruttamenti standard
Nutzungsart	mode d'utilisation	tipo di sfruttamento
Nutzungsintensität	intensité d'utilisation	intensità di sfruttamento
Oberflächenabfluss	écoulement des eaux de surface	ruscellamento
Obstanlage	verger	frutteto
ÖLN (ökologischer Leistungsnachweis)	PER (prestations écologiques requises)	PER (prova che le esigenze ecologiche sono rispettate)
Pendelrohrstreuer	épandeur à tube oscillant	spandiconcime centrifugo a tubo oscillante
Pendelverteiler	épandeur pendulaire	distributore oscillante
Pflanzengemeinschaft	communauté de plantes	associazione vegetale
Pflanzenverfügbarkeit	disponibilité pour les plantes	disponibilità per le piante
Pflanzung (Kartoffeln)	plantation (pommes de terre)	piantagione (patate)
Phosphor- und Kaliumversorgungsindizes	indices de nutrition phosphatée et potassique	indici di nutrizione P e K
Phosphordüngung	fertilisation phosphatée	concimazione fosfatica
Phosphorgehalt	teneur en phosphore	tenore in fosforo
Phosphorgehaltsindex	indice de nutrition phosphatée	indice di nutrizione P
Phasenfütterung	affouragement par phases	foraggiamento a fasi
Phytotoxizität	phytotoxicité	fitotossicità
Pneumatikstreuer	épandeur pneumatique	spandiconcime a caduta pneumatico
Prallteller	défecteur	deflettore a piattello
Proben(ent)nahme	échantillonnage, prélèvement d'échantillon(s)	campionamento (del suolo)
Pufferwirkung	pouvoir/effet tampon	effetto tampone
Recyclingdünger	engrais de recyclage	concime ottenuto dal riciclaggio
Richtwerte	valeurs indicatives	valori di riferimento
Rohprotein (RP)	matière azotée (MA)	proteina grezza (PG)
Rücklieferung (Nährstoffrücklieferung)	restitutions	restituzioni di sostanze nutritive
Rückständedünger	engrais à base de résidus de récolte	concime a base di residui colturali
Sanierungsmassnahmen	mesures d'assainissement	misure di risanamento
Scheibenstreuer	épandeur à disque	spandiconcime centrifugo a dischi
Schlagempfindlichkeit	résistance aux chocs	resistenza agli urti
Schleppschlauchverteiler	rampe d'épandage à tuyaux souples (pendilards)	tubi flessibili a strascico (barra/liquame)
Schleppschuhverteiler	rampe d'épandage à socs	tubi semirigidi con assolcatore terminale (barra/liquame)
Schleuderstreuer	épandeur centrifuge	spandiconcime centrifugo
Schneckenstreuer	épandeur à vis	spandiconcime a caduta a coclea
Schwarzfleckigkeit	noircissement interne	cuore nero
Schwefelbedarf	besoins en soufre	fabbisogno in zolfo
Schwefelmangel	carence en soufre	carezza di zolfo
Schwefelversorgung	nutrition soufrée	nutrizione sulfurea
Schweizerische Arbeitsgruppe für Integrierte Obstproduktion (SAIO)	Groupe de Travail pour la Production fruitière Intégrée (GTPI)	Gruppo di lavoro svizzero per la produzione integrata in frutticoltura (GLPI)
Schweizerische Konferenz der Obstfachstellen (SKOF)	Conférence suisse des stations d'arboriculture	Conferenza svizzera delle stazioni d'arboricoltura
Schwellenwerte	valeurs seuils	valori soglia
Schwenkdüsen	buses pivotantes	ugello orientabile

Seitenstreuer	épandeur latéral	spandiletame a distribuzione laterale
Skelettgehalt	part de squelette	scheletro
Spurenelemente (Mikronährstoffe)	éléments mineurs, micro-éléments	microelementi, oligoelementi
Stallmist	fumier de stabulation	letame
Standort	site	sito
Standorteigenschaften	caractérisation du site	caratterizzazione del sito
Stapelmist	fumier au tas	letame di mucchio
Stärkegehalt	teneur en amidon	tenore in amido
Steinanteil	pierrosité	percentuale di pietre e ghiaia, scheletro
Stickstoffausnutzung, scheinbare	coefficient apparent d'utilisation de l'azote (CAU)	coefficiente di utilizzazione apparente dell'azoto (CUA)
Stickstoffdünger, mineralische	engrais minéraux azotés	concime minerale azotato
Stickstoffdüngung	fertilisation azotée	concimazione azotata
Stickstofffixierung	fixation d'azote	fissazione simbiotica dell'azoto
Stickstofffixierung, symbiotische	fixation symbiotique de l'azote	fissazione simbiotica dell'azoto
Stickstoffgehalt	teneur azotée, teneur en azote	tenore in azoto
Stickstoffnachlieferung	arrière-effet azoté	effetto residuo dell'azoto
Stickstoffverfügbarkeit	disponibilité de l'azote	disponibilità di azoto
Strukturstabilität	stabilité de la structure	stabilità della struttura (suolo)
Tellerstreuer	épandeur à disques	spandiletame a piattelli
Tierplatz	place d'animal	posta
Tierverkehrsdatenbank (TDV)	Banque de données sur le trafic des animaux (BDTA)	Banca dati sul traffico di animali (BDTA)
Tongehalt	teneur en argile	tenore in argilla
Tonverlagerung	migration en argile	migrazione dell'argilla
Trockensubstanz (TS)	matière sèche (MS)	sostanza secca (SS)
Trockensubstanzgehalt	teneur en matière sèche	tenore in sostanza secca
Überdüngung	surfertilisation	sovracoimazione
Umbruch (einer Kunstwiese)	rompue (d'une prairie)	dissodamento (di una superficie prativa)
Umtrieb	rotation	rotazione (pascolo)
Universalstreuer	épandeur universel	spandiletame polivalente
Vegetationsbeginn	début/reprise de la végétation	risveglio vegetativo
Vegetationstyp	type de végétation	composizione botanica
Verdichtungsanfälligkeit	sensibilité au tassement	sensibilità al compattamento (suolo)
Verlagerung	lessivage	dilavamento
Versickerung	lixiviation, percolation	percolazione
Versorgungsindex	indice de nutrition	indice di nutrizione
Versorgungsstufe	classe de fertilité, fertilité/richeesse du sol	classe di fertilità
Versorgungsstufe	niveau d'approvisionnement	livello (grado) d'approvvigionamento
Verteilssystem	système de distribution	sistema di distribuzione
Verwitterung, chemische	altération chimique	alterazione chimica
Verzehr, täglicher	ingestion journalière	consumo giornaliero di foraggio (bestiame)
Verzichtsgrenzen	seuils de renoncement	soglia di rinuncia
Wasserdurchlässigkeit	perméabilité à l'eau	permeabilità (del suolo)
Wasserextrakt	extrait à l'eau	estratto all'acqua
Wasserführung	perméabilité à l'eau	permeabilità all'acqua
Wasserspeicherung	capacité hydrique	ritenzione idrica (suolo)
Weide	pâturage	pascolo
Weidenutzung	pâturage	pascolo
Weidenutzung, einzelne	cycle de pâture	turno (pascolo)
Weidesaison	saison de pâture	stagione di pascolo
Wert, kritischer	valeur critique	valore critico
Wiese	prairie	prato
Wirkungsgeschwindigkeit	rapidité d'action	rapidità d'azione
Wurzelausscheidungen	exsudats racinaires	essudati radicali
Zusammensetzung, botanische	composition botanique	composizione botanica
Zwischenfrucht, Zwischenkultur	culture dérobée, culture intermédiaire, interculture	coltura intercalare

Anhang 5 | Autorinnen und Autoren

Ançay André
Agroscope
Route des Eterpys 18, 1964 Conthey, Schweiz
Telefon +41 (0)58 481 35 50
andre.ancay@agroscope.admin.ch

Anken Thomas
Agroscope
Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz
Telefon +41 (0)58 480 33 52
thomas.anken@agroscope.admin.ch

Baux Alice
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 47 22
alice.baux@agroscope.admin.ch

Blanchet Guillaume
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 46 58

Bretscher Daniel
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 75 20
daniel.bretscher@agroscope.admin.ch

Cadot Selma
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 50 07
selma.cadot@agroscope.admin.ch

Carlen Christoph
Agroscope
Route des Eterpys 18, 1964 Conthey, Schweiz
Telefon +41 (0)58 481 35 13
christoph.carlen@agroscope.admin.ch

Carron Claude-Alain
Agroscope
Route des Eterpys 18, 1964 Conthey, Schweiz
Telefon +41 (0)58 481 35 39
claude-alain.carron@agroscope.admin.ch

Charles Raphaël
Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL
Avenue des Jordils 3, PF 1080, 1001 Lausanne, Schweiz
Telefon +41 (0)21 619 44 77
raphael.charles@fibl.org

Dupuis Brice
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 47 48
brice.dupuis@agroscope.admin.ch

Eicher Othmar
Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg, Obstbau
Liebegg 1, 5722 Gränichen, Schweiz
Telefon +41 (0)62 855 86 39
othmar.eicher@ag.ch

Flisch René
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 73 23
rene.flisch@agroscope.admin.ch

Gilli Céline
Agroscope
Route des Eterpys 18, 1964 Conthey, Schweiz
Telefon +41 (0)58 481 35 19
celine.gilli@agroscope.admin.ch

Hiltbrunner Jürg
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 73 57
juerg.hiltbrunner@agroscope.admin.ch

Huguenin-Elie Olivier
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 72 42
olivier.huguenin@agroscope.admin.ch

Jeangros Bernard
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 47 38
bernard.jeangros@agroscope.admin.ch

Kessler Willy
Agroscope
Schloss 1, Postfach, 8820 Wädenswil, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 72 76
willy.kessler@agroscope.admin.ch

Krauss Jürgen
Agroscope
Schloss 1, Postfach, 8820 Wädenswil, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 62 84
juergen.krauss@agroscope.admin.ch

Kuster Thomas
Agroscope
Schloss 1, Postfach, 8820 Wädenswil, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 62 43
thomas.kuster@agroscope.admin.ch

Latsch Annett
Agroscope
Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz
Telefon +41 (0)58 480 33 31
annett.latsch@agroscope.admin.ch

Leumann Lucie
Ökohum GmbH
Tobelbachstrasse 8, 8585 Herrenhof, Schweiz
Telefon +41 (0)71 680 00 70
leumann@oekohum.ch

Levy Lilia
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 47 18
lilia.levi@agroscope.admin.ch

Lüscher Andreas
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 72 73
andreas.luescher@agroscope.admin.ch

Mayer Jochen
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 72 14
jochen.mayer@agroscope.admin.ch

Menzi Harald
Agroscope
Rte de la Tioleyre 4, Postfach 64, 1725 Posieux, Schweiz
Telefon +41 (0)58 467 54 80
harald.menzi@agroscope.admin.ch

Mosimann Eric
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 47 36
eric.mosimann@agroscope.admin.ch

Müller Urs
BBZ Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg
Arenenberg 1, 8268 Salenstein, Schweiz
Telefon +41 (0)71 663 33 04
urs.mueller@tg.ch

Neuweiler Reto
Agroscope
Schloss 1, Postfach, 8820 Wädenswil, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 64 53
reto.neuweiler@agroscope.admin.ch

Oberholzer Hansrudolf
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 72 97
hansrudolf.oberholzer@agroscope.admin.ch

Pellet Didier
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 47 16
didier.pellet@agroscope.admin.ch

Poffet Josef
JardinSuisse
Bahnhofstrasse 94, 5000 Aarau, Schweiz
Telefon +41 (0)44 388 53 36
j.poffet@jardinsuisse.ch

Poulet Jeanne
Union fruitière lémanique
Avenue de Marcelin 2, 1110 Morges, Schweiz
Telefon +41 (0)21 802 28 42
info@ufl.ch

Prasuhn Volker
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 71 45
volker.prasuhn@agroscope.admin.ch

Richner Walter
Agroscope
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 71 65
walter.richner@agroscope.admin.ch

Rutishauser Reto
Ökohum GmbH
Tobelbachstrasse 8, 8585 Herrenhof, Schweiz
Telefon +41 (0)71 680 00 70
rutishauser@oekohum.ch

Sauter Joachim
Rüttihubelstrasse 561, 3077 Enggistein, Schweiz
gerd-joachim.sauter@bluewin.ch

Schlegel Patrick
Agroscope
Rte de la Tioleyre 4, Postfach 64, 1725 Posieux, Schweiz
Telefon +41 (0)58 466 72 75
patrick.schlegel@agroscope.admin.ch

Sinaj Sokrat
Agroscope
Route de Duillier 50, Postfach 1012, 1260 Nyon 1, Schweiz
Telefon +41 (0)58 460 46 58
sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch

Spring Jean-Laurent
Agroscope
Centre de recherche de Pully
Avenue Rochettaz 21, 1009 Pully, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 65 63
jean-laurent.spring@agroscope.admin.ch

Verdenal Thibaut
Agroscope
Centre de recherche de Pully
Avenue Rochettaz 21, 1009 Pully, Schweiz
Telefon +41 (0)58 468 65 61
thibaut.verdenal@agroscope.admin.ch

Wegmüller Hans Peter
Hauert HBG Dünger AG
Dorfstrasse 12, 3257 Grossaffoltern, Schweiz
Telefon +41 (0)32 389 10 10
labor@hauert.com

Wolz Regula
Agroscope
Schwarzenburgstrasse 161, 3003 Bern, Schweiz
Telefon +41 (0)58 480 32 79
regula.wolz@agroscope.admin.ch

Zähner Michael
Agroscope
Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz
Telefon +41 (0)58 480 33 13
michael.zaehner@agroscope.admin.ch

Anhang 6 | Koordinatoren



Walter Richner, Jahrgang 1963, absolvierte ein Agronomiestudium mit Fachrichtung Pflanzenwissenschaften und doktorierte 1992 an der ETH Zürich. Nach einem Postdoc-Aufenthalt an der *Michigan State University* arbeitete er von 1994 bis 2001 als Oberassistent in der Gruppe Ackerbau und Pflanzenzüchtung an der ETH Zürich. Seit 2001 leitet er die

Forschungsgruppe Gewässerschutz und Stoffflüsse bei Agroscope, die sich mit der Verbesserung des landwirtschaftlichen Nährstoffmanagements und der Reduktion der Nährstoffverluste in die Gewässer beschäftigt. Für das Bundesamt für Landwirtschaft leitet er die Zentrale Auswertung der Agrarumweltindikatoren und erarbeitet mit seiner Gruppe wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug von agrarpolitischen Massnahmen, insbesondere im Bereich der Nährstoffbilanzierung und der Düngerezulassung. Walter Richner ist Dozent am Departement für Umweltsystemwissenschaften an der ETH Zürich.



Sokrat Sinaj, Jahrgang 1956, studierte Agronomie an der *Agricultural University of Tirana* (AL). Nach Abschluss seiner Dissertation am *Institut National Polytechnique de Lorraine* in Nancy (F) 1993 arbeitete er während zwei Jahren als Postdoc am *Centre de pédologie biologique* in Nancy (F). Anschliessend war er während elf Jahren als Oberassistent in der Gruppe Pflanzenernährung an der ETH Zürich

tätig. Im Jahr 2005 erhielt er den Titel als Titularprofessor. 2007 wechselte Sokrat Sinaj zu Agroscope. Gemeinsam mit seinem Forschungsteam verfolgt er zwei Hauptziele: einerseits die Prozesse und Faktoren zu verstehen, welche den Nährstofftransfer in Agrarökosystemen steuern und andererseits die wissenschaftliche Grundlage für ein integriertes und effizientes Nährstoffmanagement für nachhaltige und produktive Agrarsysteme zu erarbeiten. Sokrat Sinaj hat mehr als hundert Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften verfasst.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope