

Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland

Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in
der Landwirtschaft

8. Auflage, aktualisierte Version 2023



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

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

Autorinnen und Autoren: Andreas Baumgarten

Unter der Mitarbeit von (in alphabetischer Reihenfolge): Ernst Bäck, Gernot Bodner, Manfred Cadilek, Georg Dersch, Alexander Eder, Herbert Eigner, Hans Egger, Reinhard Egger, Eva Erhardt, Robert Fenz, Jürgen Friedel, Wolfgang Friesl-Hanl, Markus Gansberger, Lukas Gaier, Gabriele Gollner, Martin Gerzabek, Christa Größ, Wilfried Hartl, Heinrich Holzner, Franz Xaver Hölzl, Sigbert Huber, Monika Humer, Georg Juritsch, Andreas Klingler, Max Kuderna, Albert Mehsam, Christian Meusburger, Nora Mitterböck, Elisabeth Neudorfer, Thomas Neudorfer, Christian Partl, Georg Pernkopf, Willi Peszt, Christine Petritz, Dieter Petutschnig, Holger Pirchegger, Peter Prankl, Claudia Preinstorfer, Wolf Reheis, Erich Roscher, Sigrid Schaft, Christoph Scheffknecht, Christian Schilling, Gerhard Soja, Andrea Spanischberger, Josef Springer, Roland Starke, Christian Steiner, Nicolas Stohandl, Peter Strauss, Harald Summerer, Franz Traudtner, Detlev Walter, Claudia Winkovitsch, Marie-Luise Wohlmuth

Grafikdesign: Leonie Fink

Fotonachweis: BML/Alexander Haiden (S.1), BML/Paul Gruber (S.3)

Wien, 2024. Stand: 18. Februar 2025

Copyright und Haftung:

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

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

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

Vorwort



Mag. Norbert Totschnig, MSc

Der Boden als Grundlage für unsere Ernährung rückt zusehends in das öffentliche Bewusstsein. Der Landwirtschaft kommt hier eine besondere Rolle zu, da die Bäuerinnen und Bauern durch ihre Bewirtschaftungsweise die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit garantieren und für die Sicherstellung der Nährstoffversorgung der Pflanzen sorgen. Dies ist die Voraussetzung, um auch die Vielzahl der anderen Bodenfunktionen wie beispielsweise die Speicher- und Filterfunktion des Bodens zu gewährleisten. Hier stellt der Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz seit vielen Jahren ein verlässliches und wissenschaftlich fundiertes Werkzeug für ein nachhaltiges Nährstoffmanagement zur Verfügung.

In der nun vorliegenden aktualisierten Auflage der Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland wurden einige wesentliche Anpassungen bezüglich neuer Kulturen bzw. Kulturverfahren ergänzt.

Wesentlich dabei sind eine transparente und nachvollziehbare Datenbasis sowie die Einbeziehung aller relevanten Expertinnen und Experten, damit die Richtlinie auch als Grundlage für gesetzliche Normen herangezogen werden kann.

Die vorliegende aktualisierte Auflage liefert die Basis für einen verantwortungsvollen und schonenden Umgang sowohl mit dem Boden als auch mit den wertvollen Nährstoffressourcen.

Norbert Totschnig
Bundesminister

Inhalt

Vorwort	3
1 Einleitung	8
1.1 Bodenschutz und Bodenfruchtbarkeit.....	8
1.2 Nährstoffkreislauf, Düngung.....	8
1.3 Neue digitale Möglichkeiten der Bodenbeprobung und der Düngeplanung.....	9
1.4 Zielsetzung der Richtlinien für die sachgerechte Düngung	9
1.5 Abgrenzung zu anderen Themen des Düngungsmanagements.....	10
1.6 Rahmenbedingungen.....	10
1.7 Anwendungsbereich und Zielgruppe.....	11
1.8 Ein auf Österreich abgestimmtes System.....	11
2 Bodenuntersuchung	13
2.1 Allgemeines.....	13
2.2 Grundsätze zur Durchführung der Bodenprobenahme	13
2.2.1 Auswahl der Beprobungsfläche / Teilflächenbildung.....	13
2.2.2 Zeitpunkt der Probenahme.....	15
2.2.3 Durchführung der Beprobung.....	16
2.2.4 Probenlagerung und Transport.....	20
2.2.5 Prüfauftragsformular („Erhebungsbogen“)	20
2.3 Bodenuntersuchungsverfahren	21
2.4 Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen.....	24
2.4.1 Allgemeines.....	24
2.4.2 Boden- und Standorteigenschaften.....	24
2.4.3 Korngrößenverteilung, Bodenart, Bodenschwere.....	25
2.4.4 Humusgehalt.....	26
2.4.5 Carbonatgehalt	30
2.4.6 Bodenreaktion - pH-Wert	30
2.4.7 Gründigkeit	32
2.4.8 Wasserverhältnisse	32
2.4.9 Grobanteil	33
2.4.10 Feldkapazität/Profilkapazität.....	33
2.4.11 Beurteilung der Bodenstruktur	34
2.4.12 Pflanzenverfügbare Nährstoffe	37
2.4.13 Stickstoff	37
2.4.14 Phosphor und Kalium.....	39
2.4.15 Kaliumfixierung	41
2.4.16 Magnesium	41

2.4.17 Austauschbare Kationen	42
2.4.18 Spurenelemente	49
2.4.19 Einstufung der Nährstoffversorgung nach der EUF - Methode.....	50
3 Düngungsmanagement von Ackerkulturen und Grünland	57
3.1 Einschätzung der Ertragslage von Ackerkulturen.....	58
3.2 Einschätzung der Ertragsmöglichkeiten im Grünland, Feldfutterbau, in der Sämereien Vermehrung und von Almflächen	63
3.2.1 Einschätzung der Ertragsmöglichkeiten bei den einzelnen Nutzungsformen im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung	63
3.2.2 Einstufung von Almflächen	68
3.3 Stickstoffdüngung	68
3.3.1 Stickstoffdüngung von Ackerkulturen	68
3.3.2 Stickstoffdüngung im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung	85
3.4 Düngung mit Phosphor und Kalium.....	89
3.4.1 Phosphor- und Kaliumdüngung im Ackerbau	89
3.4.2 Phosphor- und Kaliumdüngung im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung	92
3.5 Düngung mit Magnesium im Acker- und Grünland.....	95
3.6 Düngung mit Kalk.....	96
3.6.1 Verbesserungskalkung	96
3.6.2 Erhaltungskalkung.....	99
3.6.3 Ermittlung des Kalkbedarfs nach EUF.....	101
3.7 Düngung mit Schwefel	102
3.8 Düngung mit Spurenelementen	104
3.8.1 Bor (B)	105
3.8.2 Kupfer (Cu)	108
3.8.3 Zink (Zn)	109
3.8.4 Mangan (Mn)	110
3.8.5 Eisen (Fe).....	112
3.8.6 Molybdän (Mo)	113
3.9 Mögliche Auswirkungen der Düngung auf Luft, Wasser und Klima	114
4 Bewertung und Wirksamkeit von Wirtschaftsdüngern, Komposten, Fermentations- und Ernterückständen.....	116
4.1 Arten von Wirtschaftsdüngern	116
4.2 Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern.....	117
4.3 Wirksamkeit des Stickstoffs aus Wirtschaftsdüngern	126

4.4	Gehalte an Phosphor und Kalium von Wirtschaftsdüngern	129
4.5	Lagerung von Wirtschaftsdüngern	133
4.6	Bewertung der Ernterückstände, der Zwischenbegrünung und der Vorfruchtwirkung	137
5	Erstellung eines Düngeplans	141
5.1	Einleitung	141
5.2	Erhebung des Nährstoffbedarfes im Ackerland	142
5.3	Erhebung des Nährstoffbedarfes im Wirtschaftsgrünland.....	144
5.4	Ermittlung und Bewertung des Nährstoffanfalles aus der Tierhaltung	145
5.5	Verteilung der Wirtschafts- und Mineraldünger am Betrieb	148
5.6	Überprüfung der N-Höchstgrenzen gemäß Nitrat – Aktionsprogramm - Verordnung	149
6	Anhang.....	150
6.1	Berechnung der Kalkdüngungsempfehlung	150
6.1.1	Berechnung des Hilfsparameters:	150
6.1.2	Berechnung des Kalkdüngerbedarfs in t CaO/ha:	150
6.2	Kalkbilanzierung.....	150
6.2.1	Kalkentzug durch die Ernte.....	151
6.2.2	Kalkverluste durch Düngemittel	153
6.3	Beispiel zur Verwendung der Tabellen für die Stickstoffbedarfsermittlung:	154
6.4	Berechnung von N _{MIN} -Ergebnissen auf der Basis von Laborergebnissen.....	155
6.4.1	Berücksichtigung der Dimension	155
6.4.2	Berücksichtigung der Trockenrohdichte und des Feuchtegehaltes	156
6.4.3	Berücksichtigung eines höheren Schotter- oder Steingehaltes	156
6.5	Beispiel für eine schlagbezogene Stickstoffbilanz	156
6.6	Orientierungshilfe/Handlungsanleitung - Durchschnittstierliste	162
6.6.1	Durchschnittstierliste.....	162
6.6.2	Rinderproduktion.....	163
6.6.3	Schweineproduktion.....	165
6.6.4	Geflügelproduktion.....	169
6.6.5	Schaf- und Ziegenproduktion	169
6.7	Ergänzungen zur Ermittlung der Durchschnittstierliste bei Mastschweinen, Jungsauen und Geflügel	170
6.7.1	Mastschweine und Jungsauen.....	170
6.7.2	Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestandes.....	171
6.8	Herstellung einer schlüssigen Beziehung zu den N-Anfallswerten	175
6.9	Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestands für Schweinemastbetriebe mit vorgeschalteter Ferkelaufzucht.....	176

6.9.1	Führung von 2 Formblättern getrennt nach beiden Tierkategorien	176
6.9.2	Führung eines Formblattes für beide Tierkategorien (8–116 kg) mit anschließender prozentueller Aufteilung	176
6.9.3	Geflügel.....	177
Tabellenverzeichnis.....		180
Abbildungsverzeichnis.....		185

1 Einleitung

1.1 Bodenschutz und Bodenfruchtbarkeit

Die natürliche Bodenfruchtbarkeit ist die Voraussetzung für die optimale Erfüllung der Funktion des Bodens als Pflanzenstandort. Daneben spielt die Bodenfruchtbarkeit auch für eine Reihe von weiteren Bodenfunktionen wie Wasserhaltevermögen oder Filterfunktion eine bedeutende Rolle. Sie ist dann gegeben, wenn der Boden eine für das Pflanzenwachstum optimale Struktur hat und sich die Umsetzungsprozesse durch Bodenlebewesen in einem Gleichgewicht befinden. So können sich die Wurzeln gut entwickeln und die Pflanzen ausreichend mit Nährstoffen versorgen. Die Bewirtschaftung des Bodens soll dies bewahren oder verbessern, gleichzeitig muss der Boden aber auch vor weiteren Gefährdungen geschützt werden. Dazu zählen etwa Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Bodenversauerung, Humusverlust, Bodenkontamination (Verschmutzung des Bodens durch chemisch-synthetische Substanzen oder andere Abfallstoffe). Dies kann weitgehend durch ein entsprechendes pflanzenbauliches und verfahrenstechnisches Knowhow erreicht werden, zu dem auch diese Broschüre ihren Beitrag leistet. Darüber hinaus sind aber auch Maßnahmen zu setzen, um den Verlust von Boden als Produktionsfläche zu vermeiden.

1.2 Nährstoffkreislauf, Düngung

Die Pflanze bezieht die Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Schwefel, Magnesium und eine Reihe von lebenswichtigen Spurenelementen fast zur Gänze aus dem Boden. Durch die Abfuhr von Ernteprodukten werden diese Nährelemente dem System Boden-Pflanze entzogen. Ziel der Düngung ist es, diesen Nährstoffentzug auszugleichen und somit den Ertrag und die Qualität der Pflanzen langfristig zu sichern. Die Nährstoffe können sowohl in mineralischer (leicht verfügbar) als auch in organisch gebundener (Freisetzung durch Bodenorganismen) Form zur Verfügung gestellt werden. Bei jeder Düngung können Verluste auftreten, die durch Kenntnis und Vermeidung möglicher Verlustpfade deutlich eingeschränkt werden können. Ziel dabei ist es, die Effizienz der Nutzung der Nährstoffe zu optimieren. Die Bodenuntersuchung dient als Grundlage des Düngungsmanagements und ermöglicht eine bestmögliche Düngeplanung. Die Grundlagen zur Umsetzung von Bodenuntersuchungsergebnissen in Düngeempfehlungen wurden und werden aus Feldversuchen

in Österreich und einzelnen Regionen in Deutschland, die mit Österreich vergleichbare Produktionsverhältnisse aufweisen, abgeleitet.

1.3 Neue digitale Möglichkeiten der Bodenbeprobung und der Düngeplanung

Durch den Einsatz von digitalen Technologien bei der Probenahme (siehe Kapitel 2.2.), der Darstellung von Bodeneigenschaften und bei der Erstellung von Düngeplänen kann eine weitere Verbesserung der Präzision und damit eines bedarfsgerechten Betriebsmitteleinsatzes erreicht werden.

Aufgrund dieser Maßnahmen kommt es sowohl unmittelbar als auch längerfristig zu einer ökologischen Verbesserung der Wirtschaftsweise. Sie können auch dazu beitragen, die Flexibilität unserer Bewirtschaftung im Hinblick auf zukünftige klimatische Herausforderungen zu verbessern. Durch eine zielgerichtete Verteilung von Nährstoffen können langfristig die Bodenbonität verbessert sowie Auswaschungs- und Ausgasungsverluste verringert werden. Neue Technologien führen langfristig gesehen zu einer nachhaltigen ökologischen sowie ökonomischen Verbesserung des Gesamtsystems und zu einer erhöhten Nährstoffeffizienz im Bewirtschaftungskreislauf.

1.4 Zielsetzung der Richtlinien für die sachgerechte Düngung

Die Richtlinien fassen den Stand der Technik der sachgerechten Düngung und Bodenbewirtschaftung in Österreich zusammen und beschäftigen sich vor allem mit der Planung des Düngungsmanagements. Basis dafür sind Untersuchungen des Bodens. Das Hauptaugenmerk liegt auf einigen wichtigen Indikator-Parametern wie dem Gehalt an verfügbaren Nährstoffen, dem Säuregrad (pH-Wert) des Bodens oder dem Humusgehalt. Die Bodenstruktur, die Bodenart („Bodenschwere“), die Anteile an wasser- und luftführenden Poren und das Bodenleben sind wesentlich für die Erschließbarkeit von Nährstoffen durch die Pflanzenwurzeln und können mittels Spaten- und Fingerproben beurteilt werden. Zudem können Bodeninformationen wie der Bodentyp oder die Feldkapazität der digitalen Bodenkarte (www.bodenkarte.at) entnommen werden.

1.5 Abgrenzung zu anderen Themen des Düngungsmanagements

In Einzelfällen kann es aufgrund von schwerwiegenden Problemen in Bezug auf die Bodenfruchtbarkeit erforderlich sein, umfangreiche Nachforschungen anzustellen. Dabei stellt diese Richtlinie die Basis dar, es können aber noch weiterführende Untersuchungen und Analysen erforderlich sein. So können langfristig einseitige oder vernachlässigte Nährstoffzufuhr weitab vom Kreislaufgedanken oder exzessive Monokulturen den Boden an den Rand der Leistungsfähigkeit bringen. Die Bewältigung der Folgen von derartigen Fehlern benötigt hohes fachliches Wissen und behutsame Korrektur von Düngung, Fruchtfolge, mitunter eines Betriebszweiges oder der gesamten betrieblichen Ausrichtung. Dies würde jedoch den Umfang der Richtlinien der sachgerechten Düngung sprengen. Die Mitglieder des Autorenteam, Expertinnen und Experten der Landwirtschaftskammern oder relevanter Forschungsstellen können in diesen Spezialfällen Hilfestellung geben.

Die gute fachliche Praxis für die verlustarme Wirtschaftsdüngung basierend auf der Fütterung, dem Stallsystem, der Lagerung und der Ausbringung sind im NEC-Ratgeber (info.bml.gv.at/dam/jcr:eae9fd6e-0737-46c7-88b7-3399e5e65497/NEC-Ratgeber_13072018.pdf) zusammengefasst.

Die Richtlinien für die sachgerechte Düngung mit den Einstufungen der Nährstoffgehalte und anzustrebendem pH-Wert und Humusgehalt hat die betriebswirtschaftliche Optimierung und zugleich umweltschonende Bewirtschaftung zum Ziel, sie enthält jedoch keine weiteren Angaben über die Wirtschaftlichkeit von Düngemaßnahmen. Die Wirtschaftlichkeit kann nur betriebsindividuell bewertet werden und hängt von den Zielen des jeweiligen landwirtschaftlichen Betriebes ab. Zudem unterliegen die Düngemittelpreise Schwankungen und unterschiedlicher Verfügbarkeit. Auch eine Bewertung am Markt erhältlicher Düngemittel erfolgt in den Richtlinien nicht.

1.6 Rahmenbedingungen

Über die Richtlinien hinaus sind die gesetzlichen Vorgaben zur Düngung vonseiten der EU, des Bundes und des jeweiligen Landes zu beachten. Dies sind insbesondere das Wasserrechtsgesetz (z. B. die Bestimmungen über Bewilligungspflichten, Beobachtungs- und Maßnahmengebiete oder zur Düngung in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten), die Nitrataktionsprogramm-Verordnung, die Wasserrahmenrichtlinie mit dem aktuellen Natio-

nenalen Gewässerbewirtschaftungsplan und den Qualitätszielverordnungen, die NEC-Richtlinie mit der Ammoniakreduktionsverordnung, das Klimaschutzgesetz, die Trinkwasserverordnung hinsichtlich Inverkehrbringen von Lebensmitteln sowie das Düngemittelrecht (Düngemittelgesetz und Düngemittelverordnung).

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

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

1.7 Anwendungsbereich und Zielgruppe

Die fachlichen Grundlagen der Düngung sind auch für nicht-landwirtschaftlich genutzte Flächen anwendbar. Für Spezialkulturen wie Gemüse, Obstbau, Weinbau oder den Wald stehen eigene Richtlinien zur Verfügung, wobei diese Broschüre als „Basis“ angesehen werden kann, auf der die anderen Publikationen aufbauen.

Diese Richtlinien richten sich an Pflanzenbauberater und -beraterinnen, Pflanzenbaulehrer und -lehrerinnen, Multiplikatoren, Behörden, Sachverständige und Landwirte und Landwirtinnen. Sie sind als Grundlage für die Düngeberatung auch Teil der Ausbildung in den landwirtschaftlichen Schulen.

1.8 Ein auf Österreich abgestimmtes System

Das in der folgenden Richtlinie erläuterte System zur Ableitung einer Düngeempfehlung basiert auf

- einer Bodenuntersuchung mit standardisierten Verfahren (ÖNORM, EN, ISO, VDLUFA - Methodenbuch),
- der Berücksichtigung der Standortfaktoren,
- der Einschätzung der Ertragslage,
- dem Nährstoffbedarf der Kulturen und
- der Bewertung der Wirtschaftsdünger.

Die Grundlagen für dieses in sich schlüssige und auf österreichische Verhältnisse abgestimmte System wurden und werden aus entsprechenden Feldversuchen abgeleitet. Eine Düngeplanung auf der Basis anderer Voraussetzungen (z. B. andere als die genannten Bodenuntersuchungsverfahren) ist mit dieser Richtlinie nicht möglich.

2 Bodenuntersuchung

2.1 Allgemeines

Eine Bodenuntersuchung liefert wertvolle Informationen über den Zustand und die Produktivität des Bodens und ist eine wichtige Basis für die Erstellung einer sachgerechten Düngungsempfehlung. Eine Bodenuntersuchung soll etwa alle 4–6 Jahre durchgeführt werden, denn erst in diesem Zeitraum sind Veränderungen der Nährstoffversorgung und bestimmter Bodeneigenschaften wie etwa des pH-Wertes erkennbar. Das Düngungsmanagement kann in der Folge entsprechend angepasst werden.

Eine zentrale Rolle spielen dabei Untersuchungsmethoden, die die Verfügbarkeit der Nährstoffe möglichst gut charakterisieren. Da diese von vielen Faktoren abhängig sind, spielt die Kalibrierung der Verfahren eine wesentliche Rolle. Die Interpretation der Untersuchungsergebnisse muss auf Feldversuchen aufbauen, die sowohl die unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen als auch die angebauten Kulturen repräsentieren.

Die Beurteilung der Bodenuntersuchungsergebnisse dient dann in Verbindung mit dem Bedarf der angebauten Feldfrucht sowie dem Ertragsniveau des Standortes als Basis für die Erstellung eines Düngeplans.

Neben der Kalibrierung an Feldversuchen ist auch die analytische Verlässlichkeit der Verfahren von großer Bedeutung. Dafür sind Angaben zur Wiederholbarkeit, Vergleichbarkeit und zur Messunsicherheit erforderlich. Genormte Verfahren und Verfahren, die im Methodenbuch des VDLUFA publiziert sind, erfüllen diese Anforderungen. Darüber hinaus werden die Methoden in jährlichen Ringversuchen von zahlreichen Labors getestet.

2.2 Grundsätze zur Durchführung der Bodenprobenahme

2.2.1 Auswahl der Beprobungsfläche / Teilflächenbildung

Eine sorgfältig durchgeführte Probenahme ist die Voraussetzung für ein aussagekräftiges Analyseergebnis und für eine korrekte kulturartenspezifische Düngeempfehlung. Die Probenahmetiefe des Oberbodens ist unabhängig von der Bearbeitung und beträgt 0–25 cm

auf Acker und 0–10 cm auf Grünland. Die entnommene Probe muss repräsentativ für den Boden der beprobten Fläche sein

Aufgrund der unterschiedlichen Beschaffenheit (Heterogenität) von Böden muss versucht werden, möglichst einheitliche Flächen abzugrenzen. Genauere Angaben siehe ÖNORMEN (für die Probenahme in Acker- und Grünland) L 1054, L 1055 und L 1056.

Bei der Einteilung von Teilflächen gilt es Folgendes zu beachten:

- unterschiedliche Boden- und Geländeeigenschaften:
 - Bodenform (lt. Bodenkartierung)
 - Lage, Relief (z. B. Oberhang, Unterhang)
 - Gründigkeit
 - Bodenschwere (Tongehalt)
 - Wasserversorgung
 - Grobanteil
- unterschiedliches Pflanzenwachstum
- schwankende Erträge

Bei deutlichen Unterschieden auf mehr als 30 % der Fläche sind dementsprechend zwei oder mehrere Durchschnittsproben zu entnehmen. Flächen mit kleinräumig unterschiedlichen Bodenverhältnissen (in der Regel auch gut am stärker wechselnden Pflanzenbewuchs erkennbar) sollen nicht Bestandteil der Durchschnittsprobe sein. Ebenso sind Stellen, deren Bodenbeschaffenheit deutlich von der übrigen Fläche abweicht (z. B. Feldmietenplätze, Fahrgassen, Randstreifen, Vorgewende, Tränke- und Eintriebstellen auf Weiden) oder wegen bewirtschaftungsbedingten Standortunterschieden (z. B. Drainagierung, Bewirtschafteterwechsel) von einer Probenahme auszuschließen.

Die Größe der Fläche für die Gewinnung einer Durchschnittsprobe gemäß ÖNORM darf im Ackerbau und im Grünland 5 ha nicht überschreiten. Bei großen, weitgehend homogenen Flächen (in Bodentyp, Bodenart) kann die Probenahme zur Arbeitserleichterung auch auf einer kleineren, für die Gesamtfläche repräsentativen Teilfläche (z. B. 1000 m²) erfolgen.

Bei der Einteilung der Teilflächen können verschiedene Datenquellen kombiniert werden. Hilfestellungen bieten die Erfahrungen des Bewirtschafters, Ertragskarten, historische Luftbilder von unterschiedlichsten Online-Kartendiensten oder die „Digitale Bodenkarte -

eBOD“ (bodenkarte.at/), die sämtliche Standorteigenschaften beschreibt und eine grobe Zonierung nach unterschiedlichsten Bodenparametern ermöglicht.

Weitere Möglichkeiten der Ausweisung von Teilflächen bietet auch die moderne Sensortechnik. Biomassekarten, welche mit Sensoren auf Traktoren, Drohnen oder Satelliten generiert werden können, liefern u. a. Rückschlüsse auf die vorhandene Biomasse und den Chlorophyllgehalt bzw. dem damit einhergehenden Nährstoffversorgungsgrad. Zur Interpretation und Teilflächenbildung sollten mehrjährige Biomassekarten herangezogen werden, um verlässliche Daten zu bekommen. Die Satellitenbilder der ESA (im Rahmen des Erdbeobachtungsprogramms COPERNICUS) sind am Sentinel Hub mit der Funktionalität des EO Browser (www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/) kostenfrei zugänglich. Je nach Witterung stehen alle fünf Tage aktuelle Satellitenbilder in der Auflösung bei 10 mal 10 Meter zur Verfügung, die auch rückblickend betrachtet werden können.

Darüber hinaus können auch geophysikalische Messverfahren mittels Sensoren (z. B. elektrische Leitfähigkeit, Gammaskpektrometrie) eine weitere Verfeinerung ermöglichen. Im Bedarfsfall können diese Informationen durch Laboranalysen (z. B. Korngrößenanalyse) ergänzt werden.

Diese Informationen können z. B. in Form einer Bodenzonenkarte dargestellt werden und als Basis für eine teilflächenspezifische Probenahme genutzt werden. Sie ermöglicht im Vergleich zu einer nach ÖNORM geworbenen Durchschnittsprobe eine weitere Differenzierung der Fläche und Präzisierung der Nährstoffapplikation.

2.2.2 Zeitpunkt der Probenahme

Die Probenahme kann grundsätzlich während des gesamten Jahres erfolgen. Der Feuchtigkeitszustand des Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme soll aber jedenfalls eine Pflugarbeit zulassen. Bei zu trockenen oder vernässten Böden sind die Ergebnisse mancher Parameter nämlich nicht aussagekräftig. Die letzte Ausbringung mineralischer Dünger soll mindestens einen Monat, die letzte Ausbringung organischer Düngemittel (Mist, Gülle, Gründüngung) etwa zwei Monate zurückliegen. Im Grünland wird die Probenahme grundsätzlich im Frühjahr vor der ersten Düngung empfohlen. In Gebieten mit einer länger ausgeprägten Schneedecke ist jedoch eine Beprobung im Herbst anzustreben, da Wirtschaftsdünger unter der Schneedecke konserviert werden.

Damit Untersuchungsergebnisse aus unterschiedlichen Jahren gut vergleichbar sind, soll die Beprobung in den einzelnen Jahren jeweils zum selben Zeitpunkt erfolgen.

Für einige Bodenanalysen sind ganz bestimmte Zeitpunkte bzw. -phasen zu beachten:

Für $N_{\min}$ - Untersuchungen soll die Probenahme bei Getreide zu Vegetationsbeginn, bei Mais je nach Empfehlungssystem im Zwei- bis Sechsstadium oder vor dem Anbau bzw. der Düngung erfolgen. $N_{\min}$ - Proben, die außerhalb dieser Zeiträume gezogen werden, eignen sich nicht für die Düngungsplanung. Bis zur Analyse im Labor müssen die Proben gekühlt werden. Besonders in sensiblen Regionen (z. B. Wasserschongebiete) sollte die $N_{\min}$ - Untersuchung zur Planung der N-Düngung herangezogen werden.

Bei der Untersuchung biologischer Parameter soll der Zeitpunkt der Probenahme jeweils mit dem Berater oder dem Untersuchungslabor vereinbart werden.

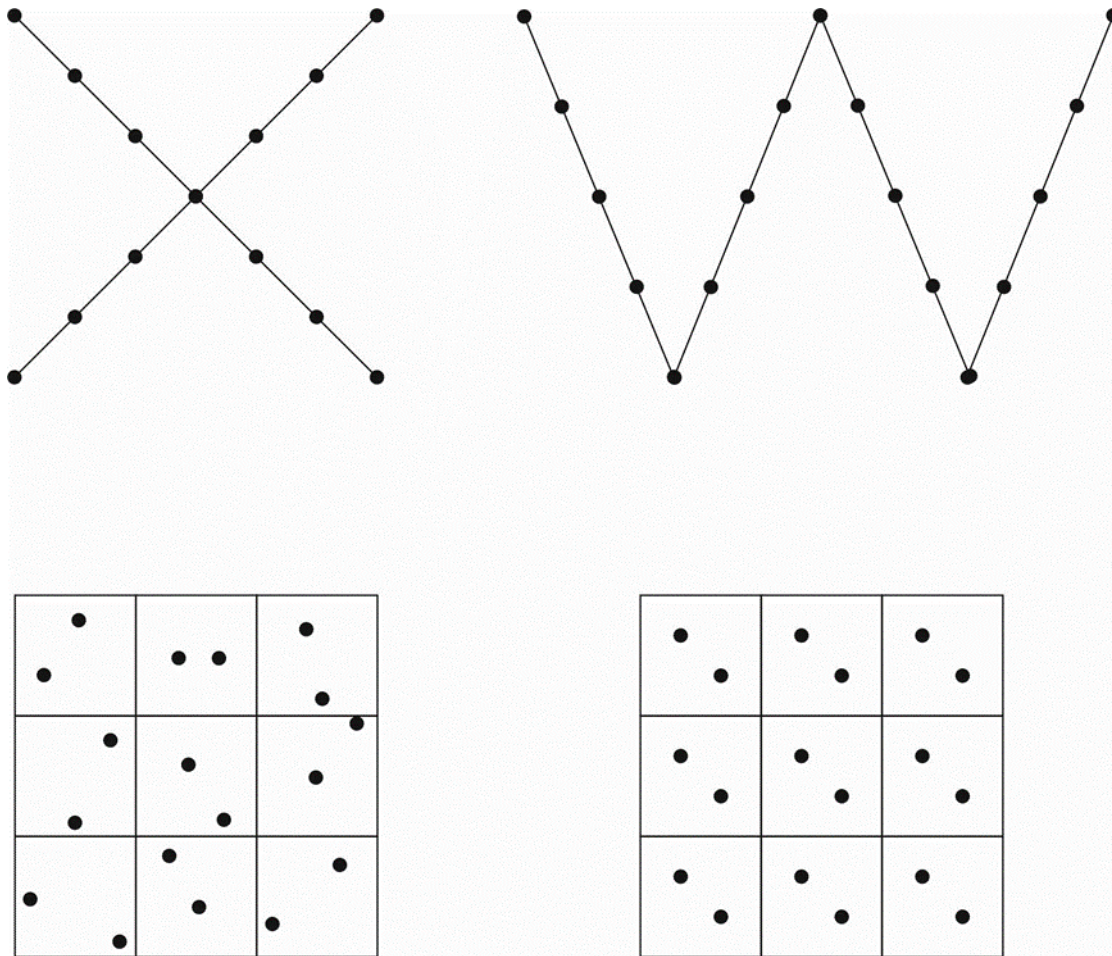
Für Untersuchungen nach der EUF-Methode muss die Bodenprobenahme zum Ende der Nährstoffaufnahme der Vorfrucht erfolgen, um die Stickstoffversorgung richtig beurteilen zu können:

- nach Getreide Anfang Juni bis Anfang Juli – vor der Ernte,
- nach Mais, Sonnenblume und Soja im September – vor bzw. nach der Ernte, jedoch immer vor der Bodenbearbeitung
- nach Kartoffeln oder Rübe im September – immer vor der Ernte.

2.2.3 Durchführung der Beprobung

Je ausgewählter Fläche werden an mindestens 25 gut verteilten Stellen Einzelproben gezogen und diese zu einer Durchschnittsprobe vereinigt. Beispiele für die Verteilung von Probenahmepunkten sind in Abbildung 1 wiedergegeben (nach ÖNORM L 1054).

Abbildung 1: Beispiele für die mögliche Verteilung von Probenahmestellen



Zur Probennahme sollen Bodenstecher, Schlagbohrer oder „Schüsserlbohrer“ (Anwendung v. a. im Grünland, Abbildung 2) verwendet werden. Die Einzelproben werden in einem sauberen Gefäß (z. B. Plastikkübel) gesammelt und gut durchmischt. Steine und Pflanzenreste sind aus der Probe zu entfernen. Anschließend wird die Probe oder eine repräsentative Teilmenge in wasserbeständige Behältnisse (z. B. beschichtete Papiersäckchen, Kunststoffsäckchen) gefüllt und diese gut sichtbar und leserlich beschriftet. Die Mindestprobemenge für eine Untersuchung liegt bei 300 g und soll 1.000 g nicht übersteigen.

Abbildung 2: Schlagbohrer; Schüsserlbohrer zur Beprobung von Grünlandflächen



Die Entnahmetiefe soll im Ackerbau mit der Bearbeitungstiefe übereinstimmen, zumindest aber den Horizont von 0 bis 20 cm umfassen, sofern dies aufgrund der vorliegenden Bodenmächtigkeit möglich ist. Diese Mindestdtiefe gilt auch für Flächen, die ohne Bodenbearbeitung kultiviert werden. Im Grünland ist eine Tiefe von 0 bis 10 cm ausreichend. Für $N_{\min}$ - Untersuchungen gelten spezielle Beprobungstiefen (siehe Kapitel 3.3.1.3 „Stickstoffdüngung nach $N_{\min}$ für Wintergetreide, Triticale und Mais“).

GPS-gestützte Bodenprobenahme

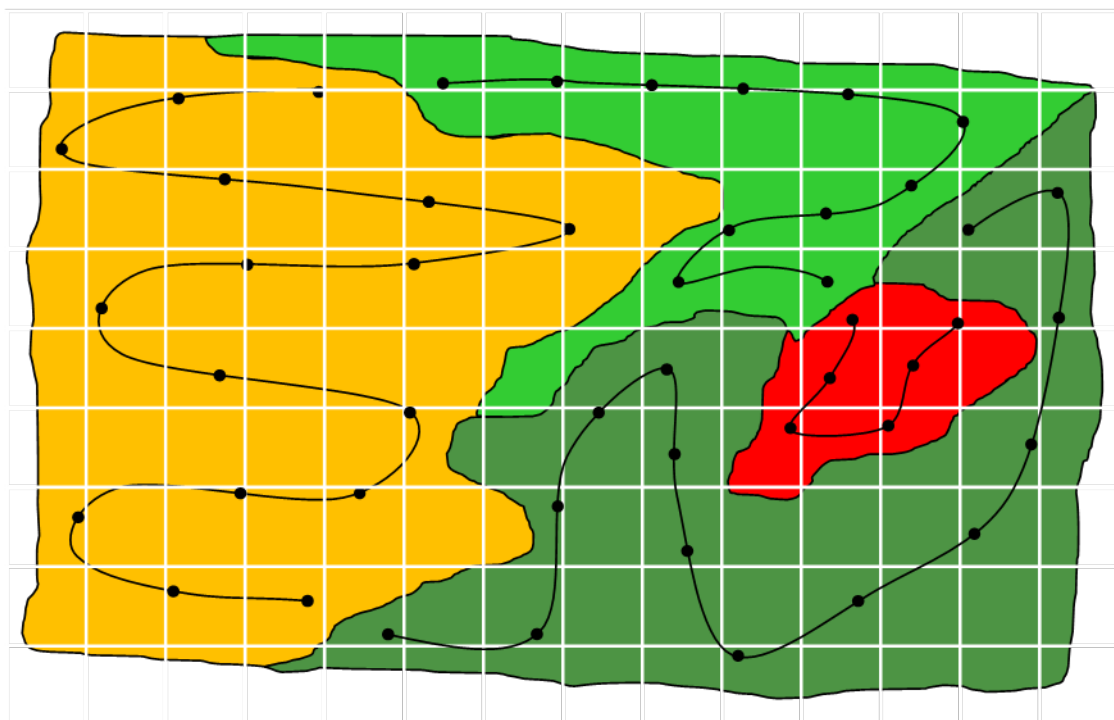
An Bedeutung bei der Bodenprobenziehung erlangt immer mehr die GPS-gestützte Probenahme mittels dafür ausgestatteter Fahrzeuge, die von unterschiedlichen Dienstleistern angeboten wird. Durch die Aufzeichnung der Einstichpunkte während der Beprobung kann nach mehreren Jahren eine Vergleichsprobe an den gleichen Stellen gezogen werden und die Wirkung der Bewirtschaftungsmaßnahmen evaluiert werden.

Teilflächenspezifische Bodenbeprobung

In diesem Fall hängt die Gesamtanzahl der Proben von der Anzahl der Zonen ab in die die Fläche unterteilt wurde, und davon, ob von jeder Zone eine oder mehrere Proben entnommen werden sollen. Wurde die Fläche beispielsweise aufgrund von Unterschieden in der Bodenart oder im Pflanzenwachstum in Zonen unterteilt so sollte jedenfalls aus jeder einzelnen Zone zumindest eine gesonderte Probe entnommen werden. Die Beprobungslinie einer Zone entlang der die mindestens 25 Einstiche für eine zonenspezifische Mischprobe in gleichmäßigen Abständen entnommen werden sollte dabei als ein „W“- oder als ein „Zickzack“-Probenahmemuster ausgeführt sein. Die Anwendung von zwei Diagonalen als Beprobungslinien („X“-Form) würde nämlich zu einer systematischen Abweichung im zentralen Bereich der jeweiligen Zone führen bzw. diese nicht vollständig abdecken.

Nach einer entsprechenden Zonierung ist für die GPS-gestützte Bodenprobenahme eine gezielte Planung der Beprobungslinien in den eruierten Teilflächen empfehlenswert (Abbildung 3). Entlang dieser Beprobungslinien werden die einzelnen Einstiche für die Bodenprobenahme von den Dienstleistern vorgenommen und eine repräsentative Bodenprobe entnommen. Durch die unterschiedliche Beprobung der Teilflächen erhält man ein aussagekräftiges Untersuchungsergebnis, womit in der Folge bei verschiedensten Bewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. Aussaat, Düngung, Kalkung, Bewässerung, etc.) gezielt darauf eingegangen werden kann.

Abbildung 3: Beispiel für eine Zonierung und für eine Planung der GPS-gestützten Bodenprobenahme



Teilflächenspezifische Bewirtschaftung am Beispiel Kalkung

Über eine „Bodenzonierung“ können beispielsweise die im Rahmen einer Kalkung wichtigen Parameter Bodenart (Korngrößenzusammensetzung) und damit die Schwereklasse der Teilfläche, sowie deren pH-Wert (CaCl_2) teilflächenspezifisch erhoben werden. Da sich die Teilflächengrößen und die Ziel-pH-Werte im Vergleich zur flächeneinheitlichen Kalkung unter-

scheiden können, ist bei Nutzung einer Zonenkarte somit eine wesentlich effizientere Kalkung möglich. Die Ermittlung der optimalen Kalkmenge für den korrekten, bodenartspezifischen pH-Wert kann in einem solchen Anwendungsfall auf Teilflächenbasis erfolgen.

2.2.4 Probenlagerung und Transport

Die Probe soll so schnell wie möglich an die Untersuchungsstelle weitergeleitet werden. Sofern keine Stickstoffuntersuchung nach der EUF-Methode erfolgt, ist jedoch eine Zwischenlagerung bis zu 4 Wochen möglich. In diesem Fall ist der Boden schonend an der Luft zu trocknen - dazu sollen die Behältnisse am besten geöffnet werden. Sind $N_{\min}$ - Untersuchungen oder die Untersuchung biologischer Parameter vorgesehen, müssen die Proben gekühlt werden, die maximale Lagerungsdauer beträgt dafür 2 Tage. Die Proben können auch tiefgekühlt werden, in diesem Fall ist eine Lagerung über mehrere Wochen möglich (ÖNORM L 1091). Für $N_{\min}$ - Untersuchungen werden von einigen Labors (z. B. AGES) auch andere Transportverfahren angeboten.

Die Verfahren zur Probenahme sind in den ÖNORMen L 1055 (Ackerbau), L 1056 (Grünland) und L 1091 ($N_{\min}$ - Methode) detailliert beschrieben.

2.2.5 Prüfauftragsformular („Erhebungsbogen“)

Um die richtige Zuordnung der Proben, eine optimale Abwicklung der Prüfaufträge und eine fachgerechte Beratung zu gewährleisten, sind folgende Angaben zum Betrieb und zum Standort erforderlich:

Zumindest erforderlich sind

- Name und Anschrift des Auftraggebers (Telefonnummer, E-Mail-Adresse)
- eindeutige Bezeichnung der Probe (in Übereinstimmung mit der Kennzeichnung des Gebindes)
- Untersuchungsparameter
- Unterschrift des Auftraggebers

Zur Erstellung einer optimalen Düngeempfehlung sollten folgende Angaben gemacht werden:

- Betriebsnummer

- Name und Adresse des Betriebsinhabers
- ÖPUL - Maßnahmen (fakultativ)
- Charakterisierung der beprobten Fläche (z. B. Grundstücksnummer, GPS-Koordinaten des Standorts, Proben-/Feldstück-/Schlagbezeichnung)
- Größe der Entnahmefläche
- Entnahmetiefe
- Standortbeschreibung (Gründigkeit, Bodenschwere, Wasserverhältnisse, Grobanteil)
- Angaben zur geplanten Kultur sowie zu Vor- und Zwischenfrucht
- durchschnittlicher Ertrag des Standortes
- verwendete Wirtschaftsdünger (Menge, Zeitpunkt der Anwendung)

Zur Erfassung dieser Daten stellen die Untersuchungslabors (z. B. Abteilung für Bodengesundheit und Pflanzenernährung der AGES - www.ages.at/service/service-landwirtschaft/boden/, AGRANA Research & Innovation Center GmbH - ris.agrana.com, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abt 10, Referat für Boden- und Pflanzenanalytik - www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/75777056/DE/) sowie die Landwirtschaftskammern Prüfauftragsformulare zur Verfügung.

2.3 Bodenuntersuchungsverfahren

Die Richtlinien für die sachgerechte Düngung orientieren sich bei den Methoden zur Ermittlung des Nährstoffbedarfs an den im Punkt 2.1 genannten Voraussetzungen (siehe auch VDLUFA, 2017):

- Analytische Verlässlichkeit
- Kalibrierung der Methoden an Feldversuchen
- Veröffentlichung der Angaben über die Kalibrierung

Die vorliegende Broschüre beschreibt das Verfahren zur Ermittlung des Nährstoffbedarfs. Dabei werden nicht nur die Ergebnisse einzelner Untersuchungsschritte, sondern auch eine Kombination verschiedener Analysen angewandt, um die Dynamik der Nährstoffverfügbarkeit besser zu charakterisieren.

Die Untersuchungsmethoden sind entsprechend standardisiert und entweder als ÖNORM oder im Methodenbuch des Verbandes der landwirtschaftlichen Forschungs- und Untersu-

chungsanstalten (VDLUFA) publiziert. Alle für die vorliegende Richtlinie relevanten Verfahren sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die konkrete Auswahl von Untersuchungsverfahren richtet sich nach dem jeweiligen Anlass (z. B. Erstuntersuchung bzw. Folgeuntersuchung) oder einer spezifischen Zielsetzung (z. B. Problemfälle im Pflanzenbau oder in der Fütterung, Ermittlung des Schwermetallgehaltes vor dem Einsatz von Pflanzenaschen oder Klärschlamm).

Für andere Bodenanalysenmethoden existieren entweder keine, oder nur unzureichende Feldversuche, um daraus eindeutige und nachhaltige Düngungsempfehlungen ableiten zu können.

Tabelle 1: Wichtige Bodenuntersuchungsparameter und -verfahren

Parameter	Verfahren	Anwendungsbereich, Aussagekraft
Parameter mit Durchführungszeitraum ca. alle 5–6 Jahre		
Grunduntersuchung: pH-Wert, pflanzenverfügbare Anteile an Kalium und Phosphor	ÖNORM_EN_ISO_10390, ÖNORM L 1087	Einstufung der Versorgung mit P und K, Erstellung einer Düngeempfehlung für P und K, Ermittlung des Kalkbedarfs
Gehalt an wasserlöslichem Phosphat	ÖNORM L 1092	Verbesserte Interpretation der P-Versorgung gemäß ÖNORM L 1087
Gehalt an pflanzenverfügbarem Magnesium	ÖNORM L 1093 oder CAT-Extraktion	Erstellung einer Düngeempfehlung für Mg, Ermittlung des K/Mg Verhältnisses
Gehalt an pflanzenverfügbarem Eisen, Mangan, Kupfer und Zink	ÖNORM L 1089 oder CAT-Extraktion	Einstufung der Nährstoffversorgung im Spurenelementbereich
Gehalt an pflanzenverfügbarem Bor	ÖNORM L 1090 oder CAT-Extraktion	Einstufung der Borversorgung, Erstellung einer Düngeempfehlung
Nachlieferbarer Stickstoff	ÖNORM L 1204	Einstufung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens, Berücksichtigung bei der Ermittlung der N-Düngung
Parameter mit Durchführungszeitraum ca. alle 5–6 Jahre		
Gehalt an austauschbaren Kationen	ÖNORM L 1086-1	Belegung des Austauscherkomplexes mit Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium; bei sauren Böden zusätzlich

Parameter	Verfahren	Anwendungsbereich, Aussagekraft
		Eisen, Mangan, Aluminium und H ⁺ -Ionen
Humusgehalt	ÖNORM L 1080	Einstufung des Gehalts an organischer Substanz, Abschätzung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens
Die EUF - Methode (Nemeth, 1982; VdLUFA, 1997; VdLUFA, 2002; Horn, 2006) kann ebenfalls zur Charakterisierung der Nährstoffgehalte im Boden verwendet werden. Routinemäßig werden die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Schwefel sowie Bor, Eisen, Mangan, Kupfer und Zink erfasst.		
Parameter mit kultur- oder fragestellungsbezogenem Durchführungszeitraum		
Gehalt an mineralischem Stickstoff (N _{min})	ÖNORM L 1091	Erfassung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs
Parameter mit Durchführungszeitraum ca. alle 10 Jahre bzw. bei Geländeänderungen oder Problemen mit der Pflanzenentwicklung		
Gesamtstickstoffgehalt	ÖNORM EN 15936	Einstufung des N-Gehaltes, Ermittlung des C/N - Verhältnisses
Carbonatgehalt	ÖNORM L 1084	Einstufung des Carbonatgehaltes, Beeinflussung der Versorgung mit Spurenelementen
Kalkaktivität	AGES-Verfahren	Einstufung der Reaktivität des Bodenkalkes
Kaliumfixierung	ONR 121097	Ermittlung der möglichen Fixierung von Kalium, Angabe der Menge der Ausgleichsdüngung
Tongehalt oder Gehalt an den Korngrößenklassen Sand, Schluff und Ton (einmalige Bestimmung ausreichend)	ÖNORM L 1061-2	Charakterisierung der Bodenschwere, wesentlich für die Einstufung der Versorgungs-klassen für K und Mg

Bei einer erstmaligen Untersuchung wird die Analyse folgender Parameter empfohlen:

- Grunduntersuchung (= pH-Wert sowie pflanzenverfügbare Anteil an Kalium und Phosphor),
- Gehalt an verfügbarem Magnesium,
- Humusgehalt,
- Gehalt an nachlieferbarem Stickstoff (nur im Ackerbau),
- Carbonatgehalt,
- Tongehalt

Zusätzlich kann auch der Gehalt an verfügbaren Spurenelementen und Bor untersucht werden.

Bei Folgeuntersuchungen sind zumeist die Grunduntersuchung und im Ackerbau zusätzlich die Analyse des Humusgehaltes ausreichend. Bei speziellen Problemen oder konkreten Fragestellungen können nach Rücksprache mit einem Berater weitere Untersuchungen wie z. B. die Bestimmung der wasser- oder königswasserlöslichen Gehalte an Elementen (ÖNORM EN 16174) durchgeführt werden.

2.4 Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen

2.4.1 Allgemeines

Im Folgenden werden wichtige Bodeneigenschaften und deren Beurteilung im Hinblick auf die Funktion des Bodens als Pflanzenstandort vorgestellt. Die meisten Untersuchungsverfahren liegen als Normen des Österreichischen Normungsinstituts vor, teilweise wird auf die Methoden des Methodenbuches des VDLUFA (CAT-Extraktion, Elektro Ultra Filtration - EUF) verwiesen. Zusätzlich sind auch Grundlagen für die Interpretation der Stickstoffbestimmung mittels N-Tester inkludiert.

2.4.2 Boden- und Standorteigenschaften

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

- Korngrößenverteilung-Bodenart/Bodenschwere
- Gehalt an organischem Kohlenstoff (Humus)

- Carbonatgehalt
- Bodenreaktion-pH-Wert
- Gründigkeit
- Wasserverhältnisse
- Grobanteil
- Nutzbare Feldkapazität

Daneben beeinflussen aber auch Faktoren wie Bodenstruktur, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und insbesondere die Witterung die Verfügbarkeit der Nährstoffe. Die Korngrößenverteilung, der Humus-, der Carbonatgehalt, die Bodenreaktion und die Feldkapazität können durch Laboranalysen bestimmt werden, eine grobe Einschätzung dieser Parameter ist allerdings auch vor Ort möglich. Alle genannten Parameter wurden im Rahmen der österreichischen Bodenkartierung erfasst und sind im Internet als digitale Bodenkarte (www.bodenkarte.at) verfügbar. Sie sind zum großen Teil auch Bestandteil der Einheitswertbescheide der österreichischen Finanzbodenschätzung und liegen für jedes landwirtschaftlich genutzte Grundstück in Österreich beim zuständigen Finanzamt auf.

2.4.3 Korngrößenverteilung, Bodenart, Bodenschwere

Die Bodenart wird durch das Verhältnis der Korngrößenklassen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) zueinander charakterisiert. Die Bestimmung der Korngrößen erfolgt gemäß ÖNORM L 1061-2, die Einstufung der Bodenart gemäß ÖNORM L 1050. Durch die Bodenart wird unter anderem die Bodenbewirtschaftung wesentlich beeinflusst. Vereinfacht kann die Bodenart auch als „Bodenschwere“ angegeben werden, wobei dafür allerdings nur mehr der Tongehalt berücksichtigt wird. Tabelle 2 gibt einen Überblick über den Zusammenhang zwischen Bodenschwere, Tongehalt und Bodenart (Bezeichnung der Bodenart gemäß ÖNORM L 1050):

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

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

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

Das von der österreichischen Finanzbodenschätzung verwendete Schema für die Zuordnung weicht geringfügig von dem nach ÖNORM L 1050 ab. Es können daher in Grenzbereichen leicht unterschiedliche Zuordnungen auftreten.

Soll nur der Tongehalt ermittelt werden, kann dies durch die Bestimmung der Dichte einer Bodensuspension („Spindelmethode“) erfolgen. Für eine Abschätzung vor Ort kann auch die Fingerprobe verwendet werden. Die wesentlichen Bestimmungsstücke und deren Bewertung sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3: Kriterien der Fingerprobe

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

2.4.4 Humusgehalt

Als Humus bezeichnet man die abgestorbene organische Masse in und auf dem Boden. Ausgangsstoffe für die Bildung von Humus sind in erster Linie oberirdisch anfallende Pflanzenteile wie Ernterückstände, Zwischenfruchtanbau (Gründüngung), Stroh und Blätter aller Art sowie Wirtschaftsdünger, in zweiter Linie unterirdisch wachsende Pflanzenteile wie Pflanzenwurzeln und Bodenlebewesen.

Die Analyse des Humusgehaltes erfolgt im Labor gemäß ÖNORM L 1080 (Elementaranalyse nach trockener Verbrennung). Bei diesem Verfahren wird zunächst der Gehalt an organischem Kohlenstoff ermittelt. Basierend auf dem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz des Bodens von 58 % ergibt sich der Humusgehalt durch eine Multiplikation des analysierten C_{org} -Gehalts mit dem Faktor 1,72. Die Angabe des Humusgehaltes erfolgt meist in % oder in g/kg Feinboden.

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

Tabelle 4: Einstufung des Humusgehaltes im Acker- und Grünland für Mineralböden

	Gehaltsklasse A	Gehaltsklasse C	Gehaltsklasse E
	niedrig	mittel	hoch
Ackerland	< 2 %	2–4,5 %	> 4,5 %
Grünland	< 4,5 %	4,5–9 %	> 9 %

Die in früheren Auflagen der Richtlinien angeführten Werte beziehen sich auf eine Bestimmung des Humusgehaltes nach ÖNORM L 1081 (Nassoxidation), die methodisch bedingt zu etwas niedrigeren Werten führt. Da diese Methode kaum mehr angewandt wird, wurden die Richtwerte entsprechend modifiziert. Für Vergleiche mit den oben angeführten Zahlen ist ein nach ÖNORM L 1081 mit Selbsterhitzung ermittelter Humusgehalt mit dem Faktor 1,3 zu multiplizieren.

Die organische Substanz befindet sich in einem kontinuierlichen Ab-, Um- und Aufbauprozess. Der leicht zersetzbare und leicht umwandelbare Anteil der organischen Substanz dient überwiegend als Nahrung für die Bodenlebewesen und ist oft durch ein relativ enges Verhältnis zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffanteil (C/N - Verhältnis) charakterisiert. Die Huminstoffe, die im Zuge der Humifizierung entstehen, sind Teil der schwarzbraun gefärbten, schwer zersetzbaren organischen Substanz. Das C/N - Verhältnis ist in diesem Fall deutlich weiter. Der Abbau der organischen Substanz im Boden wird als Mineralisation bezeichnet.

Humus verbessert eine Vielzahl von Bodeneigenschaften wie die Bodenstruktur, die biologische Aktivität, das Speicherungsvermögen für Wasser und Nährstoffe sowie die Filter- und

Pufferfunktion. Humus ist daher für die Erhaltung der Produktivität und Fruchtbarkeit der Böden von wesentlicher Bedeutung.

Sehr oft steht der Humusgehalt eines Standortes in einer unmittelbaren Beziehung zur Bodenart. Böden mit höheren Gehalten an Ton oder Schluff weisen zumeist auch höhere Humusgehalte auf. Für Grünlandböden ist im Allgemeinen ein ausreichender Humusgehalt gegeben, der durch die Bewirtschaftung nur in geringem Maß beeinflussbar ist, im Ackerbau sollen die in Tabelle 5 angeführten Humusgehalte angestrebt werden.

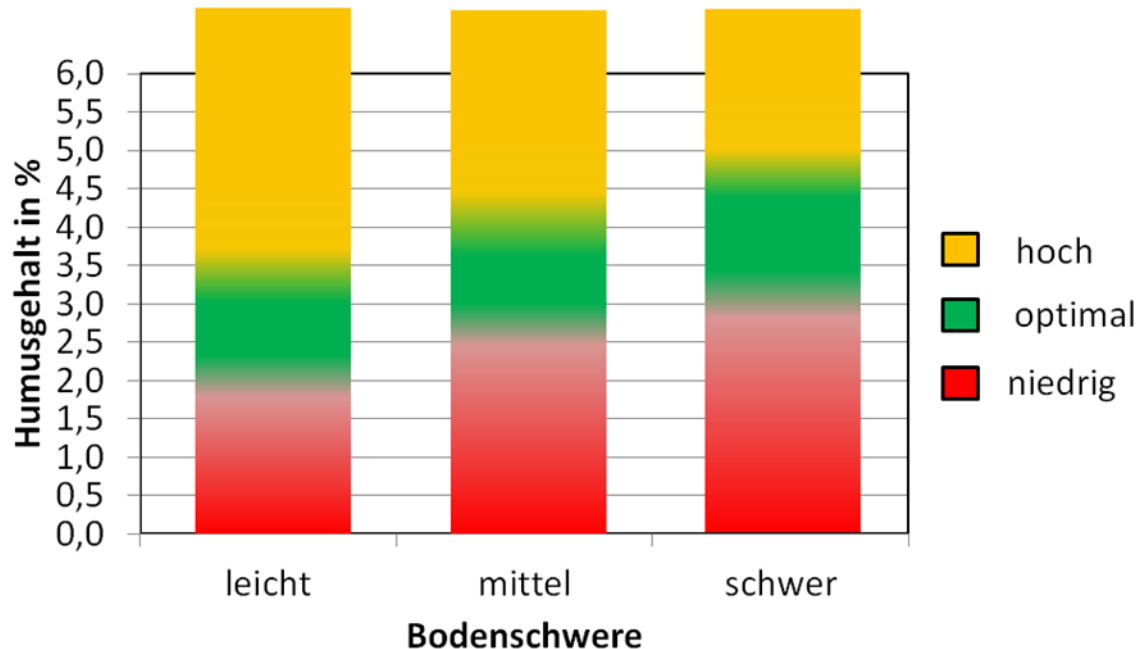
Tabelle 5: Gegenüberstellung von Bodenschwere und anzustrebendem Humusgehalt für ackerbaulich genutzte Flächen

Bodenschwere	anzustrebender Humusgehalt in %
Leicht	> 2
Mittel	> 2,5
Schwer	> 3

Der Humusgehalt eines Standortes ergibt sich aus dem Fließgleichgewicht zwischen Abbau (Mineralisierung), Aufbau (Humifizierung) und konservierenden Prozessen. In Abhängigkeit von der Bodenschwere kann eine Bandbreite definiert werden, innerhalb der der Humusgehalt liegen soll (siehe Abbildung 4). Durch kulturtechnische Maßnahmen wie Zufuhr organischer Substanz (Fruchtfolge, Wirtschaftsdünger, organische Handelsdünger, Sekundärrohstoffe), Vermeidung der Abfuhr von Ernterückständen, reduzierte Bodenbearbeitung oder gezielten Zwischenfruchtbau kann die Humusbilanz verbessert und der Humusgehalt erhöht werden.

Je nach Standortbedingungen bestehen aber auch natürliche Obergrenzen für den Humusgehalt, die nur durch permanente Zufuhr von Kohlenstoff, z. B. in Form von zusätzlicher organischer Substanz, überschritten werden können (siehe Abbildung 4). Wird diese Zufuhr gestoppt, sinkt der Humusgehalt wieder bis zum Erreichen des für den Standort typischen Gehaltes. Nicht standortgerechte, hohe Humusgehalte können daher aufgrund des hohen Mineralisationspotenzials zu höheren Stickstoffverlusten durch Austräge in die Hydro- und Atmosphäre führen, wodurch auch der Anteil des im Boden gebundenen Kohlenstoffs verringert wird.

Abbildung 4: Orientierungsbereiche für Humusgehalte in Abhängigkeit von der Bodenschwere sandiger und lehmiger, grundwasserferner Ackerböden (nach Körschens, mod.)



Das Verhältnis zwischen dem Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) - Gehalt charakterisiert die Stabilität der organischen Substanz im Boden. Je enger das C/N-Verhältnis ist, desto schneller kann ein Abbau und damit eine Freisetzung des Stickstoffs erfolgen. Das Optimum liegt etwa im Bereich von 10:1. Ein weites C/N-Verhältnis (z. B. durch Einarbeiten von Stroh) führt zu einem erhöhten Stickstoffbedarf und kann zu einer Festlegung (Immobilisierung) von verfügbarem Stickstoff führen.

Beispiele für C/N-Verhältnisse in organischen Materialien bzw. organischen Düngern:

- Stallmist: ca. 15–30:1
- Getreidestroh: ca. 100:1
- Maisstroh: ca. 60:1
- Sägespäne: ca. 500:1
- Reifkompost: ca. 10–25:1 (je nach Ausgangsmaterial)
- Pferdemist: ca. 30–40:1 (kann bei einstreuintensiven Haltungssystemen auch deutlich weiter sein)
- Rindergülle: ca. 9:1; Bandbreite 3,2 bis 15,6 (TS > 3 %) (Analysen BWSB, n=95)
- Schweinegülle: ca. 2,5:1; Bandbreite 1,2 bis 4,1 (TS ~ 2,8) (Analysen BWSB, n=19)

Beispiele für C/N-Verhältnisse in Böden

- Acker: ca. 9:1 (Bandbreite 7,9 bis 13,1; n = 266, Arbeitskreis Ackerbau OÖ; BWSB)
- Grünland: ca. 10:1 (Bandbreite 8,2 bis 15,6; n = 325, Arbeitskreis Milchviehhaltung OÖ; BWSB)

2.4.5 Carbonatgehalt

Carbonate haben Bedeutung als Puffersubstanzen, die im Boden auftretende oder in den Boden eingebrachte saure Stoffe neutralisieren können. Die Bestimmung der Carbonate erfolgt nach Scheibler (ÖNORM L 1084). Im Feld kann der Carbonatgehalt durch Versetzen des Bodens mit einigen Tropfen verdünnter Salzsäure (ca. 10 % ig) abgeschätzt werden. Die Einstufung des Carbonatgehaltes ist in Tabelle 6 angeführt.

Tabelle 6: Bewertung des Carbonatgehaltes nach Scheibler für Acker- und Grünland

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

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

2.4.6 Bodenreaktion - pH-Wert

Der Säuregrad des Bodens (pH-Wert - gemessen in CaCl_2 gemäß ÖNORM_EN_ISO_10390) spiegelt dessen Entstehung und die zugrundeliegenden chemischen Eigenschaften wider. Die chemische Bodenreaktion reicht von stark sauer bis stark alkalisch. Die Versauerung unter feuchtem Klima von Braunerden ist ein natürlicher Prozess, weil saure Protonen durch Niederschläge und die Bodenatmung eingetragen und freigesetzt werden, und mit dem Sickerwasser Base-Kationen wie Ca^{2+} und Mg^{2+} ausgewaschen werden. Bei trockenem Klima auf kalkhaltigen Böden ist der pH durchgehend alkalisch.

Die Mobilität der Nährstoffe und das Pflanzenwachstum werden von der Bodenreaktion mitbestimmt. Bei pH-Werten unter 5,5 nimmt die Verfügbarkeit der Hauptnährstoffe, aber auch jene von Molybdän und Schwefel ab. Hingegen sind die Spurennährstoffe Eisen, Mangan, Kupfer und Zink im sauren Bereich besser verfügbar.

Der anzustrebende pH-Wert richtet sich nach der Bodenschwere und der Kulturart. Werden die anzustrebenden pH-Werte unterschritten, so wird zusätzlich zur Erhaltungskalkung eine Verbesserungskalkung empfohlen. Die dafür erforderliche Kalkmenge wird im Labor durch eine Kalkbedarfsbestimmung ermittelt. (siehe auch Kapitel 3.6 „Düngung mit Kalk“). Zunächst erfolgt dazu eine Messung des pH-Wertes einer Bodensuspension in Ca-Acetat-Lösung und dann die Berechnung nach den im Anhang angeführten Formeln.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Einstufung der Bodenreaktion nach dem pH-Wert.

Tabelle 7: Einstufung der Bodenreaktion

pH-Wert (CaCl ₂)	Bodenreaktion	mg EUF-Ca II /100 g	Puffersystem	Pufferkapazität*	Einflussfaktor
unter 4,2	stark sauer	bis 9	Aluminium-Puffer	150 kmol H ⁺ je % Ton	Tonminerale
4,2–4,5			Silikat-Puffer	7,5 kmol H ⁺ je % Silikat	Silikate
4,6–5,5	sauer				
5,6–6,5	schwach sauer	10–24	Austauscher-Puffer	25 kmol H ⁺ je % Ton	Tonfraktion/ Humus
6,6–7,2	neutral	25–60	Carbonat-Puffer	300 kmol H ⁺ je % CaO	Carbonate
7,3–8,0	alkalisch	über 60			
über 8,0	stark alkalisch				

*...Die Pufferkapazität entspricht jener Menge an Säure, die ohne wesentliche Änderung des pH-Wertes neutralisiert werden kann und ist somit ein Maß für die Stabilität des pH-Wertes.

In Tabelle 8 sind die jeweils anzustrebenden pH-Werte in Abhängigkeit von Bodenschwere, Nutzungsart und Kultur angeführt.

Tabelle 8: Anzustrebende pH-Werte in Abhängigkeit von Bodenschwere, Nutzungsart und Kultur

Anzustrebender pH-Wert			
Bodenschwere	Ackerland		Grünland
	Hafer, Roggen, Kartoffel	Übrige Kulturen	
Leicht	über 5	über 5,5	um 5,0
Mittel	über 5,5	über 6	um 5,5
Schwer	über 6	über 6,5	um 6,0

2.4.7 Gründigkeit

Die Gründigkeit bezeichnet die Mächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht, die Beschreibungen sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Gründigkeit

Gründigkeit	
bis 30 cm	seichtgründig
bis 70 cm	mittelgründig
über 70 cm	tiefgründig

2.4.8 Wasserverhältnisse

Die Wasserverhältnisse können nur vor Ort beurteilt werden (Tabelle 10).

Tabelle 10: Wasserverhältnisse

Wasserverhältnisse
sehr trocken
trocken, mäßig trocken

Wasserverhältnisse

mit Wasser gut versorgt, mäßig feucht

feucht, nass

2.4.9 Grobanteil

Unter Grobanteil versteht man den Anteil an mineralischen Gemeingeteilen des Bodens, die größer als 2 mm sind. Dazu zählen Grus, Steine, Schotter und Kies. Der Grobanteil kann im Gelände abgeschätzt und gemäß Tabelle 11 klassifiziert werden:

Tabelle 11: Grobanteil

Grobanteil	
0–20 %	gering (unter 10 %) bis mäßig (10–20 %)
> 20 %	hoch (20–40 %), sehr hoch (40–70 %) oder vorherrschend (>70 %)

2.4.10 Feldkapazität/Profilkapazität

Die Feldkapazität gibt an, wieviel Wasser ein Boden nach vorhergehender Wassersättigung nach 2–3 Tagen gegen die Schwerkraft halten kann. Ihre Einheit ist Vol.-%. Sie ist abhängig von der Porenverteilung, die sich aufgrund der Bodenart, der Lagerungsdichte, dem Humusgehalt und dem Grobanteil ergibt. Bei Feldkapazität sind die Feinporen (Totwasser) Mittelporen und engen Grobporen mit Wasser gefüllt, nur die weiten Grobporen (>50 µm, Luftkapazität) sind entleert. Obwohl die Feldkapazität nur einen Punkt der Porenverteilung (pF-Kurve) wiedergibt, ist sie ein Maß für die Wasserspeicherfähigkeit eines Bodens und daher - reziprok betrachtet - auch ein Maß für die Auswaschungsgefährdung für Nährstoffe.

Die Profilfeldkapazität ist die vertikale Aufsummierung der Feldkapazitäten der einzelnen Bodenhorizonte unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Mächtigkeit bis zum Schotter oder Festgestein, maximal jedoch ein Meter. Ihre Einheit ist Millimeter. Sie wurde bundesweit auf Basis der österreichischen Bodenkartierung erstellt und ist in der digitalen Bodenkarte (bodenkarte.at) abrufbar.

2.4.11 Beurteilung der Bodenstruktur

1. Bodensonde



Mit der Bodensonde erhält man über subjektiv spürbare Widerstände im Boden Informationen über relative Dichteunterschiede. Unter frischen Bodenbedingungen (Boden im bearbeitbaren Zustand, krümelt in der Hand) drückt man die Sonde langsam und behutsam senkrecht in den Boden, um Unterschiede im Widerstand wahrzunehmen. Durch die Markierungen am Gerät kann man die jeweilige Eindringtiefe ablesen.

Die so festgestellten Unterschiede im Eindringwiderstand sollte man mittels Spatendiagnose überprüfen:

2. Spatendiagnose

Mit der Spatendiagnose (ursprünglich nach Johannes Görbing, 1930) kann man das Bruchverhalten (Übergänge), die Oberflächenstruktur, Farbe und Geruch sowie Belebtheit des Bodens im Bearbeitungshorizont beurteilen.

Dafür sticht man mit dem Spaten einen Bodenblock aus, hebt ihn vorsichtig heraus und legt ihn neben der Aushubstelle auf dem Spaten ab.



Um den Boden-Block zu lockern, kann man entweder vorsichtig den Spaten samt ausgestochenen Bodenblock auf die Bodenoberfläche aufschlagen oder mit einer Gartenkralle oder einem Taschenmesser den Verbund lösen.

Tabelle 12: Kriterien zur Beurteilung der Spatenprobe:

Merkmale	günstig	ungünstig
Größenverteilung der Aggregate	gleichmäßig kleine Aggregate (< 5 mm)	inhomogene grobe Klumpen
Gefügeform (Struktur)	porös, locker, krümelig (runde Aggregate)	fest, dicht, plattig, scharfkantig
Übergang	allmählich	abrupt - von locker zu dicht
Farbe	gleichmäßig braun bzw. dunkel	graue/blaue Flecken Reduktionszonen)
Geruch	erdig	faulig
Ernterückstände	in Abbau, gleichmäßig verteilt	frisch „einzementiert“, verpilzt, ungleichmäßig verteilt (Matte)

Merkmale	günstig	ungünstig
Durchwurzelung	gleichmäßig, hohe Dichte, gerade Pfahlwurzel	ungleichmäßig, Wurzelfilz auf Kluftflächen, wurzeleere Zonen, horizontales Ausweichen von Pfahlwurzeln
Poren	zahlreiche Wurm- und Wurzelröhren (Grobporen)	wenig porös
Regenwürmer*	> 8	< 4

*bei einer Beurteilung im Sommer können trotz hohen Besatzes in der oberen Bodenschicht keine Würmer gefunden werden.

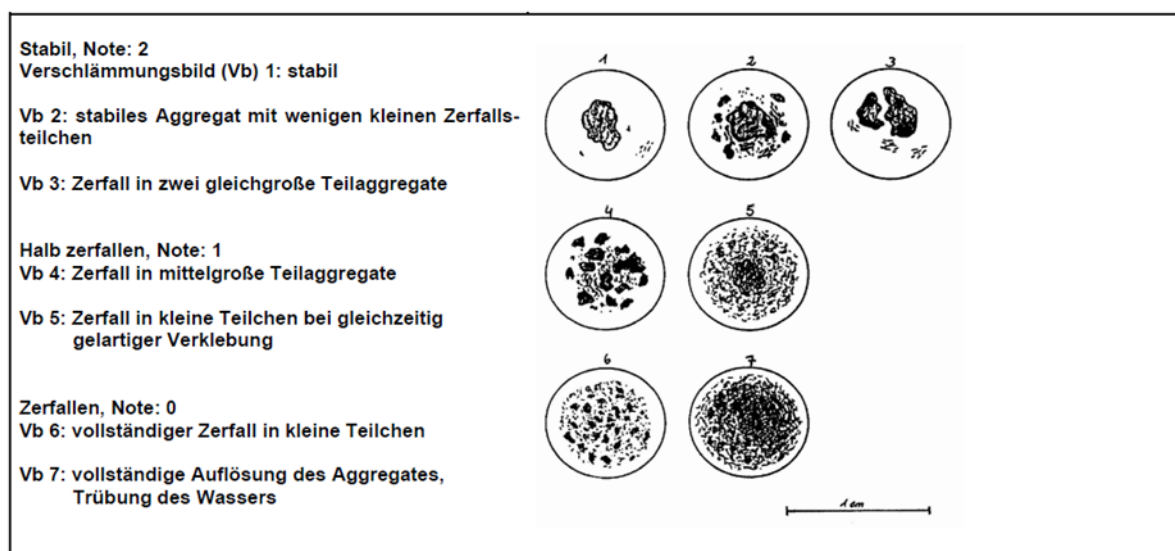
3. Krümeltest nach Sekera

Die Aggregatstabilität an der Bodenoberfläche nimmt entscheidenden Einfluss auf das Erosionsverhalten. Diese kann man mit dem Krümeltest nach Sekera abschätzen.

Dafür gibt man einige lufttrockene ca. 3 mm große Krümel in eine flache Schale, die ½ cm hoch mit Regenwasser oder destilliertem Wasser gefüllt ist (Schälchenmethode). Dann beurteilt man das Verschlammungsbild.

Abbildung 5: Zerfallsbonitur des Aggregatstabilitätstests Beispiel: lehmige Böden (BESTE 2003)

Die Aggregatstabilitätstests wurden mit abgesiebten Aggregaten der Fraktion 3-5 mm durchgeführt.



Quelle: www.gesunde-erde.net



Bild links: Echte Krümel sind wasserbeständig. Der Boden verschlämmt nicht.

Bild Mitte: Unechte, instabile Krümel zerfallen bei leichter Wassereinwirkung.

Bild rechts: Der Boden verschlämmt, lagert dicht und neigt zu Erosion.

Fotos: Winkovitsch

Echte Krümel sind 2 bis 4 mm groß, rund und haben viele Einbuchtungen. Sie liegen locker aneinander und bilden viele Hohlräume. Sie lassen sich durch Kneten zwar zerstören, aber nicht zusammenkleben. Stabile Krümel entstehen durch Lebendverbauung. Förderlich dafür sind die Zufuhr/der Erhalt von organischer Substanz sowie Bodenruhe.

Unechte Krümel entstehen durch mechanische Zerkleinerung, sind kantig und liegen dicht aneinander.

Literatur: Erweiterte Spatendiagnose, Andrea Beste, Verlag Dr. Köstner Berlin, ISBN 3-89574-484-0

2.4.12 Pflanzenverfügbare Nährstoffe

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

2.4.13 Stickstoff

Der Gesamtbedarf an Stickstoff ist im Wesentlichen von der Kulturart und deren Ertragsniveau abhängig. Im Gegensatz zu allen anderen Nährstoffen liegt der überwiegende Anteil des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden in leicht löslicher Form (Nitrat, Ammonium) vor. Der Gehalt dieses „mineralischen“ Stickstoffs ($N_{\min}$) kann zwar sehr gut bestimmt werden, allerdings kann er sich durch Schwankungen von Temperatur und Feuchtigkeit, aber

auch mit der Aufnahme durch die Pflanze oder Verluste durch Auswaschung oder Ausgasung sowie durch Immobilisierungsprozesse innerhalb kurzer Zeit ändern. Die Untersuchung des leicht verfügbaren Stickstoffs ist daher nur zu genau definierten Zeitpunkten sinnvoll und wird im Kapitel „Stickstoffdüngung nach $N_{\min}$ “ detailliert beschrieben.

Die Bemessung der N-Düngung erfolgt für Ackerkulturen üblicherweise auf Basis von Richtwerten, wobei in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortbedingungen Zu- und Abschläge vorgenommen werden. Die Mineralisierung von pflanzenverfügbarem Stickstoff aus organischer Substanz hängt von einer Vielzahl von Standortfaktoren ab, wobei der Witterung (Temperatur, Feuchtigkeit) eine wesentliche Bedeutung zukommt. Abhängig von Bodeneigenschaften wie Humusgehalt, C/N-Verhältnis, Tongehalt, pH-Wert, Gefügeform oder Porenvolumen ist für jeden Boden ein bestimmtes Mineralisierungspotenzial gegeben, das je nach Witterungsbedingungen mehr oder weniger ausgeschöpft werden kann. Es ist daher nicht möglich, eine unmittelbar anrechenbare Menge an freigesetztem Stickstoff zu ermitteln, allerdings kann durch ein System an Zu- und Abschlägen eine feinere Justierung der Stickstoffdüngung erreicht werden (siehe auch Tabelle 33).

Das Mineralisierungspotenzial des Bodens kann mit folgenden Methoden abgeschätzt werden:

- N-Mineralisierung im anaeroben Brutversuch (nach Kandeler, 1993)
- N-Mineralisierungspotenzial nach EUF (siehe Punkt 1.4.4)

Die Einstufung des N-Mineralisierungspotenzials aufgrund der Ergebnisse der Untersuchung der Mineralisierung im anaeroben Brutversuch und des Mineralisierungspotenzials nach EUF N_{org} ist in Tabelle 13 wiedergegeben. Wenn keine Ergebnisse auf Basis dieser Verfahren vorliegen, kann auch der Humusgehalt für eine Abschätzung herangezogen werden.

Tabelle 13: Einstufung des Stickstoffmineralisierungspotenzials durch die anaerobe Mineralisierung, Mineralisierungspotenzial nach EUF N_{org} und Humusgehalt

Einstufung des Mineralisierungspotenzials	Anaerobe N-Mineralisation in mg N/1.000 g Feinboden und Woche	Mineralisierungs-potenzial nach EUF N_{org} (mg/100 g Feinboden)	Einstufung nach dem Humusgehalt (%)
niedrig	< 35	< 1,5	< 2
mittel	35–75	1,5–2,5	2–4,5

Einstufung des Mineralisierungspotenzials	Anaerobe N-Mineralisation in mg N/1.000 g Feinboden und Woche	Mineralisierungspotenzial nach EUF N _{org} (mg/100 g Feinboden)	Einstufung nach dem Humusgehalt (%)
hoch	> 75	> 2,5	> 4,5

Auf Standorten mit pH-Wert < 5,5 kann in den meisten Fällen ein niedriges N-Mineralisierungspotenzials angenommen werden.

Darüber hinaus kann die Stickstoffversorgung auch mit anderen Methoden wie z. B. dem N-Tester (siehe Kapitel 3.3.1.5) abgeschätzt und für die Düngeempfehlung berücksichtigt werden.

2.4.14 Phosphor und Kalium

Die Bestimmung des Gehaltes an „pflanzenverfügbarem“ Phosphor und Kalium erfolgt im Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Extrakt gemäß ÖNORM L 1087. Bei Böden mit pH-Werten unter 6 werden apatitische Phosphate unzureichend erfasst. Der in sauren Böden „pflanzenverfügbare Phosphor“ wird in der Regel mit dem aus dem CAL-Extrakt erhaltenen Phosphorwert mithilfe eines Korrekturfaktors gemäß ÖNORM L 1087 berechnet. Bei hohem Carbonatgehalt ist mittels CAL eine Unterbewertung der P-Verfügbarkeit möglich, mit dem pH im CAL-Extrakt kann eine Korrektur erfolgen. Bei Trockenheit besonders im Frühjahr kann die P-Verfügbarkeit vermindert sein. Die Ergebnisse werden jeweils in mg Reinnährstoff (P oder K) pro 1.000 g Feinboden angegeben. Die Zuordnung der Analysenwerte zu den entsprechenden Gehaltsklassen und Versorgungsstufen erfolgt gemäß den Tabelle 14 und Tabelle 16.

Tabelle 14: Einstufung der Phosphorgehalte

		Ackerland	Grünland
Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung		mg P/1.000 g
A	sehr niedrig	unter 26	unter 26
B	niedrig	26–46	26–46
C*	ausreichend	47–111	47–68
D	hoch	112–174	69–174
E	sehr hoch	über 174	über 174

*Eine Abstufung der Düngeempfehlung innerhalb der Gehaltsklasse C erfolgt entsprechend der Tabelle 42

Entspricht der Gehalt an Phosphor der Gehaltsklasse D (hoch versorgt), ist bei Hackfrüchten eine Phosphatdüngung in halber Höhe der für die Gehaltsklasse C empfohlenen Gaben sinnvoll (siehe Tabelle 43), sofern die Gehalte an wasserlöslichem Phosphor unter den in Tabelle 15 angeführten Mindestgehalten liegen (siehe auch Kapitel 3.4 „Düngung mit Phosphor und Kalium“).

Die zur Präzisierung der P-Düngungsempfehlung verwendete Bestimmung des wasserlöslichen Phosphors erfolgt gemäß ÖNORM L 1092 im Extraktionsverhältnis 1+20.

Tabelle 15: Mindestgehalten an wasserlöslichem Phosphor für Wertebereiche innerhalb der Gehaltsklasse D

Wertebereiche Gehaltsklasse D für Phosphor	Mindestgehalt an wasserlöslichem Phosphor
mg P/1.000 g P (CAL)	mg P/1.000 g (H ₂ O)
112–129	8,7
130–159	6,5
160–174	4,4

Für die Einstufung des Kaliumgehaltes ist neben dem Gehalt im CAL-Extrakt auch die Bodenschwere (gemessen am Tongehalt) von wesentlicher Bedeutung. Darüber hinaus sind Grünlandstandorte anders als Ackerstandorte zu bewerten. Die entsprechenden Zuordnungen sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tabelle 16: Einstufung der Kaliumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere

				Ackerland	Grünland
	mg K/1.000 g				
	Bodenschwere / Tongehalt %				
Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	leicht	mittel	schwer	
		< 15	15–25	> 25	

				Ackerland	Grünland
A	sehr niedrig	unter 50	unter 66	unter 83	unter 50
B	niedrig	50–87	66–112	83–137	50–87
C*	ausreichend	88–178	113–212	138–245	88–170
D	hoch	179–291	213–332	246–374	171–332
E	sehr hoch	über 291	über 332	über 374	über 332

* Eine Abstufung der Düngeempfehlung innerhalb der Gehaltsklasse C erfolgt entsprechend der Tabelle 42

Bei der Erstellung der Düngeempfehlung ist zusätzlich auf das Verhältnis zwischen Kalium und Magnesium zu achten (siehe Kapitel 3.4 „Düngung mit Phosphor und Kalium“).

2.4.15 Kaliumfixierung

In tonreichen Böden kann es zur Festlegung von Kalium kommen. Aus dem analytisch ermittelten Wert der Kaliumfixierung (ONR 121097) wird die zum Ausgleich notwendige Menge an Kaliumdüngung mit nachfolgender Formel ermittelt:

Ausgleichsdüngung (kg/ha K₂O) = (Kaliumfixierung in mg K/1.000 g-249) x 0,84.

Diese so ermittelte Ausgleichsdüngung soll über mehrere Jahre hinweg bis zur nächsten Bodenuntersuchung erfolgen und dann die Kaliumfixierung wieder überprüft werden.

2.4.16 Magnesium

Der Gehalt an „pflanzenverfügbarem“ Magnesium wird gemäß ÖNORM L 1093 (Methode nach Schachtschabel im CaCl₂-Extrakt) oder im CAT-Extrakt gemäß VDLUFA Methodenbuch ermittelt. Ebenso wie beim pflanzenverfügbaren Kalium spielt die Bodenschwere für die Einstufung eine wesentliche Rolle, die Kulturart ist hingegen ohne Belang. Die Zuordnungen der Werte zu den Gehaltsklassen sind in Tabelle 17 angeführt.

Tabelle 17: Einstufung der Magnesiumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere

mg Mg/1.000 g				
Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	Bodenschwere/Tongehalt (%)		
		leicht	mittel	schwer
		< 15	15–25	> 25
A	sehr niedrig	-	unter 30	unter 40
B	niedrig	unter 50	30–55	40–75
C	ausreichend	50–75	56–105	76–135
D	hoch	76–150	106–190	136–220
E	sehr hoch	über 150	über 190	über 220

Bei der Erstellung der Düngeempfehlung ist zusätzlich auf das Verhältnis zwischen Kalium und Magnesium zu achten (siehe Kapitel 2.4 „Düngung mit Magnesium im Acker- und Grünland“).

2.4.17 Austauschbare Kationen

Böden zeigen aufgrund der elektrischen Ladung von Ton- und Humusteilchen sowie von Oxiden eine negative Überschussladung. Daher können positiv geladene Ionen die sogenannten Kationen an den Oberflächen adsorbiert und in pflanzenverfügbarer Form gut gespeichert werden. Dazu zählen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium als „basisch wirkende“ und Aluminium, Eisen, Mangan und Wasserstoffionen als „sauer wirkende“ Kationen. Die Mengen und Anteile der genannten Kationen sowie deren Summe (=Kationenaustauschkapazität, Abkürzung KAK) in den Böden wird durch Art und Gehalt an Tonmineralen und Humus sowie durch den pH-Wert bestimmt und variiert daher in einem weiten Bereich. Ton- und humusreiche Böden haben eine höhere Sorptionskraft und damit auch eine höhere Austauschkapazität als humusarme Sandböden. Die Austauschkapazität wird in centimol Ionenäquivalent pro 1.000 g Boden ($\text{cmol}^+/1000 \text{ g}$) angegeben und liegt zumeist im Bereich zwischen 10 und 30 $\text{cmol}^+/1.000 \text{ g}$.

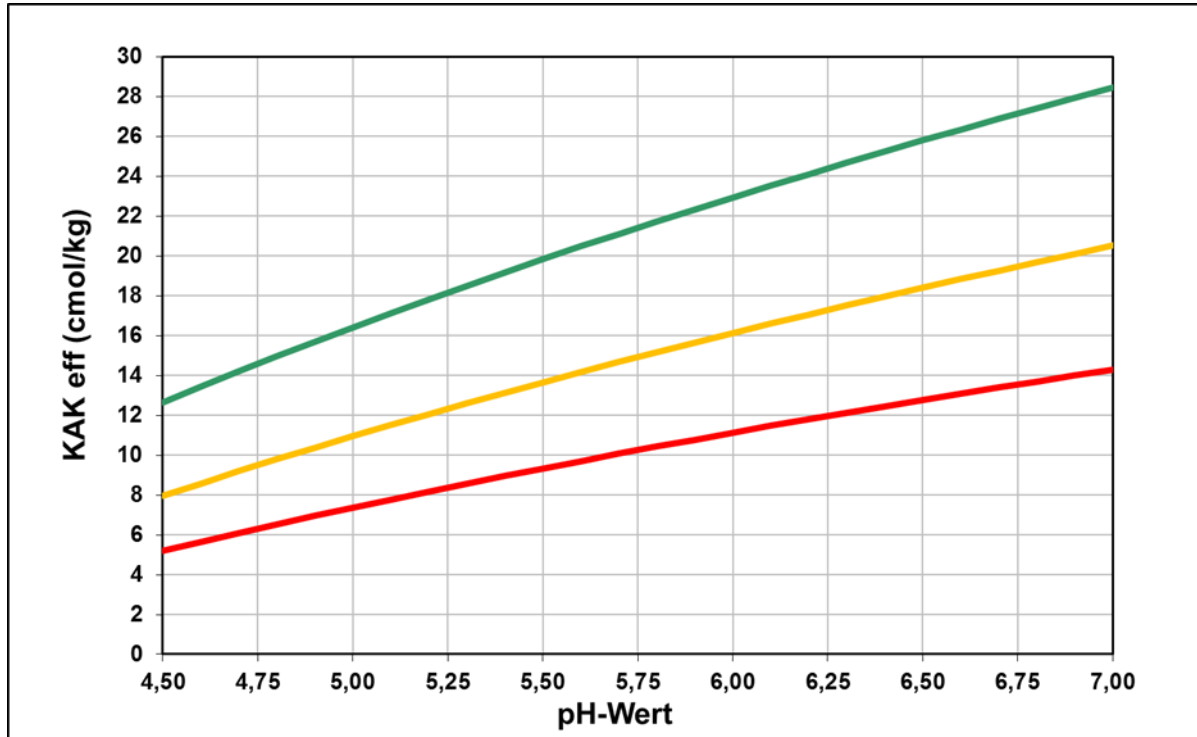
Die Bestimmung der effektiven KAK (KAK_{eff}) erfolgt in der Routinebodenanalytik gemäß ÖNORM L 1086-1 nach Extraktion mit einer ungepufferten Bariumchlorid-Lösung beim aktuellen pH-Wert des Bodens (0.1 M $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ im Verhältnis 1:20).

Abbildung 6 zeigt die KAK_{eff} von leichten, mittleren und schweren Böden vom sauren bis neutralen pH-Wertebereich auf Ackerstandorten in Oberösterreich. Die Zunahme der KAK_{eff} mit steigendem pH ist deutlich ersichtlich. Für leichte Böden (Ton < 15 %; Humus < 2,5 %) liegt bei einem anzustrebenden pH-Wert über 5,5 die KAK_{eff} um 10 cmol/kg, für mittlere Böden (Ton 15–25 %; Humus 2,5–3,75 %) bei einem anzustrebenden pH über 6,0 um 16 cmol/kg und für schwere Böden (Ton > 25 %; Humus 2,5–6,5 %) bei einem anzustrebenden pH über 6,5 um 26 cmol/kg. Liegt der aktuelle pH-Wert jedoch um 0,5 Einheiten niedriger als der anzustrebende pH, ist die KAK_{eff} auf leichten Böden um 2 cmol/kg (–21 %), auf mittleren Böden um 2,5 cmol/kg (–15 %) und auf schweren Böden um fast 3 cmol/kg (–11 %) vermindert. Bei einer noch akuterer Versauerung um 1 pH-Einheit liegt je nach Bodenschwere von leicht bis zu schwer die KAK_{eff} um 4 cmol/kg (–44 %), um 5 cmol/kg (–32 %) und um 6 cmol/kg (–23 %) niedriger. Die große Bedeutung der Erhaltung eines optimalen Säuregrades für das Nährstoffspeichervermögen wird damit belegt.

Eine Abschätzung der effektiven Austauschkapazität ist bei Böden mit pH-Werten über 6,5 mit folgender Formel möglich:

$$\text{Summe der Kationen (cmol}^+/\text{1.000 g)} = (\text{Humusgehalt (\%)} \times 2) + (\text{Tongehalt (\%)} / 2)$$

Abbildung 6: pH-Wert und effektive KAK von leichten (Ton < 15 %, Humus < 2,5 %: rote Linie), mittleren (Ton 15–25 %, Humus 2,5–3,75 %: gelbe Linie) und schweren Böden (Ton > 25 %, Humus 2,5–6,5 %: grüne Linie)



Ökologisch gesehen ist es sinnvoller, die Basensättigung auf die KAK_{eff} zu beziehen, da in vielen Böden die KAK_{pot} nicht erreicht wird, wofür generell ein pH-Wert um 7 erforderlich wäre. Aus Abb. 7 mit vielen Daten aus dem Waldviertel, wo die sauersten Standorte in Österreich liegen, ist ersichtlich, dass bis zu einem pH von 5,5 noch 98 % der KAK_{eff} mit Basen (Ca, Mg, K und Na) abgesättigt sind, bei pH von 5,0 sind es 92–97 %. Unter dem pH-Bereich von 5,0 geht der Basenanteil deutlich zurück und zugleich steigt der Anteil des austauschbaren Aluminiums exponentiell an (16 % bei pH 4,5 und 38 % bei pH 4,0), der Anteil des austauschbaren Mangans steigt hingegen nur wenig auf etwa 3 % bei pH 4,0 (Abb. 8). Bei erhöhten Gehalten von sauer wirkenden Kationen in diesem niedrigen pH-Bereich ist eine rasche Verbesserungskalkdüngung unbedingt erforderlich.

Abbildung 7: pH-Wert und Basensättigung in % bezogen auf KAK_{eff}

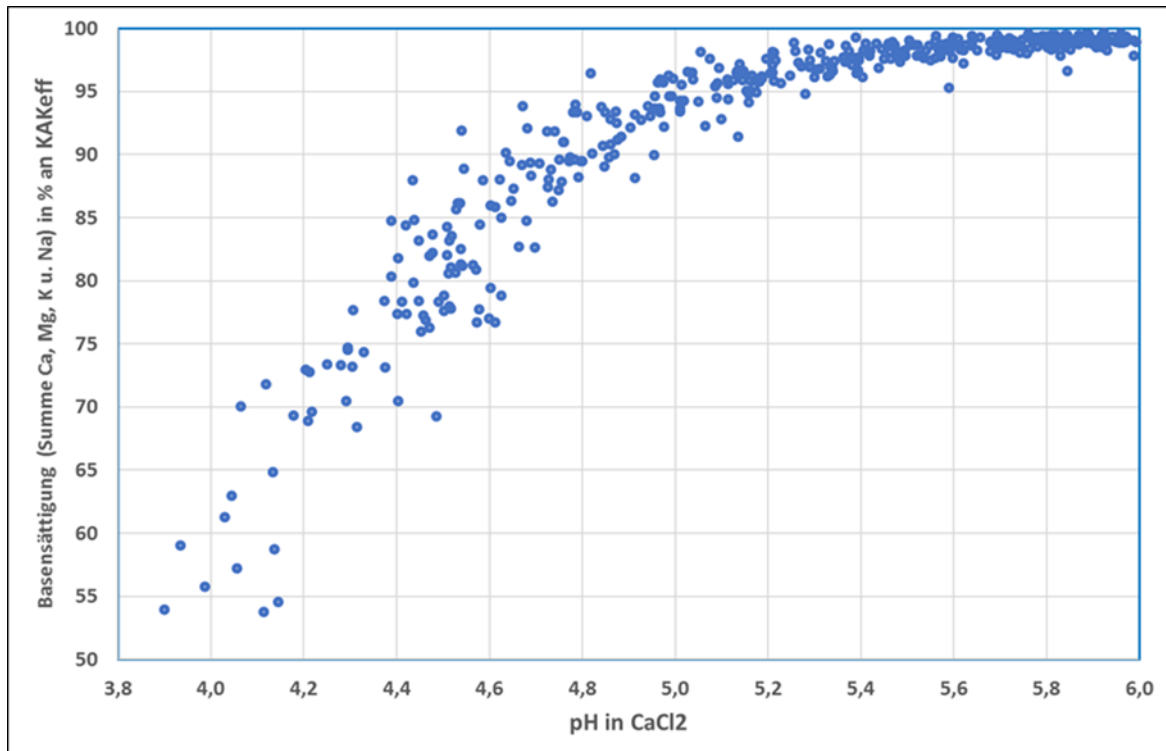
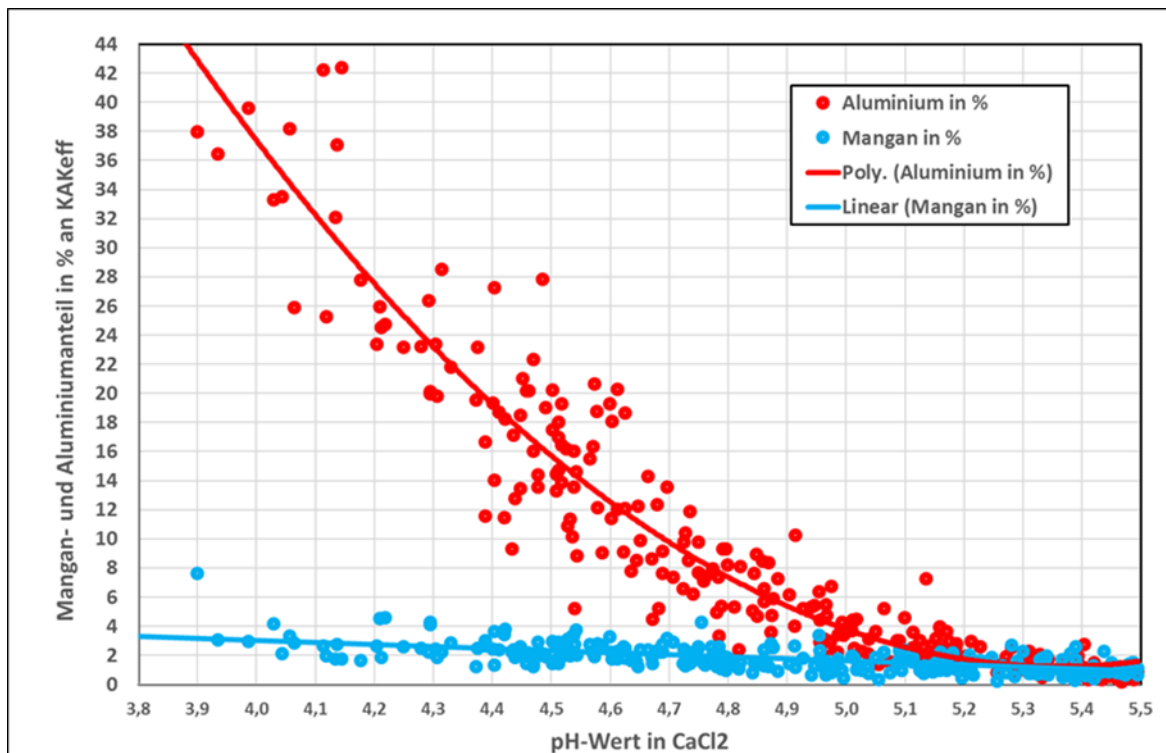


Abbildung 8: pH-Wert und Aluminium- und Mangananteil bezogen auf KAK_{eff}



Die Bestimmung der potentiellen KAK (KAK_{pot}) hingegen erfolgt in einer auf $pH > 7$ eingestellten gepufferten $BaCl_2$ -Lösung. Die KAK_{eff} liegt umso mehr unterhalb der KAK_{pot} , je niedriger der pH-Wert und je höher der Anteil an variabler Ladung ist. Der Unterschied ist daher bei sauren, humosen Sandböden besonders groß. Wird der pH-Wert solcher Böden durch Kalkung erhöht, so steigen je nach Anteil variabler Ladung die Menge austauschbarer Kationen, v.a. Ca., und somit die KAK_{eff} an. Die potentielle Kationenaustauschkapazität kann durch Aufsummierung der KAK_{eff} und den aus dem pH-Acetat errechneten, dissoziierten H^+ -Ionen nach Schachtschabel näherungsweise abgeschätzt werden, wobei sich für Ackerböden eine recht gute Übereinstimmung ($r=0,90$ und hochsignifikant) mit der analytischen Bestimmung gezeigt hat (Oberösterreichische Bodenzustandsinventur 1993).

Die Aggregatstabilität mittlerer und schwerer Böden wird durch einen höheren Anteil an austauschbarem Calcium an den variablen Ladungen gefördert. Eine hohe Calcium-Sättigung wirkt sich weiters durch die Bildung von Calcium-Brücken zwischen den Bodenkolloiden günstig auf die physikalischen Eigenschaften (Porenanteil, Wasseraufnahme, geringere Verschlammungs- und Erosionsgefahr) aus.

Um ein ausgeglichenes Nährstoffangebot und eine günstige Bodenstruktur zu gewährleisten, soll der Sorptionskomplex des Bodens bezogen auf KAK_{eff} folgendermaßen belegt sein:

75–90 % mit Calcium (Ca)

5–15 % mit Magnesium (Mg)

2–5 % mit Kalium (K)

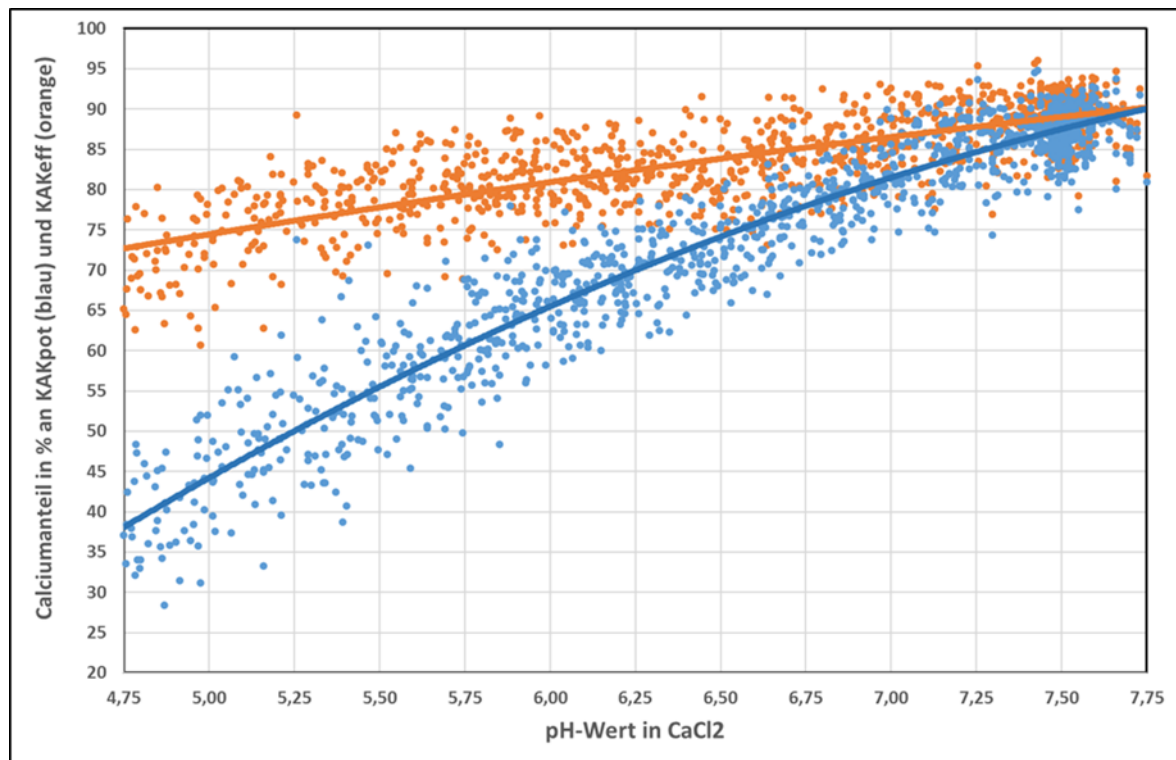
weniger als 1 % mit Natrium (Na)

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

In der Abb. 9 ist Calcium-Anteil an der KAK_{eff} und der errechneten KAK_{pot} in Abhängigkeit vom pH-Wert dargestellt, um die Ableitung des angegebenen Bereiches zu dokumentieren. Bezogen auf die errechnete KAK_{pot} ergibt sich eine größere Spanne von 60–90 % Calcium

am Sorptionskomplex, bei dem die pH-Werte im anzustrebenden Bereich liegen. Hinsichtlich der Verfügbarkeit der meisten Nährstoffe gilt ein pH-Bereich von etwa 5,75 bis 7 als ideal, woraus sich die häufig genannten optimalen Ca- Anteile von etwa 80–85 % bezogen auf KAK_{eff} und etwa 65–75 % bezogen auf KAK_{pot} ergeben. Auf den kalkhaltigen Böden im Nordosten Österreichs liegt der Ca-Anteil bezogen auf KAK_{eff} und KAK_{pot} zwischen 85 bis knapp über 90 %, wobei dieser Anteil kaum veränderbar ist. Auf eine ausreichende Mg- und Kaliumversorgung ist zu achten.

Abbildung 9: pH-Wert und Calciumanteil bezogen auf KAK_{eff} und errechnete KAK_{pot} (über 1.000 Daten von Ackerproben aus OÖ., NÖ. und Burgenland)



Werden die austauschbaren Mg- und K-Ionen nach der KAK_{eff} -Bestimmung entsprechend ihrer Ionenäquivalente (Wertigkeit, Molekulargewicht) in mg/kg umgerechnet, ergeben sich bei der Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität etwa die 1,6-fache Menge an Mg im Vergleich zu Mg im $CaCl_2$ -Auszug (nach Schachtschabel) sowie die 1,2-fache Menge an Kalium im Vergleich zu K im CAL-Extrakt.

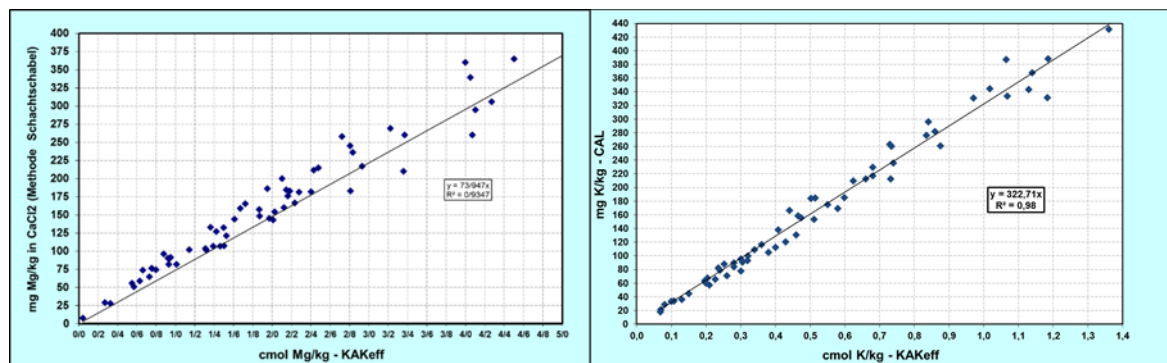
Die absoluten austauschbaren Mg- und K-Gehalte sind mit den entsprechenden pflanzenverfügbaren Gehalten hoch korreliert (Abbildung 10) und können im Bedarfsfall aus ihnen

abgeleitet werden. In der folgenden Tabelle 18 sind die KAK_{eff} Werte für die Mg-Gehaltsklassen analog zu Tabelle 17 enthalten.

Tabelle 18: KAK_{eff} Werte für die Mg-Gehaltsklassen

Gehaltsklasse	Mg-cmol/kg (KAK_{eff})		
	leicht	mittel	schwer
A		unter 0,40	unter 0,53
B	unter 0,67	0,41–0,73	0,54–1,00
C	0,67–1,00	0,74–1,40	1,01–1,80
D	1,01–2,00	1,41–2,55	1,81–2,95
E	über 2,00	über 2,55	über 2,95

Abbildung 10: Zusammenhang zwischen austauschbarem Kalium und Magnesium (KAK_{eff}) und dem „pflanzenverfügbaren“ Kalium (K-CAL) und Magnesium (in $CaCl_2$): 63 Datensätze aus ALVA-Ringversuchen aus den Jahren 2000–2020 (je 3 Proben pro Jahr)



Sollte nur ein Ergebnis der Untersuchungen der Kationenaustauschkapazität vorliegen, kann mit den obigen Formeln der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium und Magnesium und damit die Gehaltsklasse abgeschätzt werden.

Beispiel: Basierend auf der Formel $y=73,947x$ kann ein Messwert für das austauschbare Magnesium in der Höhe von angenommen 1,25 cmol Mg/kg in mg pflanzenverfügbares Magnesium je kg umgerechnet werden:

$$Mg_{CaCl_2} = 73,947 \times 1,25 \approx 92 \text{ mg Mg/kg}$$

Auf einem leichten Boden entspricht dies gemäß Tabelle 17 der Versorgungsstufe D und auf einem mittelschweren oder schweren Boden der Stufe C.

Die in der Routine-Bodenanalytik verwendeten Verfahren erfassen einen Mg- und K-Pool, der zu einem hohen Anteil aus den austauschbaren Kationen besteht. Mit dem CAL-Extrakt werden etwa 82 % des austauschbaren Kaliums, mit dem Extrakt nach Schachtschabel etwa 62 % des austauschbaren Magnesiums erfasst.

Der Na-Anteil liegt zumeist unter 1 %, weil Na nur schwach am Sorptionskomplex gebunden wird. Deutlich höhere Na-Anteile finden sich nur in streusalzbeeinflussten Böden und in einigen trockenen Gebieten (Salzböden) im Osten und Nordosten.

Die KAK und die Anteile der basisch wirkenden Kationen können bei Problemstandorten eine Ergänzung zu den Ergebnissen aus den Standarduntersuchungen (pH-Wert, Humusgehalt, Tongehalt/Bodenschwere, Magnesiumgehalt) liefern, aus der in Abstimmung mit einem Berater entsprechende zusätzliche Maßnahmen wie Kalkung, Kalium- oder Magnesiumzufuhr abgeleitet werden können. Bei Belegungsanteilen unter 60 % für Calcium ist eine Kalkung auch bei pH-Werten über 6 zu empfehlen.

2.4.18 Spurenelemente

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

- Extraktion gemäß ÖNORM L 1089 (EDTA) für Eisen, Mangan, Kupfer und Zink
- Extraktion gemäß ÖNORM L 1090 (Acetat) für Bor

Tabelle 19: Einstufung der Gehalte an Spurenelementen

		Bor		Kupfer	Zink	Mangan	Eisen
		mg/1000g					
		Bodenschwere					
Gehaltsklasse	Versorgung	leicht	mittel, schwer				
A	niedrig	unter 0,2	unter 0,3	unter 2	unter 2	unter 20	unter 20
C	mittel	um 0,6	um 0,8	um 8	um 8	um 70	um 100
E	hoch	über 2,0	über 2,5	über 20	über 20	über 200	über 300

Von einigen Labors wird die Bestimmung von Mangan, Kupfer, Zink und Bor im Extrakt mit $\text{CaCl}_2/\text{DTPA}$ (CAT) - Lösung gemäß VDLUFA - Methodenbuch angeboten. Derzeit liegt für Standorte in Österreich allerdings noch keine Kalibrierung in Bezug auf die Zuordnung der Werte zu Gehaltsklassen vor.

2.4.19 Einstufung der Nährstoffversorgung nach der EUF - Methode

2.4.19.1 Prinzip der Methode

Das Prinzip des Verfahrens der Elektro-Ultrafiltration (EUF) besteht darin, einer Suspension von Boden in Wasser (Verhältnis 1 + 10) durch das Anlegen elektrischer Spannung Nährstoffe zu entziehen. Dabei werden neben der Spannung auch Temperatur und Zeit variiert, wodurch Nährstoff-Fractionen mit unterschiedlicher Bindungsstärke und damit unterschiedlicher Pflanzenverfügbarkeit gewonnen werden. Routinemäßig werden in einem Extraktionsvorgang für jeden Nährstoff zwei Fractionen erfasst. Die in der 1. Fraction enthaltenen Nährstoffe sind leicht für die Pflanze verfügbar. Die anschließende 2. Fraction charakterisiert das Nachlieferungspotenzial.

2.4.19.2 Mineralischer Stickstoff- und Mineralisierungspotenzial nach EUF

Berechnungsgrundlagen:

- Nitratstickstoff (EUF-NO₃-N: Summe der Gehalte der 1. und 2. Fraktion)
- mineralisierbarer organischer Stickstoff (EUF-N_{org}: Summe der Gehalte der 1. und 2. Fraktion)
- Nachhaltigkeit der Mineralisierung (EUF-N_{org}-Q: Quotient aus 2. und 1. Fraktion des EUF-N_{org})

Festgestellte mittlere Gehalte

EUF-NO₃-Stickstoff:

Nach Ende der Nährstoffaufnahme der Vorfrucht findet sich in der Regel ein Gehalt von weniger als 1,5 mg/100 g Boden. Nach anhaltenden Trockenperioden können höhere Werte auftreten.

EUF-N_{org}:

Die Gehalte sind in hohem Maße standort- und bewirtschaftungsabhängig. 90 % der beobachteten Werte liegen zwischen 1,3 und 2,8 mg/100 g Boden.

Auf Standorten mit sehr niedrigem Gehalt an Calcium (kleiner 20 mg EUF-Ca/100 g Boden in der 2. Fraktion) können Gehalte größer 4 mg EUF-N_{org}/100 g Boden auftreten. Diese sind ein Hinweis auf eine gestörte Mineralisierung infolge der gegebenen sauren Bodenbedingungen.

Die Kalkulation des Stickstoffnachlieferungspotenzials zur aktuellen Kultur erfolgt auf Basis der folgenden Berechnung:

$$\text{Nitrat} \times 44 + \text{N}_{\text{org}} \times 44 + \text{N}_{\text{org-Q}} \times 150 (-75) = \text{kg N/ha Nachlieferung aus dem Boden}$$

Das „langfristige Stickstoffnachlieferungspotenzial“ (Mineralisierungspotenzial) wird entsprechend der Formel:

$$\text{N}_{\text{org}} \times 44 + \text{N}_{\text{org-Q}} \times 150 (-75) = \text{kg N/ha Nachlieferung aus dem Boden abgeschätzt.}$$

Liegen schlechte Mineralisierungsbedingungen vor, können vom ausgewiesenen Nachlieferungspotenzial Abschlüsse gemacht werden.

Tabelle 20: Richtwerte zur Einstufung des Stickstoffnachlieferungspotenzials

Stickstoffnachlieferungspotenzial	Nachlieferung aktuell kg N/ha aus EUF-N	Nachlieferung langfristig kg N/ha aus EUF-N _{org}
Niedrig	< 140	< 70
Mittel	140–170	70–100
Hoch	> 170	> 100

2.4.19.3 Einstufung der Phosphorgehalte nach EUF

Berechnungsgrundlage:

- sofort verfügbarer Phosphor (EUF-P I: P-Gehalt der 1. Fraktion)
- nachlieferbarer Phosphor (EUF-P II: P-Gehalt der 2. Fraktion)
- Nachlieferungsvermögen (EUF-P II/EUF-P I)
- EUF-Calcium-Gehalt (EUF-Ca II: Ca - Gehalt der 2. Fraktion)

Festgestellte mittlere Gehalte:

Phosphor liegt im Boden in verschiedenen chemischen Bindungen vor. Über die letztlich pflanzenverfügbare Phosphormenge entscheidet neben dem Gehalt an EUF-P I und EUF-P II der Gehalt an EUF-Ca II. Dieser definiert den Kalkzustand des Bodens.

Für Standorte mit niedrigem Calciumgehalt (25 bis 45 mg EUF-Ca II/100 g Boden) findet sich in Summe der Gehalte an EUF-P I und EUF-P II ein mittlerer Wert von ca. 3,7 mg P/100 g Boden. Bei hohem Calciumgehalt (55 bis 75 mg EUF-Ca II/100 g Boden) liegt der vergleichbare Wert bei ca. 2,2 mg P/100 g Boden. Letztere Standorte zeichnen sich durch ein hohes Nachlieferungsvermögen aus.

Gehaltsklassen:

Die der Einteilung in Gehaltsklassen zugrundeliegenden Grenzwerte (Summe EUF-P I und EUF-P II) stehen in Abhängigkeit des EUF-Calcium-Gehaltes und des Nachlieferungsvermögens für Phosphor. Tabelle 21 zeigt den Zusammenhang anhand von zwei Fallbeispielen

Tabelle 21: Einstufung der EUF - Phosphorgehalte

Richtwerte EUF-P in mg/100 g Boden			
Gehaltsklasse	Versorgung	EUF-Ca II = 40 EUF-P II/EUF-P I = 0,5	EUF-Ca II = 60 EUF-P /EUF-P I = 0,8
A	sehr niedrig	bis 1,1	bis 1,0
B	niedrig	bis 2,1	bis 1,9
C	ausreichend	bis 4,8	bis 4,3
D	hoch	bis 8,2	bis 7,5
E	sehr hoch	über 8,2	über 8,2

2.4.19.4 Einstufung der Kaliumgehalte nach EUF

Berechnungsgrundlagen:

- sofort verfügbares Kalium (EUF-K I: K-Gehalt der 1. Fraktion)
- nachlieferbares Kalium (EUF-K II: K-Gehalt der 2. Fraktion)
- Nachlieferungsvermögen (EUF-K II/ EUF-K I)
- EUF-Calcium-Gehalt (EUF-Ca II: Ca-Gehalt der 2. Fraktion)

Berücksichtigung findet ferner als Maß der Bodenschwere der Gehalt an kaliumselektiven Mineralien (KSM). Dieser wird aus den vorliegenden EUF-Daten ermittelt.

Festgestellte mittlere Werte:

Für Standorte mit niedrigem Calciumgehalt (25 bis 45 mg EUF-Ca II/100 g Boden) findet sich in Summe der Gehalte an EUF-KI und EUF-KII ein mittlerer Wert von ca. 15,7 mg K/100 g Boden. Bei hohem Calcium-gehalt (55 bis 75 mg EUF-Ca II/100 g Boden) liegt der vergleichbare Wert bei ca. 18,5 mg/100 g Boden.

Gehaltsklassen:

Die der Einteilung in Gehaltsklassen zugrundeliegenden Richtwerte (Summe EUF-K I und EUF-K II) stehen in Abhängigkeit des EUF-Calcium-Gehaltes und des Nachlieferungsvermögens für Kalium. Tabelle 22 zeigt diesen Zusammenhang anhand von drei Fallbeispielen.

Tabelle 22: Einstufung der EUF - Kaliumgehalte

Richtwerte EUF-K in mg/100 g Boden				
Gehaltsklasse	Versorgung	EUF-Ca II = 40 EUF-K II/ EUF-K I = 0,5	EUF-Ca II = 60 EUF-K II/ EUF-K I = 0,7	EUF-Ca II = 60 EUF-K II/ EUF-K I = 0,8
A	sehr niedrig	bis 3,7	bis 4,7	bis 5,7
B	niedrig	bis 9,8	bis 11,0	bis 12,0
C	ausreichend	bis 21,7	bis 23,2	bis 24,4
D	hoch	bis 39,5	bis 41,4	bis 42,8
E	sehr hoch	darüber	darüber	darüber

2.4.19.5 Einstufung der Calciumgehalte nach EUF

Berechnungsgrundlagen:

- pflanzenverfügbares Calcium (EUF-Cal: Ca-Gehalt der 1. Fraktion)
- Calciumvorrat des Bodens (EUF-Ca II: Ca-Gehalt der 2. Fraktion)

Tabelle 23: Ableitung der Bodenreaktion aus dem CaGehalt der 2. EUF - Fraktion

Bodenreaktion	pH-Wert (CaCl ₂)	mg EUF-Ca II/100 g
sauer	4,6–5,5	bis 9
schwach sauer	5,6–6,5	10–24
neutral	6,6–7,2	25–60
alkalisch	7,3–8,0	über 60

2.4.19.6 Einstufung der Magnesiumgehalte nach EUF

Berechnungsgrundlagen:

- pflanzenverfügbares Magnesium (EUF-Mg: Summe der Gehalte der 1. und 2. Fraktion)
- EUF-Calcium-Gehalt (EUF-Ca II: Ca-Gehalt der 2. Fraktion)

Tabelle 24: Einstufung der EUF-Magnesiumgehalte

Richtwerte EUF-Mg in mg/100 g Boden			
Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	EUF-Ca II = 40	EUF-Ca II = 60
A	niedrig	bis 1,3	bis 0,9
C	mittel	bis 1,9	bis 1,6
E	hoch	über 1,9	über 1,6

2.4.19.7 Errechnung der austauschbaren Kationen mittels EUF

Liegt neben den EUF-Gehalten für Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (mg/100 g Boden) das Ergebnis einer Untersuchung auf Humus (%) vor, kann der Gehalt an austauschbaren Kationen errechnet werden. Hierfür gelten folgende Beziehungen und Bestimmtheitsmaße:

$$\text{Cacmol}_c/\text{kg Boden} = -5 + 0,25 * \text{mg EUF-Cal}/100 \text{ g Boden} + 5 * \text{Gehalt Humus in \%}$$
$$r^2 = 0,77$$

$$\text{Mgcmol}_c/\text{kg Boden} = -2,5 + 1,5 * \text{EUF-Mg I}/100 \text{ g Boden} + 0,75 * \text{Gehalt Humus in \%}$$
$$r^2 = 0,74$$

$$\text{Kcmol}_c/\text{kg Boden} = 0,1 + 0,05 * \text{EUF-K I}/100 \text{ g Boden}$$
$$r^2 = 0,90$$

$$\text{Nacmol}_c/\text{kg Boden} = -0,01 + 0,05 * \text{EUF-Na}/100 \text{ g Boden}$$
$$r^2 = 0,83$$

Die KAK_{eff} (cmol_c/kg Boden) ergibt sich aus der Summe der für die einzelnen Basen errechneten Gehalte. Die Ergebnisse definieren zudem, in welchem Umfang der Sorptionskomplex des Bodens durch die einzelnen Kationen belegt ist.

Bei einem EUF-Ca II-Gehalt von 9 mg/100 g Boden, entsprechend einem pH-Wert (CaCl₂) von etwa 5,5, werden rund 98 % der KAK_{eff} mit Basen (Ca, Mg, K und Na) abgesättigt. Unter diesem Gehalt an EUF-Ca II wird die KAK_{eff} nicht ausgewiesen.

2.4.19.8 Einstufung der Bor- und Spurenelementgehalte nach EUF

Berechnungsgrundlagen:

- pflanzenverfügbares Bor (EUF-B: Summe der Gehalte der 1. und 2. Fraktion)
- pflanzenverfügbare Spurenelemente (EUF - Cu, EUF - Zn, EUF - Mn, EUF - Fe: 3. Fraktion)

Tabelle 25: Einstufung der EUF - Bor- und Spurenelementgehalte

Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung		Bor	Cu	Zn	Mn	Fe
	EUF-CA II in mg/100 g Boden		mg/kg Boden (ppm)				
		unter 70	über 70				
A	niedrig	< 0,65	< 0,65	< 1	< 0,5	< 2	< 30
C	mittel	0,65– 0,95	0,65– 0,95	1–2,5	0,5–2,5	2–10	30–90
E	hoch	> 0,95	> 1,15	> 2,5	> 2,5	> 10	> 90

3 Düngungsmanagement von Ackerkulturen und Grünland

Das Düngungsmanagement für eine landwirtschaftliche Kultur basiert auf ihrem Nährstoffbedarf, der zum einen von der Pflanzenart und -sorte, zum anderen vom Ertragsniveau des Standortes abhängt. Als Nährstoffquellen werden einerseits Bodenvorräte, die entweder unmittelbar oder im Zuge von Mineralisierungsprozessen zur Verfügung stehen, und andererseits auch Ernterückstände genutzt. Die Verknüpfung des Nährstoffbedarfs mit der Nährstoffnachlieferung des Bodens bildet die Basis für die Ermittlung eines Nährstoff-Ergänzungsbedarfs und damit auch für die Planung des Düngungsmanagements.

Während bei der P- und K-Düngeempfehlung Bodenanalysenwerte die Basis bilden, handelt es sich bei der Stickstoffdüngungsempfehlung um Richtwerte, die anhand von Feldversuchen unter Berücksichtigung des Pflanzenentzuges erstellt wurden und nach den Standortsfaktoren oder gegebenenfalls noch nach den Erfahrungen des Landwirtes zu korrigieren sind. Zusätzlich gibt es andere gleichwertige Methoden ($N_{\min}$, N-Tester, EUF). Bei der Bemessung der Stickstoffdüngermengen sind jedenfalls die aktuellen gesetzlichen Bestimmungen des Wasser- und Bodenschutzrechtes einzuhalten.

Die angegebenen Ertragshöhen spiegeln die derzeitige Situation in Österreich wider. Es ist allerdings davon auszugehen, dass sich die Erträge aufgrund der Klimaveränderung in einzelnen Regionen mehr oder weniger deutlich verändern können.

Die Düngeempfehlungen für sämtliche Kulturen, die im integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem enthalten sind, sind in einer Liste zusammengefasst, die über die AMA Homepage www.ama.at zu finden ist. In dieser Liste sind auch Düngeempfehlungen für - zumeist in untergeordnetem Maß angebaute - Kulturen enthalten, die in keiner der Richtlinien für die sachgerechte Düngung enthalten sind. Diese Empfehlungen sind ebenfalls mit dem Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz abgestimmt.

3.1 Einschätzung der Ertragslage von Ackerkulturen

Der Nährstoffbedarf wird unter anderem von der Höhe des erzielten Ertrages beeinflusst, der seinerseits wesentlich von den Standorteigenschaften abhängt. Die Ertragslage ist im mehrjährigen Durchschnitt relativ konstant und wird bei der Erstellung des Düngeplanes berücksichtigt.

Zur Einstufung der Ertragslage eines Standortes können die Zahlen der Tabelle 26 (Angaben in t/ha) und Tabelle 27 (Angaben in hl/ha) herangezogen werden, wobei sich die Angaben auf einen mehrjährigen Durchschnitt beziehen. Das Hektolitergewicht ergibt sich aus der Kubatur des Transporters (Hänger) oder des Lagers (Silo, Flachlager etc.) und dem Gewicht eines Silodurchschnittsmusters (Messung beim Landesprodukthändler). In den angegebenen Mengen wurden folgende Feuchtgehalte zugrunde gelegt:

Getreidearten, Körnermais, Sorghum, Rispenhirse, Körnererbse, Ackerbohne, Lupine:	14 %
Sojabohne, Kümmel:	13 %
Mohn:	10 %
Körnerraps, Körnersenf, Körnerhanf, Ölkürbis, Öllein:	9 %
Sonnenblume:	8 %

Die Angaben zu den Futterpflanzen beziehen sich auf die Trockensubstanz

Eine Einstufung der Ertragslage eines Standortes mit „hoch“ ist nicht möglich, wenn für den überwiegenden Anteil (über 50 %) der Fläche eines Schlages:

- der natürliche Bodenwert nach den Ergebnissen der Österreichischen Bodenkartierung als „geringwertiges Ackerland“ ausgewiesen ist oder
- die Ackerzahl nach den Ergebnissen der österreichischen Finanzbodenschätzung kleiner als 30 ist oder
- die Bodenklimazahl (=Ertragsmesszahl des Grundstückes dividiert durch die Grundstücksfläche in ar; diese Daten sind je landwirtschaftlich genutztem Grundstück auf dem Auszug aus dem Grundstücksverzeichnis ersichtlich) kleiner als 30 ist oder
- das Nitratrückhaltevermögen gemäß digitaler Bodenkarte sehr gering ist (< 180 mm Feldkapazität)

Die oben genannten Bedingungen sind als gleichwertig anzusehen, daher ist die Einstufung nach nur einem einzigen Kriterium ausreichend.

Liegen Aufzeichnungen über die durchschnittlich erzielten Erträge unmittelbar vergleichbarer Flächen vor, kann eine Einstufung nach diesen erfolgen.

Bei Kulturarten mit einer Spätdüngung (z. B. Winterweizen), bei denen zum Zeitpunkt der letzten Stickstoffdüngung das tatsächliche Ertragsniveau bereits abschätzbar ist, ist eine Stickstoffbemessung nach dem korrigierten Ertragsniveau zulässig.

Bei den meisten Kulturen ist im oberen Ertragsbereich eine weitere Präzisierung der Düngegaben vernünftig. Daher erfolgt bei hoher Ertragserwartung eine Staffelung in drei Klassen von „hoch 1“ bis „hoch 3“.

Zu den Ackerkulturen zählen auch unterschiedliche Formen des Feldfutterbaus und die Sämereien Vermehrung für Gräser und Rotklee. Da diese Arten der Ackerbewirtschaftung aus fachlicher Sicht jedoch besser zum Grünland passen, sind die Einstufungen der Ertragslagen sowie die Nährstoffempfehlungen dafür in den Tabellen für das Wirtschaftsgrünland (Tabelle 30, Tabelle 40 und Tabelle 44) geregelt.

Einzig die Einstufung der Untersuchungswerte für P und K (gemäß Tabelle 14 und Tabelle 16) sind bei Feldfutter und Sämereien Vermehrung weiterhin nach dem Acker-Schema vorzunehmen, da auf den betroffenen Flächen in der Fruchtfolge auch Ackerkulturen mit höheren Ansprüchen angebaut werden.

Tabelle 26: Einschätzung der Ertragslage von Ackerkulturen in t/ha

		Kulturart	Einschätzung der Ertragslage des Standortes (in t/ha)				
		niedrig	mittel	hoch 1	hoch 2	hoch 3	
			über - bis	über - bis	über - bis	über	
Getreide	Weizen, Rohproteingehalt 						

	Kulturart	Einschätzung der Ertragslage des Standortes (in t/ha)				
		niedrig	mittel	hoch 1	hoch 2	hoch 3
	Winterfuttergerste	< 5,0	5,0–6,0	6–7,5	7,5–9	9
	Winterbraugerste	< 4,5	4,5–5,5	5,5–7,0	7,0–8,5	8,5
	Triticale	< 5,0	5,0–6,0	6–7,5	7,5–9	9
	Sommerfuttergerste	< 4,0	4,0–5,5	5,5–7	7–8,5	8,5
	Braugerste, Hafer	< 3,5	3,5–5,0	5–6,5	6,5–8	8
Hackfrüchte	Körnermais	< 8,5	8,5–10,5	10,5–12	12–13,5	13,5
	Silomais (Trockenmasse)	< 13,3	13,3–16,7	16,7–18,5	18,5–21	21
	Silomais (Frischmasse)	< 40	40–50	50–57,5	57,5–65	65
	Zuckerrübe	< 55	55–75	75–85	85–95	95
	Futterrübe	< 60	60–100	> 100	-	-
	Speisekartoffel, Industriekartoffel	< 33	33–45	45–55	55–65	65
	Früh- und Pflanzkartoffel (Marktware)	< 15	15–20	> 20	-	-
	Körnerhirse/-sorghum*	< 6,5	6,5–8,0	8,0–9,5	9,5–10,5	10,5
	Silohirse/-sorghum (TM)*	< 14,5	14,5–18	18–20,5	20,5–23	23
	Silohirse/-sorghum (FM)*	< 55	55–68	68–77	77–86	86
	Rispenhirse	< 2	24	> 4	-	-
	Körnerraps	< 3	3–3,5	3,5–4,25	4,25–5	5
Öl- und Eiweißpflanzen	Körnererbse	< 2	2–3	> 3	-	-
	Ackerbohne	< 2	2–3,5	> 3,5	-	-
	Sojabohne	< 2	2–3	> 3	-	-
	Sonnenblume	< 2	2–3	3–4	4–5	5
	Ölkürbis	< 0,6	0,6–0,8	> 0,8		
	Mohn	< 0,6	0,6–0,8	0,8–0,9	0,9–1	1
Sonder- kulturen	Kümmel	< 1	1–1,5	1,5–1,7	1,7–1,9	1,9
	Rotklee	< 0,3	0,3–0,5	> 0,5	-	-

*...Diese Kulturen werden insbesondere auf Hanglagen wie Getreide geführt

Tabelle 27: Einschätzung der Ertragslage von Ackerkulturen (Fütterung) in m³/ha auf Basis von Hektoliter Gewichten

Ertragslage	niedrig	mittel	hoch 1	hoch 2	hoch 3	Ø kg/hl	TM in %	Bandbreite in kg/hl
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha			
Silomais frisch	< 110	110–140	140–160	160–180	> 180	36	35	
Silomaissilage gelagert	< 55	55–70	70–80	80–90	> 90	72	35	
Körnermais – Ganzkornsilage frisch	< 11,0	11,0–13,7	13,8–15,6	15,7–17,6	> 17,6	77	65	
Körnermais - Ganzkornsilage gelagert	< 10,3	10,3–12,7	12,8–14,6	14,7–16,4	> 16,4	83	65	
Körnermais – Maiskornschrot frisch	< 9,2	9,2–11,4	11,5–13,0	13,1–14,6	> 14,6	92	65	
Körnermais - Maiskornschrot gelagert	< 8,7	8,7–10,8	10,9–12,3	12,4–13,9	> 13,9	98	65	
Silohirse frisch	< 180	180–225	225–255	255–285	> 285	30	25	
Triticale GPS frisch	< 60	60–80	80–100	100–120	> 120	34	35	
Winterbraugerste gereinigt (AGES)	< 6,3	6,3–7,7	7,8–9,7	9,8–11,8	> 11,8	72		64–77
Winterbraugerste feldfallend (Praxis)	< 6,4	6,4–7,9	8,0–10,0	10,1–12,1	> 12,1	70		63–77
Sommerbrau-gerste gereinigt (AGES)	< 4,9	5,0–6,0	6,1–9,0	9,1–11,1	> 11,1	72		64–77
Sommerbrau-gerste feldfallend (Praxis)	< 5,0	5,1–7,1	7,2–9,3	9,4–11,4	> 11,4	70		63–77
Winterdinkel (Spelzenanteil ca. 30 %)	< 8,5	8,6–13,4	13,5–15,9	16,0–18,3	> 18,3	41		35–45
Sommerdinkel (Spelzen Anteil ca. 30 %)	< 8,8	8,9–13,8	13,9–16,3	16,4–18,8	> 18,8	40		33–44
Winterfutter-gerste gereinigt (AGES)	< 7,3	7,3–8,7	8,8–10,9	11,0–13,0	> 13,0	69		60–75

Ertragslage	niedrig	mittel	hoch 1	hoch 2	hoch 3	Ø kg/hl	TM in %	Bandbreite in kg/hl
Winterfutter-gerste feldfallend (Praxis)	< 6,8	6,8–9,1	9,2–11,4	11,5–13,6	> 13,6	66		58–72
Sommerfutter-gerste gereinigt (AGES)	< 5,6	5,6–7,8	7,9–9,9	10,0–12,7	> 12,7	71		62–76
Sommerfutter-gerste feldfallend (Praxis)	< 6,0	6,0–8,2	8,3–10,5	10,5–13,4	> 13,4	67		59–73
Winterhafer (mit Spelzen)	< 6,9	6,9–9,8	9,9–12,8	12,9–15,7	> 15,7	51		43–56
Sommerhafer (mit Spelzen)	< 7,1	7,2–10,2	10,3–13,3	13,4–16,3	> 16,3	49		40–56
Winterroggen	< 5,6	5,6–7,6	7,7–9,7	9,8–11,8	> 11,8	72		64–78
Sommerroggen	< 5,6	4,9–7,6	7,7–9,7	9,8–11,8	> 11,8	72		64–77
Winterhart-weizen (Durum)	< 4,6	4,6–6,1	6,2–7,7	7,7–9,3	> 9,3		81	74–85
Sommerhart-weizen (Durum)	< 4,3	4,3–5,6	5,7–7,7	7,7–9,3	> 9,3	81		74–86
Winterweich-weizen < 14 % Rohprotein	< 6,4	6,4–7,7	7,8–9,4	9,5–11,3	> 11,3	80		71–86
Winterweich-weizen ≥ 14 % Rohprotein	< 5,1	5,1–7,0	7,1–8,5	8,6–10,1	> 10,1	81		73–87
Sommerweich-weizen < 14 % Rohprotein	< 6,4	6,4–7,7	7,8–9,6	9,7–11,5	> 11,5	78		70–84
Sommerweich-weizen ≥ 14 % Rohprotein	< 5,1	5,1–7,0	7,1–8,5	8,61–10,1	> 10,1	79		70–85
Emmer								
(Winterung und Sommerung) mit Spelzen	< 7,5	7,6–10,0	10,1–15,0	15,1–18,8	> 18,8	40		35–42

Ertragslage	niedrig	mittel	hoch 1	hoch 2	hoch 3	Ø kg/hl	TM in %	Bandbreite in kg/hl
Einkorn (Winterung und Sommerung) mit Spelzen	< 7,1	7,2–10,7	10,8–14,3	14,4–17,9	> 17,9	42		36–46
Wintertriticale	< 6,9	6,9–8,3	8,4–10,4	10,5–12,5	> 12,5	72		64–77

3.2 Einschätzung der Ertragsmöglichkeiten im Grünland, Feldfutterbau, in der Sämereien Vermehrung und von Almflächen

3.2.1 Einschätzung der Ertragsmöglichkeiten bei den einzelnen Nutzungsformen im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung

Die Düngung des österreichischen Grünlandes erfolgt auf sehr vielen Betrieben vorwiegend mit wirtschaftseigenem Dünger in Form von Stallmist, Jauche, Gülle oder Kompost, nur fallweise wird eine mineralische Ergänzungsdüngung vorgenommen. Die Nährstoffempfehlungen für Grünland berücksichtigen sowohl das Ertragspotenzial des Standortes als auch die darauf abgestimmte Nutzungshäufigkeit. In Gunstlagen oder in Verbindung mit Feldfutterbau ist damit auch ein höherer Viehbesatz möglich als etwa auf hochgelegenen Almflächen. Dem Standort angepasste Tierbesatzstärken stellen eine wesentliche Grundlage für die Kreislaufwirtschaft im Grünland dar, deren wesentlichste Säulen das Grundfutter und die wirtschaftseigenen Dünger sind.

Dauergrünland und Feldfutterbau finden sich in Österreich unter klimatisch (baltisch, illyrisch, pannonisch, alpin sowie alle Übergänge davon) und standörtlich (seichtgründig, tiefgründig, trocken, feucht, hängig etc.) sehr unterschiedlichen Bedingungen und Höhenstufen. Die Bewirtschaftungspraxis in den meist kleinstrukturierten Betrieben schafft eine weitere Differenzierung und somit eine große Vielfalt der Grünlandnutzung in Österreich.

Die richtige, objektive Einschätzung der Ertragslage ist eine wichtige Voraussetzung für eine standortangepasste Düngung, wobei die Ertragseinschätzung im Durchschnitt der letzten 5 Jahre vorzunehmen ist. Die genaueste Methode ist die Ernte von definierten, repräsentativen Probeflächen (z. B. 1 m² mittels eines Schnittrahmens) und die Bestimmung des Trockenmassegehaltes der Proben (z. B. mittels Mikrowelle). Aus den Erträgen der einzelnen

Aufwüchse lässt sich nun der Jahresbruttoertrag für die jeweiligen Nutzungsformen am Betrieb errechnen. Bei schnittgenutzten Flächen kann die Ertragsermittlung auch über die geernteten Silage- bzw. Heumengen unter Berücksichtigung der entsprechenden Volumengewichte und zugehörigen Trockenmassegehalte erfolgen. Eine weitere Möglichkeit der Ertragsermittlung bietet die Bestimmung der durchschnittlichen Wuchshöhe des Pflanzenbestandes kurz vor der Ernte mittels Zollstock oder mittels „pasture plate meter“. Von der tatsächlich gemessenen Wuchshöhe muss allerdings zunächst die am Feld verbleibende Schnitt- bzw. Beweidungshöhe abgezogen werden. Dies ergibt die Erntewuchshöhe, aus der anschließend der Trockenmasseertrag ermittelt wird. Mit zunehmender Höhe des geernteten Pflanzenbestandes verringert sich dabei der TM-Ertrag (t/ha) je cm Erntewuchshöhe, da einerseits der Anteil an lockerwüchsigen Obergräsern steigt und zugleich auch der relative Anteil an dichtwüchsigen Untergräsern abnimmt.

Die für die einzelnen Aufwüchse ermittelten Erntewuchshöhen (cm) werden mit dem entsprechenden TM-Ertrag/cm aus Tabelle 27 multipliziert und ergeben in Summe den Jahrestrockenmasseertrag in kg/ha, mit dem dann die Einstufung der Ertragslage vorgenommen werden kann. Neben dieser einfachen Ertragsermittlung kann der TM-Ertrag auch über folgende Gleichung berechnet werden:

$$y = 0,618 + 63,1 \cdot x - 0,282 \cdot x^2$$

Y entspricht hierbei dem TM Bruttoertrag in kg je ha und x entspricht der Aufwuchs Höhe in cm

Um witterungsbedingte Schwankungen auszugleichen, soll zur Einschätzung der Ertragslage der Durchschnittswert der letzten 5 Jahre verwendet werden. Künftig werden auch satellitengestützte Ertragsschätzungssysteme zur Verfügung stehen. Mithilfe dieser noch in der Entwicklungsphase befindlichen Methoden können zukünftig flächendeckende und tagaktuelle Ertrags- und Qualitätsschätzungen durchgeführt werden.

Tabelle 28: Brutto-Ertragsschätzung von Grünland

Ø cm Erntewuchshöhe	kg TM ha ⁻¹
6	1.000
10	1.200

Ø cm Erntewuchshöhe	kg TM ha ⁻¹
13	1.400
17	1.600
21	1.800
25	2.000
29	2.200
33	2.400
38	2.600
43	2.800
48	3.000
54	3.200
60	3.400
68	3.600
77	3.800
89	4.000

Tabelle 29: Berechnungsbeispiele für die TM-Erträge basierend auf der Regressionsgleichung

Zweischmittfläche	Ø Ernteaufwuchshöhe des Aufwuchses in cm	Berechnung	kg TM ha ⁻¹
1. Aufwuchs	65	$618+63,1*65-0,282*65^2$	= 3.528
2. Aufwuchs	31	$618+63,1*31-0,282*31^2$	= 2.303
		Jahresertrag	= 5.831 (Ertragslage mittel)
Dreischmittfläche	Ø Ernteaufwuchshöhe des Aufwuchses in cm	Formel	kg TM ha ⁻¹
1. Aufwuchs	55	$618+63,1*55-0,282*55^2$	= 3.235
2. Aufwuchs	42	$618+63,1*42-0,282*42^2$	= 2.771

Zweischmittfläche	Ø Ernteaufwuchshöhe des Aufwuchses in cm	Berechnung	kg TM ha ⁻¹
3. Aufwuchs	36	$618+63,1 \cdot 36-0,282 \cdot 36^2$	= 2.524
		Jahresertrag	= 8.530 (Ertragslage hoch)
Vierschnittfläche	Ø Ernteaufwuchshöhe des Aufwuchses in cm	Formel	kg TM ha ⁻¹
1. Aufwuchs	32	$618+63,1 \cdot 32-0,282 \cdot 32^2$	= 2.348
2. Aufwuchs	25	$618+63,1 \cdot 25-0,282 \cdot 25^2$	= 2.019
3. Aufwuchs	25	$618+63,1 \cdot 25-0,282 \cdot 25^2$	= 2.019
4. Aufwuchs	18	$618+63,1 \cdot 18-0,282 \cdot 18^2$	= 1.662
		Jahresertrag	= 8049 (Ertragslage mittel)
Sechsschnittfläche	Ø Ernteaufwuchshöhe des Aufwuchses in cm	Formel	kg TM ha ⁻¹
1. Aufwuchs	35	$618+63,1 \cdot 35-0,282 \cdot 35^2$	= 2.481
2. Aufwuchs	30	$618+63,1 \cdot 30-0,282 \cdot 30^2$	= 2.257
3. Aufwuchs	28	$618+63,1 \cdot 28-0,282 \cdot 28^2$	= 2.164
4. Aufwuchs	26	$618+63,1 \cdot 26-0,282 \cdot 26^2$	= 2.068
5. Aufwuchs	22	$618+63,1 \cdot 22-0,282 \cdot 22^2$	= 1.870
6. Aufwuchs	20	$618+63,1 \cdot 20-0,282 \cdot 20^2$	= 1.767
		Jahresertrag	= 12.607 (Ertragslage hoch)

Unbewachsene Bestandslücken verringern den Ertrag und können somit zur Korrektur des Jahresertrages herangezogen werden. Bei einem permanenten Lückenanteil von z. B. 5 % der Gesamtfläche wird der mittels Wuchshöhenbestimmung ermittelte Jahresertrag um 5 % reduziert.

In Tabelle 30 werden die durchschnittlichen Bruttoerträge der einzelnen Nutzungsformen in Tonnen Trockenmasse je Hektar, untergliedert in drei Ertragslagen, dargestellt. Die Zahlen fassen die standörtliche Vielfalt zusammen und sind Basis für die weiteren Düngungsempfehlungen.

Tabelle 30: Einschätzung der Ertragslage der einzelnen Nutzungsformen im Wirtschaftsgrünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung auf Basis des durchschnittlichen Ertrages (Bruttoerträge vor Abzug von Feld-, Werbe-, Ernte- und Konservierungsverlusten)

Ertragslage			
Nutzungsformen	niedrig	mittel	hoch
	Ø Ertrag in t TM/ha und Jahr		
Dauer- und Wechselwiesen			
1 Schnitt	< 2,5	≥ 2,5	-
2 Schnitte	< 4,0	≥ 4,0	
3 Schnitte	< 6,0	6,0–8,0	> 8,0
4 Schnitte	-	< 9,5	≥ 9,5
5 Schnitte	-	< 11,0	≥ 11,0
6 Schnitte	-	-	≥ 12,5
Mähweiden (ein Weidegang entspricht 1,5–2,0 t TM/ha)			
1 Schnitt + 1 bis 2 Weidegänge	< 5,5	≥ 5,5	-
2 Schnitte + 1 bis 2 Weidegänge	-	< 8,0	≥ 8,0
2 Schnitte + 2 oder mehr Weidegänge	-	< 9,0	≥ 9,0
Dauerweiden, Kulturweiden			
Nutzungsformen	niedrig	mittel	hoch
	Ø Ertrag in t TM/ha und Jahr		
Dauerweiden	< 6,5	6,5–9,5	> 9,5
Hutweiden	< 2,0	≥ 2,0	-
Feldfutter	< 7,0	7,0–12,0	> 12,0
Sämereien Vermehrung (Samenertrag)			
Alpingräser	< 0,1	0,1–0,4	> 0,4
Gräser für das Wirtschaftsgrünland	< 0,2	0,2–0,7	> 0,7
Rotklee	< 0,3	0,3–0,5	> 0,5

3.2.2 Einstufung von Almflächen

Almflächen sind grundsätzlich extensiv bewirtschaftete Grünlandflächen, die vorwiegend beweidet werden. Zur Abschätzung des Nährstoffbedarfs kann daher, je nach tatsächlicher Nutzungsart und Nutzungsfrequenz, eine Einstufung als Hutweide, ein- oder zweischrittige Dauerwiese oder als Mähweide mit einem Schnitt und ein bis zwei Weidegängen, jeweils bei niedriger Ertragslage, erfolgen.

3.3 Stickstoffdüngung

Die Höhe der Stickstoffdüngung wird durch mehrere gesetzliche Regelungen begrenzt. Laut Wasserrechtsgesetz (WRG 1959, i.d.g.F., §32 Abs. 2 lit f) gelten für einen bewilligungsfreien Einsatz von Stickstoffdüngern (Wirtschafts- und Mineraldünger) folgende Obergrenzen:

- maximal 175 kg N/ha auf Flächen ohne Gründeckung und bei nicht N-zehrender Fruchtfolge
- maximal 210 kg N/ha mit Gründeckung einschließlich Dauergrünland
- maximal 210 kg N/ha bei N-zehrender Fruchtfolge

Gemäß EU-Nitratrichtlinie und Nitrat-Aktionsprogramm-Verordnung dürfen maximal 170 kg N/ha aus Wirtschaftsdüngern ausgebracht werden. Hier ist der Stickstoffwert ab Lager (Nal) anzusetzen.

3.3.1 Stickstoffdüngung von Ackerkulturen

3.3.1.1 Stickstoffdüngung nach Richtwerten

Bei der Stickstoffdüngempfehlung handelt es sich um Richtwerte, die nach der Ertragslage, aufgrund der Bodendauereigenschaften (Gründigkeit, Bodenschwere, Wasserverhältnisse, Grobanteil) und des standörtlichen Stickstoffmineralisierungspotenzials (Bewertung durch die anaerobe Mineralisation oder den Humusgehalt) zu korrigieren sind.

Die Empfehlungsgrundlagen für die Stickstoffdüngung der wichtigsten Kulturarten sind in Tabelle 31 zusammengestellt.

Tabelle 31: Empfehlungsgrundlage für die Stickstoffdüngung in kg N/ha bei mittlerer Ertragserwartung

		kg N/ha
Getreide	Weizen, Durum	110–130
	Roggen	80–100
	Dinkel	80–100
	Winterfuttergerste	100–120
	Winterbraugerste	70–90
	Triticale	90–110
	Sommerfuttergerste	80–100
	Sommerbraugerste	50–70
	Hafer	70–90
Hackfrüchte	Mais (CCM, Körnermais)	120–140
	Silomais	140–160
	Zuckerrübe	110–140
	Futtermübe	120–140
	Speisekartoffel, Industriekartoffel	130–150
	Früh- und Pflanzkartoffel	90–110
	Körnerhirse/-sorghum	120–140
	Silohirse/-sorghum; Sudangras	140–160
	Rispenhirse	70–80
Öl- und Eiweißpflanzen	Körnererbse, Ackerbohne	0–60
	Sojabohne	0–60
	Körnerraps	120–140
	Sonnenblume	40–60
	Ölkürbis	60–80
Zwischenfrucht(futter)bau	ohne Leguminosen (< 60% Anteil)	40–80
	mit Leguminosen (> 60 % Anteil)	0–40
Sonderkulturen	Mohn	50–80

		kg N/ha
	Kümmel: Anbaujahr/Erntejahr	30–80/90–120

Anmerkungen zu Tabelle 31:

- Beim Anbau von Körnererbse, Ackerbohne und Sojabohne ist bei Verwendung von nicht beimpftem Saatgut, bei mangelhaftem Knöllchenbesatz oder bei erstmaligem Anbau eine Stickstoffgabe bis zu 60 kg/ha zu empfehlen.
- Die Bemessung der Stickstoffgabe im Zwischenfruchtfutterbau ohne Leguminosen (< 60% Anteil) erfolgt auf Basis der Ertragslage und des Anbauzeitpunktes ohne weitere Zu- und Abschläge.
- Empfehlungen werden üblicherweise auf Basis des Mittelwertes der oben angegebenen Spanne erstellt. Bewegen sich die Erträge am unteren Rand einer Ertragslage, sollten auch die niedrigeren Düngeempfehlungen zur Anwendung kommen.

Grundsätzlich ist die Teilung von Stickstoffgaben ab 100 kg N/ha in schnell wirkender Form empfehlenswert und gesetzlich verankert. Schnell wirksam sind der Nitrat-, Ammonium- und Amidgehalt von mineralischen Düngemitteln sowie der Ammoniumanteil von Wirtschaftsdüngern und Sekundärrohstoffen. Bei der Anwendung von Düngern oder Ausbringungstechniken mit physikalisch oder chemisch verzögerter Stickstofffreisetzung („slow release fertilizer“, CULTAN-Verfahren) kann die Gabenteilung entfallen. Auf seichtgründigen Böden kann die Wirksamkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit allerdings eingeschränkt sein.

Auch zu Hackfrüchten und Gemüsekulturen kann auf mittelschweren und schweren Böden (Tongehalt des Bodens über 15 %) der Stickstoff in einer Gabe verabreicht werden.

Bei der Verteilung der angegebenen Düngermengen ist in Abhängigkeit von der Kulturart folgendermaßen vorzugehen, wobei eine Düngung mit rasch wirksamen Düngern im Herbst nicht empfohlen wird:

Bei Winterweizen wird zur Erzielung hoher Qualitäten (Rohproteingehalte) eine Aufteilung der Stickstoffdüngermenge auf drei Termine (zu Vegetationsbeginn, zum Schossbeginn, vor dem Ährenschieben) empfohlen. Die dritte Gabe soll zu Lasten der ersten Gabe betont werden. Nach einer stark stickstoffzehrenden Kultur wie Silo- oder Körnermais bzw. Silo- oder

Körnerhirse kann eine Anbaudüngung mit 20–30 kg jahreswirksamem Stickstoff (N_{jw}) pro ha sinnvoll sein.

Bei Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale und Winterkümmel ist eine Gabenteilung auf 2–3 Angebotstermine sinnvoll. Nach einer stark stickstoffzehrenden Kultur wie Silo- oder Körnermais bzw. Silo- oder Körnerhirse kann eine Anbaudüngung (20–30 kg N_{jw} /ha) sinnvoll sein.

Bei Sommerbraugerste ist eine einmalige N-Gabe zur Saat angebracht, zu Sommerfuttergerste und Hafer sollen die N-Gaben geteilt werden (zur Saat und beim Schossen).

Bei Körnerraps kann im Herbst eine mäßige Düngung (40–60 kg N/ha) sinnvoll sein. Die Stickstoffdüngung im Frühjahr ist auf die Entwicklung zu Beginn der Vegetationsperiode abzustimmen. In schwachen Beständen (weniger als 6 Blätter) soll die erste Gabe stärker betont werden, um die Blattneubildung anzuregen. Gleiches gilt für Rapsbestände, die zwar im Herbst mehr Blätter angelegt, diese jedoch über den Winter wieder verloren haben. Bei sehr gut entwickelten Beständen ohne Blattverlust (mehr als 10 Blätter) ist die erste Gabe zu reduzieren und die zweite Gabe zum Streckungswachstum stärker zu betonen.

Früh angebaute Winterkulturen (Anbau bis Ende August) mit einer Ernte im Folgejahr (z.B. Winterzwiebel, Porree, Kümmel, Fenchel) oder mehrjährige Ackerkulturen (z.B. Erdbeeren, Spargel, Rhabarber, Schlüsselblumen, Schnittlauch, Johanniskraut, Minze und Melisse) haben nach der Ernte bzw. im Herbst einen Stickstoffbedarf, so dass eine begrenzte Herbstdüngung empfehlenswert ist.

Eine Unterfuß bzw. Reihendüngung zu Mais mit Phosphat und eventuell stickstoffhaltigen Düngemitteln bei der Saat kann auf schweren Böden mit verzögerter Erwärmung günstig sein.

In jedem Fall sind die rechtlichen Rahmenbedingungen einzuhalten (z. B. Gabenteilung, Düngever- und gebote, Hanglagendüngung, Sperrfristen der Nitrat-Aktionsprogramms Verordnung oder Schongebiets Verordnungen).

Bei Beregnung muss die mit dem Beregnungswasser zugeführte Nitrat-Stickstoffmenge ab einer Menge von 10 kg/ha berücksichtigt werden (siehe Tabelle 32).

Tabelle 32: Berechnung des Stickstoffeintrages durch das Beregnungswasser in Abhängigkeit vom Nitratgehalt

	mm Beregnungswasser			
	50	100	150	200
mg Nitrat/l	kg Reinstickstoff/ha			
10	(1)	(2)	(3)	(5)
20	(2)	(5)	(7)	(9)
30	(3)	(7)	10	14
40	(5)	(9)	14	18
50	(6)	11	17	23
60	(7)	14	20	27
70	(8)	16	24	32
80	(9)	18	27	36
90	10	20	30	41
100	11	23	34	45
110	12	25	37	50
120	14	27	41	54
130	15	29	44	59
140	16	32	47	63
150	17	34	51	68
160	18	36	54	72
170	19	38	58	77
180	20	41	61	81
190	21	43	64	86
200	23	45	68	90

3.3.1.2 Anpassung der Stickstoffdüngung an die Standortfaktoren

Die Stickstoffnachlieferung und -verfügbarkeit an einem Standort ist von einer Reihe Standortfaktoren abhängig. Die entsprechenden Korrekturfaktoren für Zu- und Abschläge sind in

Tabelle 33 angeführt. Als Basis dient jeweils die in angegebene Empfehlungsgrundlage, wobei die Unter- und Obergrenzen der Ertragslage jeweils den Unter- und Obergrenzen der Empfehlung entsprechen.

Tabelle 33: Zu- und Abschläge bei der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit von den Standortfaktoren, Angaben in % vom Wert der Empfehlungsgrundlage für mittlere Ertragserwartung

Standorteigenschaft	Einstufung	Korrektur
Ertragserwartung	niedrig	- 25 %
	mittel	0
	hoch 1	+ 20 %
	hoch 2	+ 30 %
	hoch 3	+ 40 %
Gründigkeit	seicht, mittel	0
	tief	+ 5 %
	sehr leicht, leicht	- 5 %
Bodenschwere	mittelschwer	0
	schwer, sehr schwer	+ 5 %
N-Mineralisierungspotenzials des Standortes	niedrig	+ 10 %
	mittel	0
	hoch	- 15 %
Wasserverhältnisse	sehr trocken	- 5 %
	trocken bis mäßig feucht	0
	feucht, nass	- 5 %
Grobanteil	kein Grobanteil	0
	gering bis mäßig	0
	hoch bis vorherrschend	- 5 %

Sonderregelungen zu Tabelle 33:

- Bei niedrigem Stickstoffnachlieferungspotenzial des Standortes kann im Zuckerrübenanbau in Extremfällen ein Zuschlag bis zu 30 %, im Kartoffelanbau bis zu 25 % erfolgen.
- Bei hohem Stickstoffnachlieferungspotenzial des Standortes kann bei Mais, Kartoffel und Sonnenblume ein Abschlag bis zu 25 %, bei Zuckerrübe und Futterrübe bis zu 30 % erfolgen.
- Die Zuschläge bei Vorliegen einer hohen Ertragslage sind dann sachgerecht, wenn das entsprechende Ertragsniveau nicht nur in einzelnen Jahren, sondern im Durchschnitt mehrerer Jahre erreicht wird. Die Summe aller Zuschläge darf 50 % nicht überschreiten.

Bei den möglichen Zuschlägen in Abhängigkeit der Standortfaktoren sind die Vorgaben der Nitrat-Aktionsprogramm Verordnung hinsichtlich der Obergrenzen für die Stickstoff-düngung je Kultur und Ertrag einzuhalten.

3.3.1.3 Stickstoffdüngung nach $N_{\min}$

Die Anwendung eines auf der $N_{\min}$ -Bestimmung aufbauenden Sollwertsystems ist eine Möglichkeit, die N-Empfehlung weiter zu präzisieren.

Der $N_{\min}$ -Wert erfasst den im durchwurzelbaren Bodenprofil „pflanzenverfügbaren“ mineralischen Stickstoff (Nitratstickstoff und Ammoniumstickstoff). Als durchwurzelbar wird für Getreide und Mais in der Regel eine Bodentiefe bis 90 cm angenommen. Die Berücksichtigung der Schicht 60–90 cm ist vor allem im Trockengebiet wichtig und verbessert die Prognosegenauigkeit. Für Erdäpfel wird ein durchwurzelbares Bodenprofil bis 60 cm angenommen.

Die $N_{\min}$ -Probenahme erfolgt für Wintergetreide vor bzw. zu Vegetationsbeginn im Februar oder März. Für Mais erfolgt die Probenahme mitunter erst im Zwei- bis Sechsstadium bei einer Teilung der N-Düngung auf Teilgaben. Stickstoffdüngempfehlungen nach $N_{\min}$ (nach Methode A oder B) sind aber auch möglich, wenn die Probenahme vor der ersten Düngung zum Anbau erfolgt.

A) Prinzip der Berücksichtigung von $N_{\min}$ -Bodenvorräten

Bei der N-Bemessung nach Düngetabellen (Tabelle 31 und Tabelle 40) wird davon ausgegangen, dass durchschnittliche, niedrige $N_{\min}$ -Bodenvorräte (bis etwa 40 kg N/ha bis 60 bzw. 90 cm Bodentiefe) zu Vegetationsbeginn/im Frühjahr vor der Düngegabe vorhanden sind. Liegen die tatsächlich vorgefundenen $N_{\min}$ -Vorräte darüber, so können diese Tabellenwerte bei der N-Bemessung aliquot reduziert werden. Damit ist es möglich höhere $N_{\min}$ -Bodenvorräte durch Pflanzenentzug wieder auf niedrige, durchschnittliche Mengen zurückzuführen.

Beispiel:

Weizen, mittlere Ertragslage, Empfehlungsgrundlage (Tabelle 31): 120 kg N/ha

$N_{\min}$ (Messwert): 90 kg N/ha

Düngebedarf = $120 - (90 - 40) = 70$ kg N/ha

Zu beachten sind hier noch die Vorfruchtwirkungen, um z. B. nach Vorfrucht Körnererbse den verbliebenen Leguminosen Stickstoff nicht zweimal bei der Düngebemessung der Folgekultur einzurechnen (einmal als Vorfruchtwirkung und ein zweites Mal als höherer $N_{\min}$ -Vorrat).

B) Detaillierte Düngetabellen zur Düngung nach $N_{\min}$ bei Wintergetreide und Mais

Die Anwendung eines auf der $N_{\min}$ -Bestimmung aufbauenden Sollwertsystems ist eine Möglichkeit, die N-Empfehlung weiter zu präzisieren.

Der $N_{\min}$ -Wert erfasst den im durchwurzelbaren Bodenprofil „pflanzenverfügbaren“ mineralischen Stickstoff (Nitratstickstoff und Ammoniumstickstoff). Als durchwurzelbar wird in der Regel eine Bodentiefe bis 90 cm angenommen. Die Berücksichtigung der Schicht 60–90 cm ist vor allem im Trockengebiet wichtig und verbessert die Prognosegenauigkeit.

Im Folgenden sind die Stickstoff-Düngungsempfehlungen auf der Basis von $N_{\min}$ -Analysen für Wintergetreide, Triticale und Mais angeführt. Die Probenahme dazu erfolgt für Wintergetreide zu Vegetationsbeginn im Februar oder März, für Mais im Zwei- bis Sechsstadium.

Tabelle 34: Empfehlung für die mineralische Stickstoffergänzungsdüngung (kg N/ha) nach dem $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens für Winterweizen hoher Ertragslagen (die jeweilige Ertragserwartung ist in den angegebenen Spannenbreiten berücksichtigt)

$N_{\min}$ zu Vegetationsbeginn (kg/ha N)	Andüngung zu Vegetationsbeginn	Bestockungsende, Beginn des Schossens	Ende des Schossens, Beginn des Ährenschiebens
< 25	40–60	40–60	40–70
25–50	35–55	35–50	40–70
50–75	30–45	30–45	40–70
75–100	20–35	30–40	40–70
100–125	0	40–60	40–70
125–150	0	25–40	40–70
150–175	0	20–30	30–60
175–200	0	10–20	25–50
> 200	0	0	25–50

Anmerkungen zu Tabelle 34:

- Bei schwacher Bestandes Entwicklung und niedrigen $N_{\min}$ -Gehalten im Oberboden (unter 25 kg/ha) ist eine mäßige Andüngung von 20 kg N/ha empfehlenswert. Die nachfolgenden Düngergaben sind um diese Menge zu verringern.
- In den humiden Klimagebieten können zum Ährenschieben auch höhere Stickstoffgaben bis maximal 80 kg/ha verabreicht werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Spannenbereich der Gesamtdüngung nicht überschritten wird.

Tabelle 35: Empfehlung für die mineralische Stickstoffergänzungsdüngung (kg/ha N) nach dem $N_{\min}$ - Gehalt des Bodens für Futterwintergerste und Triticale mittlerer und hoher Ertragslagen (die jeweilige Ertragserwartung ist in den angegebenen Spannenbreiten berücksichtigt)

$N_{\min}$ zu Vegetationsbeginn (kg/ha N)	Vegetationsbeginn	Beim Schossen
< 20	60–90	45–70
20–40	50–75	40–65

N_{min} zu Vegetationsbeginn (kg/ha N)	Vegetationsbeginn	Beim Schossen
40–60	35–55	35–60
60–80	20–45	30–50
80–100	0	35–75
100–125	0	20–50
125–150	0	10–35
> 150	0	0–30

Anmerkungen zu Tabelle 35:

- Bei schwacher Bestandes Entwicklung und niedrigen N_{min}-Gehalten im Oberboden (unter 25 kg/ha) ist eine mäßige Andüngung von 20 kg N/ha empfehlenswert. Die späteren Düngergaben sind um diese Menge zu verringern.
- Überschreitet die ermittelte N-Gabe zu Vegetationsbeginn 50–60 kg/ha, ist auf durchlässigen Standorten, bei frühem Vegetationsbeginn und bei günstiger Bestandes Entwicklung eine Aufteilung der Düngermenge im Abstand von ca. 5 Wochen zu empfehlen.

Tabelle 36: Empfehlung für die mineralische Stickstoffergänzungsdüngung (kg/ha N) nach dem N_{min}-Gehalt des Bodens für Winterroggen (die jeweilige Ertragserwartung ist in den angegeben Spannenbreiten berücksichtigt)

N_{min} zu Vegetationsbeginn (kg/ha N)	Vegetationsbeginn	Beginn des Schossens
< 20	50–70	45–60
20–40	55	40–55
40–60	25–40	35–50
60–80	10–25	30–45
80–100	0	20–50
100–125	0	15–35
125–150	0	10–20
> 150	0	0

Tabelle 37: Empfehlung für eine Stickstoffergänzungsdüngung zu Mais bei Vorliegen eines $N_{\min}$ - Bodenuntersuchungsergebnisses (in kg /ha von 0–90 cm; Probenahme im 2–6 Blatt-Stadium), hohe Ertragserwartung

$N_{\min}$ im 2–6 Blatt-Stadium; kg N/ha im Boden	2. Düngung kg N/ha
< 40	120–140
40–60	110–130
60–80	100–120
80–100	80–100
100–120	70–90
120–140	60–80
140–160	40–60
160–180	20–40
180–200	10–30
> 200	0

Der $N_{\min}$ Sollwert für Mais beträgt zu Kulturbeginn 180–200 kg N/ha.

Düngegaben über 100 kg N/ha in leicht löslicher Form sind nur auf Böden mit einem Tonanteil > 15 % (mittlere bis hohe Sorptionskraft) zulässig. Eine allfällige Unterfußdüngung wird bei einer Bodenprobenahme zwischen den Reihen nicht erfasst und ist daher zu berücksichtigen.

$N_{\min}$ - Empfehlungssysteme können auch bei anderen Kulturen angewandt werden. Sie bedürfen aber bei der Interpretation einer stärkeren Berücksichtigung regionaler Unterschiede, weshalb hier keine allgemein gültigen Zahlen angeführt sind.

3.3.1.4 Bemessung der Stickstoffdüngung auf Basis der EUF-Methode

Bewertung der EUF-N Bodenwerte für Kulturen mit einer über den Sommer reichenden Vegetationsdauer wie Zuckerrübe, Mais oder Kartoffel:

1 mg EUF- $\text{NO}_3\text{-N}$ bzw. EUF- N_{org} entspricht einer Verfügbarkeit von 44 kg N/ha.

Angebot an kg N/ha aus Boden = $\text{mg NO}_3 \times 44 + \text{mg N}_{\text{org}} \times 44 + (\text{EUF-N}_{\text{orgII}}/\text{EUF-N}_{\text{orgI}}) \times 150-75$

Bei Kulturen mit kürzerer Vegetationszeit ergeben sich für die Bewertung des EUF-N_{org} geringere Faktoren. Für Getreide gilt:

1 mg EUF-NO₃-N bzw. EUF-N_{org} entspricht einer Verfügbarkeit von 44 kg N/ha.

Angebot an kg N/ha aus Boden = $\text{mg NO}_3 \times 35 + \text{mg N}_{\text{org}} \times 21 + (\text{EUF-N}_{\text{orgII}}/\text{EUF-N}_{\text{orgI}}) \times 80-40$

N-Aufdüngungsbedarf = Konstante - kg N/ha aus Boden

Für Hackfrüchte wird die Konstante mit 240 kg N/ha angenommen, für Halmfrüchte (1. und 2. Gabe) mit 180 kg N/ha. Eine allfällige 3. Gabe wird in Abhängigkeit von der Ertragserwartung berechnet. Je Tonne zu erwartendem Kornertrag werden 6 kg N/ha veranschlagt.

Die Konstante wird entsprechend der Kulturart und der Region angepasst. Ebenso können Zuschläge unter bei langsamer Mineralisation erfolgen.

3.3.1.5 Bemessung der Stickstoffdüngung bei Getreide auf Basis unterschiedlicher Bestandes Sensoren u. a. für eine teilflächenspezifische Düngung

Bestandes Sensoren können bei der Bemessung der aktuell erforderlichen N-Menge unterstützen und sie bieten die Möglichkeit auf Bestandes Unterschiede teilflächenspezifisch zu reagieren (Online-Sensorik, Satellitendaten). Dadurch kann die N-Effizienz erhöht werden.

Auch das Anlegen eines sogenannten „Düngefensters“ (ohne N-Düngung), das wertvolle Hinweise über die Höhe der Bodennachlieferung und weitere erforderlichen N-Gaben liefern kann, ist eine einfache Ergänzung.

3.3.1.6 Bestandes Beschreibung anhand unterschiedlicher Bestandes Sensoren

Bestandes Sensoren messen in verschiedenen Wellenlängen (im sichtbaren Bereich und Nahinfrarotbereich) das vom Pflanzenbestand reflektierte Licht. Aus den Messergebnissen lassen sich unterschiedliche Vegetationsindizes (z. B. NDVI, REIP, IBI, IRMI, SAVI, MSAVI, ...) berechnen, welche je nach Index einen Bezug zur vorhandenen Biomasse bzw. N-Aufnahme

eines Pflanzenbestandes haben. Nachdem Sortenunterschiede in der Grünfärbung und unterschiedliche Blattstellungen das Messergebnis beeinflussen, müssen unterschiedliche Sorten getrennt betrachtet werden bzw. z. T. Sortenkorrekturwerte in das Messergebnis eingearbeitet werden. Des Weiteren können Mangelercheinungen (Schwefelmangel, Manganmangel) bzw. Krankheitsbefall zu einer Beeinträchtigung des Messergebnisses führen. Je nach Bestandes Dichte und Entwicklung reagieren die unterschiedlichen Vegetationsindizes unterschiedlich sensibel auf die vorhandene Situation. So geht beispielsweise der NDVI (normalized difference vegetation index) bei sehr hohen Bestandes Dichten in die Sättigung, wodurch der Bestand nicht mehr so gut differenziert werden kann. Dafür reagiert dieser bei niedrigeren Bestandes Dichten ausreichend sensibel. Außerdem zeigen Pflanzenbestände aus unterschiedlichen Klimaregionen unterschiedliche Merkmalsausprägungen, welche einen direkten Vergleich von Vegetationsindizes aus unterschiedlichen Klimaregionen unzulässig machen. Neue Berechnungsmethoden basierend auf „Machine-Learning-Algorithmen“ versprechen diesbezüglich Verbesserungen.

Handsensoren

Über tragbare Handsensoren kann der Stickstoffernährungszustand von Pflanzenbeständen bestimmt und schließlich eine Düngeempfehlung für die Stickstoffdüngung erstellt werden. Für eine Empfehlung der teilflächenspezifischen Düngung sind diese Sensoren weniger geeignet.

Tabelle 38: Handsensoren zur Beschreibung des Pflanzenbestandes

Bezeichnung (an ausgewählten Sensoren)	Vegetationsindex/Messgröße	Messprinzip
Yara N-Tester	Chlorophyllgehalt	optische Messeinheit
N-Pilot	IGPN (Chlorophyllgehalt, Biomasse)	optische Messeinheit
GreenSeeker Handeld Crop Sensor	NDVI (Biomasse)	optische Messeinheit

Sensoren für Traktoren/Anbaugeräte

Sensoren werden direkt an den Traktor an- oder aufgebaut. Dabei werden Messköpfe in einem gewissen Abstand über dem Bestand geführt. Bei sogenannten aktiven Sensoren senden diese Messköpfe ein Licht aus (LED, Blitzlicht) und messen anschließend die Reflexion, also das vom Pflanzenbestand reflektierte Licht (sichtbares Licht und Nahinfrarotbereich).

Aktive Sensoren haben den Vorteil, dass sie vom Tageslicht annähernd unabhängig arbeiten und auch bei Nacht eingesetzt werden können. Passive Sensoren arbeiten nach dem gleichen Prinzip, nur wird kein aktives Licht ausgesendet. Es wird die Reflexion des Sonnenlichtes gemessen. Über die gemessenen Reflexionswerte können vom Terminal im Traktor verschiedene Vegetationsindizes berechnet werden, welche dann auf die N-Versorgung und auf die vorhandene Biomasse schließen lassen. Letztendlich wird der dem Vegetationsindex zugeordnete Düngewert über eine Datenschnittstelle an das Terminal weitergegeben und danach der Düngerstreuer eingestellt. Diese Verfahren (Messen und Streuen in einem Arbeitsgang) wird als Online-Verfahren bezeichnet.

Tabelle 39: Sensoren für Traktoren zur Beschreibung des Pflanzenbestandes

Bezeichnung (an ausgewählten Sensoren)	Vegetationsindex/Messgröße	Messprinzip
ISARIA Pro Active	IBI (Biomasse, Bestandesdichte); IRMI (N-Aufnahme, Chlorophyllgehalt)	aktives, optisches Messsystem mit eigener Lichtquelle
ISARIA Pro Compact	IBI (Biomasse, Bestandesdichte); IRMI (N-Aufnahme, Chlorophyllgehalt)	passives, optisches Messsystem mit Lichtkorrektureinheit
GreenSeeker	NDVI (Biomasse)	aktives, optisches Messsystem mit eigener Lichtquelle
Yara N Sensor	REIP (N-Aufnahme, Chlorophyllgehalt)	aktives, optisches Messsystem mit eigener Lichtquelle
CropSpec	Biomasse/N-Aufnahme/Chlorophyllgehalt	optisch mit eigener Lichtquelle

Drohnen mit Multispektralkameras

Ähnlich den bisherigen Sensoren können auch über Drohnen Reflexionsmessungen in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen durchgeführt werden. Für eine nachfolgende Düngung müssen diese Drohnendaten zuerst verrechnet und eine Düngekarte erstellt werden. Diese Düngerapplikationskarten müssen anschließend in das Terminal des Düngerstreuers bzw. auf eine sonstige Anzeigeeinheit zur manuellen Regulation der Ausbringmenge (z. B. Gisela-App) übertragen werden. Werden Karten erstellt und anschließend auf die Maschine oder auf eine Anzeigeeinheit übertragen, so wird dieses Verfahren als Mapping-Verfahren bezeichnet.

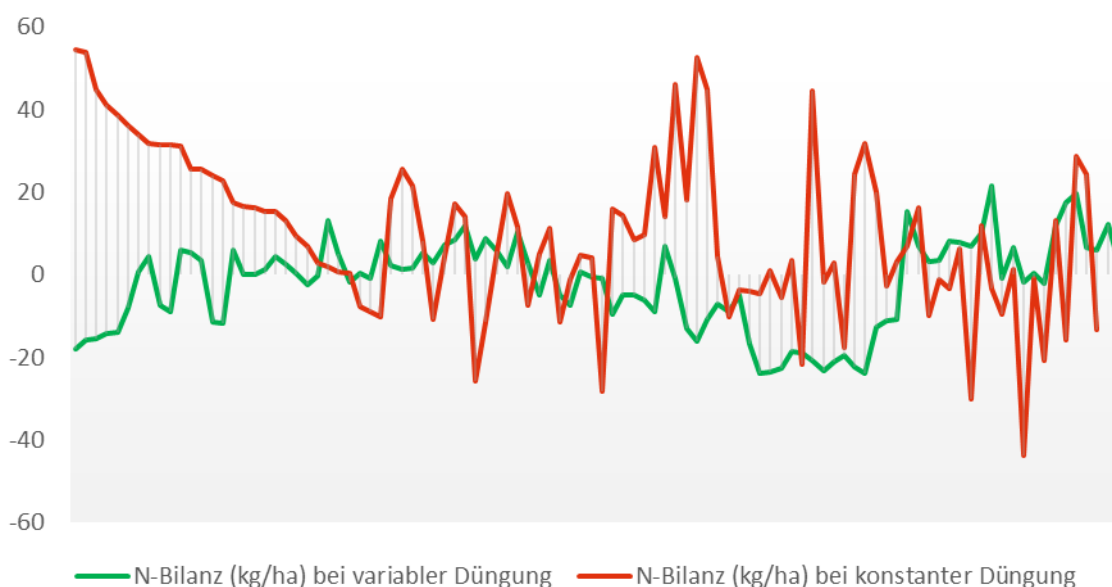
Satellitendaten

Auch Satelliten-Technologien werden für die Ermittlung von Vegetationsindizes herangezogen. Neue Satellitendaten mit einer hohen zeitlichen (alle fünf Tage) und räumlichen Auflösung (10 x 10 m) liefern die nötige Genauigkeit für eine teilflächenspezifische N-Bedarfsermittlung. Unterschiedliche Anbieter von EDV-Systemen liefern in wenigen Arbeitsschritten Düngerapplikationskarten welche anschließend, wie am Beispiel der Drohne beschrieben, abgedüngt werden können.

3.3.1.7 Teilflächenspezifische N-Düngung bei Getreide

Die teilflächenspezifische N-Düngung verfolgt das Ziel die N-Effizienz zu steigern, um örtliche Über- und Unterversorgungen weitgehend zu vermindern und die Pflanzen bedarfsgerecht zu ernähren. Abbildung 11 zeigt die N-Bilanz in kg/ha bei konstanter und variabler (teilflächenspezifischer) N-Düngung bei Winterweizen (Versuchsjahr 2019; oberösterreichisches Alpenvorland). Wie der Verlauf der N-Bilanz beispielsweise zeigt, konnten durch die variable, teilflächenspezifische Düngung die Ausreißer (Über- und Unterversorgungen) reduziert und eine bedarfsgerechtere Pflanzenernährung erreicht werden.

Abbildung 11: Gegenüberstellung der N-Bilanz bei Winterweizen bei variabler und konstanter Düngung (kg/ha)



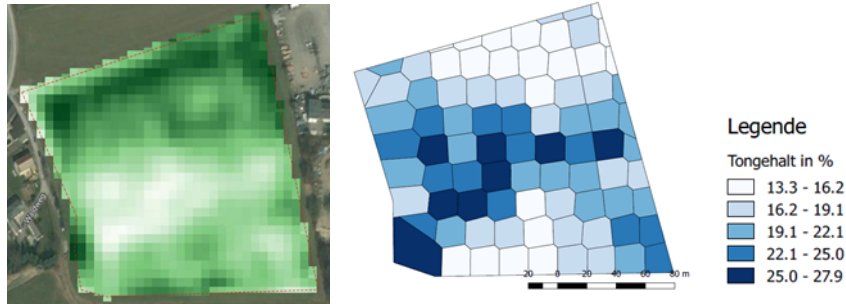
Die Sensoren liefern hierfür eine gute Basis. Gleichmaßen wichtig ist, die ermittelten Bestandes Unterschiede richtig zu interpretieren, um bei der teilflächenspezifischen Düngung

angemessen darauf reagieren zu können. Die entsprechenden Strategien werden für Getreide nachfolgend beschrieben:

Strategie für eine teilflächenspezifische 1. N-Düngergabe (Andüngung) bei Getreide

In der nachfolgenden Abbildung 12 ist der Vegetationsindex (NDVI)-Verlauf eines Winterweizenschlages dargestellt. Die dunkelgrünen Bereiche zeigen eine höhere Biomasse als die hellgrünen bzw. weißlichen Bereiche. Schwere (tonhaltige) Bereiche innerhalb eines Schlags sind aufgrund der langsameren Erwärmung reaktionsträge und zeigen deshalb ein gehemmtes Mineralisationsverhalten. Diese Bereiche sind aufgrund der schlechteren Frühjahrsentwicklung meist hellgrüner. Bei der Gegenüberstellung (Abbildung 12) ist der Effekt deutlich ersichtlich. Nachdem unter ungünstigen Frühjahrsbedingungen (niedrige Temperaturen und/oder Trockenheit) weniger N vom Boden zu erwarten ist, müssen diese Bereiche stärker angedüngt werden. Gut entwickelte Bereiche mit ausreichender Triebzahl sollten keinesfalls gefördert werden, daher sollten diese Bereiche knapper mit N versorgt werden. Über den NDVI (Vegetationsindex) kann ein Bezug zur erforderlichen N-Menge hergestellt werden. Wobei je nach Zeitpunkt der Reflexionsmessung (Zeitpunkt der Aufnahme) und Klimagebiet unterschiedliche Steigungen (Zusammenhang zwischen N-Gabe und Vegetationsindex) zur Anwendung kommen sollten. Bei sehr sandigen Böden kann es aufgrund des geringen Wasserhaltevermögens ebenfalls zu einer schlechteren Frühjahrsentwicklung kommen (Hemmung der Mineralisation aufgrund von Wassermangel). Im Gegensatz zum Vorherigen dürfen diese Bereiche keinesfalls stärker angedüngt werden. D.h. bei einer automatisierten N-Verteilung müssen derartige Bereiche ausgenommen werden. Karten für eine automatisierte teilflächenspezifische N-Verteilung bei Getreide werden derzeit erarbeitet.

Abbildung 12: Gegenüberstellung des Vegetationsindizes NDVI im Frühjahr (Anfang März; NÖ Alpenvorland) (links) und des Tongehaltes (rechts) eines Winterweizenschlages



Strategie für eine teilflächenspezifische 2. N-Düngergabe (Schossergabe) bei Getreide

Bei der zweiten N-Düngergabe ist der Zeitpunkt der Düngergabe mehr entscheidend als die absolute Menge. Während schwach entwickelte Bestände bereits bei Ende der Bestockung (EC 29/30) nachgedüngt werden sollten (alle Triebe sollen mitgenommen werden), sollten starke Bestände erst bei Aufhellen der überschüssigen Triebe nachgedüngt werden (schwache Triebe sollen reduziert werden). Nachdem ein Bestand nicht teilflächenspezifisch zu unterschiedlichen Zeitpunkten gedüngt wird, sollte bei einer teilflächenspezifischen ersten N-Düngergabe die zweite nur dann teilflächenspezifisch gedüngt werden, wenn die N-Menge bei schweren Stellen für einen Ausgleich sichtlich nicht gereicht hat. Generell werden moderatere Steigungen empfohlen. Bei anhaltender Trockenheit sollten leichte sandige Bereiche wieder knapper versorgt werden, um die Gefahr einer unnötigen N-Verlagerung zu vermindern.

Strategie für eine teilflächenspezifische 3. N-Düngergabe bei Getreide

Zwischen EC 32 und EC 37 steigt die Korrelation des NDVI (Vegetationsindex) zum späteren Ertrag stark an. Das Bestimmtheitsmaß (r^2) liegt ab diesem Zeitpunkt zwischen 0,7 und 0,8 und fällt bei beginnender Abreife wieder. D.h. man kann bei der 3. Düngergabe relativ gut auf den späteren Ertrag reagieren. Wobei der Zusammenhang zwischen Vegetationsindex und Ertrag im niederösterreichischen Trockengebiet nicht gleich wie im oberösterreichischen Alpenvorland ist. Der Zusammenhang zwischen Vegetationsindex und Ertrag wird derzeit über alle österreichischen Klimagebiete erarbeitet. Ausgehend vom zu erwartenden

Ertrag kann über diese Steigungen der jeweilige Teilflächenertrag und damit der zu erwartende N-Entzug errechnet werden. Zieht man davon die ausgebrachte N-Menge ab, so kommt man auf die N-Menge der 3. Düngergabe.

3.3.2 Stickstoffdüngung im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung

Altes Dauergrünland besitzt meist relativ große Humusreserven und oftmals einen hohen Leguminosen Anteil, der ebenfalls Beachtliches zur Stickstoffversorgung der Pflanzenbestände beitragen kann. Es ist dadurch auf vielen Grünlandflächen möglich, auch ohne mineralische Stickstoffdüngung ein gutes Ertragsniveau zu erzielen.

Eine zusätzliche Anwendung von mineralischen Stickstoffdüngern im Grünland kann bei Gräser betonten Beständen in Abstimmung mit der Wirtschaftsdüngergabe sinnvoll sein, sofern der Standort nachhaltig zur Erzielung von hohen bis sehr hohen Erträgen geeignet ist.

Bei den in Tabelle 40 angegebenen Werten für die Stickstoffdüngung von Grünland handelt es sich um Empfehlungen, die sich an der vorliegenden Ertragslage sowie an der Nutzungsform und -häufigkeit orientieren. Innerhalb der jeweils angegebenen Spannweite kann der Landwirt aufgrund seiner Erfahrung hinsichtlich der Standorteigenschaften (Wüchsigkeit, Leguminosen Anteil, Blattfarbe etc.) über die tatsächlich zu düngende N-Menge entscheiden. Die im österreichischen Aktionsprogramm „Nitrat“ enthaltenen Einschränkungen und Auflagen zur N-Düngung sind dabei jedenfalls zu berücksichtigen.

Die Versorgung der Grünlandbestände mit Stickstoff erfolgt in Österreich zu einem großen Teil über die Wirtschaftsdünger. Der angestrebte Leguminosen Anteil von bis zu 30 Flächen-% bringt über die Fixierungsleistung der Knöllchenbakterien zusätzlichen Stickstoff in das Grünlandsystem ein. Dazu wird noch über die Mineralisation Stickstoff aus dem Bodenvorrat für die Pflanzen freigesetzt. Diese beiden Stickstoffquellen sind bei den in Tabelle 40 angeführten Empfehlungswerten für die Stickstoffdüngung bereits berücksichtigt, wodurch die angegebenen Werte auch deutlich unter den tatsächlichen Entzugszahlen liegen. Bei kleereichen Feldfuttermischungen kann bei guter Entwicklung der Leguminosen im ersten Hauptnutzungsjahr auf eine N-Düngung sogar verzichtet werden. Geht der Kleeanteil jedoch auf Werte unter 30 Flächen-% zurück, so soll die N-Versorgung des verbleibenden Bestandes vorwiegend mit Wirtschaftsdüngern aufrechterhalten werden.

Die Werte in Tabelle 40 stellen eine Empfehlung für die Stickstoffdüngung der einzelnen Nutzungsformen über das gesamte Jahr dar. Die Entscheidung über die Düngung der Einzelaufwüchse muss vom Grünlandwirt in Abhängigkeit von Nutzungshäufigkeit und botanischer Zusammensetzung des Pflanzenbestandes getroffen werden. Zur besseren Nährstoffversorgung der einzelnen Aufwüchse und zur Vermeidung von Nährstoffüberhängen soll in jedem Fall die Jahresdüngermenge in mehreren Teilgaben ausgebracht werden.

Tabelle 40: Empfehlungsgrundlage für die Stickstoffdüngung in kg/ha und Jahr im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung

Nutzungsformen	Ertragslage		
	niedrig	mittel	hoch
	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
Dauer- und Wechselwiesen			
1 Schnitt	0–20	20–30	-
2 Schnitte	40–60	60–90	-
3 Schnitte kleereich	60–80	80–100	100–120
3 Schnitte gräserbetont	-	100–120	120–150
4 Schnitte kleereich	-	100–120	130–150
4 Schnitte gräserbetont	-	140–160	170–200
5 Schnitte gräserbetont	-	160–200	210
6 Schnitte gräserbetont	-	-	210
Mähweiden			
1 Schnitt + 1 bis 2 Weidegänge	40–60	70–90	-
2 Schnitte + 1 Weidegang	-	90–110	120–140
2 Schnitte + 2 oder mehr Weidegänge	-	100–120	150–170
Dauerweiden	60–80	100–130	140–180
Hutweiden	0–20	20–30	-
Feldfutter			
Kleebetont (über 40 Flächen-%)	0–40	0–40	0–40

	Ertragslage		
Gräserbetont	60–100	140–180	210
Gräserreinbestände	-	160–200	210
Sämereienvermehrung			
Alpingräser	40–80	80–100	100–150
Gräser für das Wirtschaftsgrünland	70–90	90–110	110–170
Rotklee	0–20	0–20	0–20

Ergänzungen zu Tabelle 40:

- Die für Mähweiden und Dauerweiden angeführten Empfehlungen verstehen sich als Summe aus N-Ausscheidungen auf der Weide sowie einer allfälligen Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und/oder Mineraldüngern. Die Empfehlung für eine Ergänzungsdüngung mit Stickstoff in Abhängigkeit der Besatzdauer auf Dauerweiden ist in Tabelle 41 ersichtlich. Bei kleebetonten Feldfutterbeständen ist eine Start- oder Herbsdüngung im Ausmaß von bis zu 40 kg N/ha möglich.
- Empfehlungen werden üblicherweise auf Basis des Mittelwertes der oben angegebenen Spanne erstellt, ein Ausschöpfen der gesamten Spanne gilt jedoch ebenfalls als sachgerecht.

Tabelle 41: Empfehlungsgrundlage für die maximale ergänzende Stickstoffdüngung in kg/ha und Jahr auf Dauerweiden

	Ertragslage		
	niedrig	mittel	hoch
Ganztagsweide (> 12 Std.)	10–30	40–60	70–90
Halbtagsweide (6–12 Std.)	30–50	60–90	100–120
Stundenweide (< 6 Std.)	50–70	80–110	120–150

Die höheren Stickstoffempfehlungen von Stundenweiden im Vergleich zu den Ganztagsweiden ergeben sich aus den sehr kurzen und intensiven Weidegängen (sehr häufig tatsächlich nur wenige Stunden), welche zu geringen N-Ausscheidungen auf den Weiden führen.

In Gunstlagen können bei intensiv genutzten, gräserbetonten 5- und 6-Schnittflächen sowie gräserbetonten und/oder gräserreinen Feldfutterbeständen derart hohe N-Entzüge erzielt werden, dass aus pflanzenbaulicher Sicht nachfolgende, über die 210 kg-Grenze hinausgehende N-Düngemengen gerechtfertigt sein können.

Dauer- und Wechselwiesen

5 Schnitte, gräserbetont, hohe Ertragslage	240 kg/ha N
--	-------------

6 Schnitte, gräserbetont, hohe Ertragslage	270 kg/ha N
--	-------------

Feldfutter

gräserbetont, hohe Ertragslage	250 kg/ha N
--------------------------------	-------------

Gräserreinbestände, hohe Ertragslage	280 kg/ha N
--------------------------------------	-------------

Am Betrieb kann dies mittels abgestufter (Grünland-)Bewirtschaftung umgesetzt werden, sofern die umweltrechtlichen Vorgaben berücksichtigt werden. Ungeachtet einer allfälligen Bewilligung gemäß Wasserrechtsgesetz 1959 idgF sind die Vorgaben des Aktionsprogramms Nitrat hinsichtlich der Begrenzung der Stickstoffdüngung mit Wirtschaftsdünger zu beachten.

Die Ausbringungsmenge pro Aufwuchs und Hektar soll 35 bis 40 kg N_{iw} nicht überschreiten. Die Ausbringungsmenge pro Aufwuchs und Hektar soll bei unverdünnter Rindergülle (ca. 8 % TM) 15–17 m³ und bei Jauche (ca. 2 % TM) 20 m³ nicht überschreiten. Eine Verdünnung der Güllen mit Wasser, besonders in den wärmeren Jahreszeiten im Verhältnis von 1 + 0,5 bis 1 + 1 wird zur Verringerung von Abgasungsverlusten empfohlen. Bei Stallmist (20–25 % TM) in den verschiedensten Rottephasen soll die Ausbringungsmenge pro Aufwuchs und Hektar 20 t Frischmasse nicht überschreiten. Bei Stallmistkompost (40–60 % TM) und bei Komposten aus biogenen Abfällen (50–60 % TM) soll die Ausbringungsmenge bezogen auf die Frischmasse nicht höher als 15 t/ha liegen. Die Wirtschaftsdünger sollen zur Erhaltung von harmonischen Pflanzenbeständen sowie zur Vermeidung von Futterverschmutzung in kleineren, mehrmaligen Einzelgaben pro Jahr gut auf den Flächen verteilt werden. Dadurch bestehen auch eine geringere Verunkrautungsgefahr und ein geringeres Risiko zur Futterverschmutzung. Die Nährstoffe, insbesondere der Stickstoff, können besser genutzt werden

und die Futterinhaltsstoffe bleiben in den erwünschten Bereichen (z. B. Kalium unter 30 g/1.000 g TM).

Kleereichere und extensiv geführte artenreiche Pflanzenbestände sowie kleebetontes Feldfutter sollen aufgrund ihres geringen Stickstoffbedarfs eher mit langsam wirkenden N-Quellen, d.h. bevorzugt mit Stallmist, Rottemist oder Kompost versorgt werden. Gräserreiches Grünland und Gräserreinbestände benötigen hingegen N-Dünger mit einem hohen Anteil an leichtlöslichem und rasch verfügbarem Stickstoff, d.h. hier können bevorzugt Gülle, Jauche oder im Bedarfsfall auch mineralischer Stickstoff zum Einsatz kommen.

3.4 Düngung mit Phosphor und Kalium

3.4.1 Phosphor- und Kaliumdüngung im Ackerbau

Die Düngeempfehlung für Phosphor und Kalium basiert auf der Einstufung der pflanzenverfügbaren Gehalte im Boden. Liegt eine Versorgung gemäß Gehaltsklasse C vor, erfolgt eine Düngung in der Höhe der in Tabelle 42 angegebenen Richtwerte unter Berücksichtigung der in den Tabelle 43 und Tabelle 44 angeführten Korrekturen aufgrund der vorliegenden Standorteigenschaften.

Tabelle 42: Richtwerte für die Düngung mit Phosphor und Kalium bei Gehaltsklasse C (Angaben in kg/ P₂O₅ bzw. K₂O/ha und Jahr)

	Kultur	P ₂ O ₅	K ₂ O
Getreide (Weizen, Durum - Weizen, Roggen, Wintergerste, Dinkel, Triticale, Hafer, Sommergerste)		55	80
Hackfrüchte	Mais (CCM, Körnermais)	85	200
	Silomais	90	225
	Zuckerrübe	85	320
	Futterrübe	85	320
	Speise- und Industriekartoffel	65	200
	Früh- und Pflanzkartoffel	60	180
	Rispenhirse	40	80

	Kultur	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Körnerhirse/-sorghum	85	210
	Silohirse/-sorghum	95	375
Öl- und Eiweißpflanzen	Körnererbse	65	100
	Ackerbohne	65	120
	Sojabohne	65	90
	Körnerraps	75	200
	Sonnenblume	65	200
	Ölkürbis	50	180
Zwischenfruchtfutterbau	mit und ohne Leguminosen	25	80
Sonderkulturen	Mohn	55	100
	Kümmel	60	80

Gemäß der Einstufung des Gehaltes an pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium (nach ÖNORM L 1087) sind die in Tabelle 43 angeführten Korrekturfaktoren für oben angeführten Werte zu berücksichtigen.

Tabelle 43: Korrekturfaktoren für den Wert aus Tabelle 41 in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse für Ackerkulturen

P ₂ O ₅			K ₂ O		
Gehalts- klasse	Spezifikation	Korrekturfaktor	Spezifikation	Korrekturfaktor	
A		1,5			1,5
B		1,25			1,25
C1		1			1
C2	90–111 mg/1000 g P	0,5 Getreide, Stärke- Industrie- kartoffel	Ton < 15 %	148–178 mg/1000 g K	0,5
			Ton 15–25%	177–212 mg/1000 g K	
			Ton > 25 %	205–245 mg/1000 g K	
		übrige Kulturen	Ton < 15 %	148–178 mg/1000 g K	0,75

P_2O_5			K_2O
		Ton 15 - 25%	177–212 mg/1000 g K
		Ton > 25 %	205–245 mg/1000 g K
D1	Unterschreitung des Mindestgehalts gem. Tabelle 11, > 15 % Ton*	0,5	0,5
D2		0	Getreide 0
E		0	0

*... P-Gabe als Unterfußdüngung

Bei schweren Böden (Ton > 25 %) kann bei rein mineralischer P-Düngung und nach Vorliegen des anzustrebenden pH-Wertes von 6,5 der Korrekturfaktor bei der Stufe B von 1,25 auf 1,0 und bei der Stufe A von 1,5 auf 1,25 für die Ermittlung der Nährstoffempfehlung vermindert werden. Bei Kulturen mit hohem P-Bedarf und langsamer, temperaturabhängiger Wurzelentwicklung bleibt der Korrekturfaktor von 1,5 für Stufe A und 1,25 für Stufe B unverändert. Eine mineralische platzierte P-Unterfußdüngung wird empfohlen.

Für die Gehaltsklassen C, D und E ist eine Nährstoffzufuhr durch hofeigene Wirtschaftsdünger in der Höhe des Pflanzenentzugs tolerierbar.

Die Düngungsempfehlung kann bei Vorliegen von Gehaltsklasse C1 durch eine lineare Interpolation zwischen den Faktoren 1 und 0,5 auf der Basis der exakten Bodenuntersuchungsergebnisse präzisiert werden.

Die Empfehlungen für die Düngung mit P und K sind im Mittel von 5 Jahren einzuhalten.

Liegt eine Einstufung der Nährstoffversorgung in Gehaltsklasse C vor, kann die Empfehlung für die Düngung mit Phosphor und Kalium ebenso wie die Stickstoffdüngung an die Standorteigenschaften angepasst werden. Die dafür vorgesehenen Zu- und Abschläge sind in Tabelle 44 angeführt.

Tabelle 44: Anpassung der Phosphor- und Kaliumdüngung an die Standortseigenschaften (gilt ausschließlich für Böden mit einer Nährstoffversorgung der Gehaltsklasse C)

Zu- und Abschläge in %		
Anpassung der Phosphordüngung		
Ertragserwartung	niedrig	-10
	mittel	0
	hoch	15
Anpassung der Kaliumdüngung		
Ertragserwartung	niedrig	-10
	mittel	0
Verhältnis K/Mg*	hoch	15
	über 5	-10
	unter 5	0

*gilt für alle Gehaltsklassen

Zusätzlich soll auch die Kaliumfixierung berücksichtigt werden. Die Empfehlungen sind im Mittel von 5 Jahren einzuhalten.

3.4.2 Phosphor- und Kaliumdüngung im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung

Im Grünland (Wiesen, Weiden und Feldfutter) bilden die anfallenden Wirtschaftsdünger wie Stallmist, Jauche, Stallmistkompost und Gülle die Hauptquellen für eine kontinuierliche Versorgung der Böden und Pflanzen mit organischer Substanz, Hauptnährstoffen und Spurenelementen.

Eine mineralische PK - Düngung am Grünland soll jedenfalls dann erfolgen, wenn entweder eine Anwendung von Wirtschaftsdüngern nicht möglich ist, die P- oder K-Gehalte im Boden die Gehaltsklasse C unterschreiten oder ein Ausgleich eines ungünstigen P/K - Verhältnisses im Wirtschaftsdünger (z. B. Jauche) notwendig ist.

Die Phosphat- und Kaliumdüngung erfolgt bei einer Nährstoffversorgung der Gehaltsklasse C nach den Empfehlungen der Tabelle 45. Die angegebenen Werte wurden aus der Ertragslage der einzelnen Nutzungsformen geschätzt, wobei der Entzug von P_2O_5 und K_2O sich nach

der Intensität der Bewirtschaftung richtet. Je 100 kg TM werden zwischen 0,7 und 1,0 kg P₂O₅ bzw. 2,2 und 2,6 kg K₂O angerechnet. In der Praxis können die Entzüge an P₂O₅ und K₂O unter Berücksichtigung der Nachlieferung aus dem Boden auch höher sein.

Tabelle 45: Empfehlungen für die Düngung des Grünlandes mit Phosphor und Kalium bei einer Nährstoffversorgung der Gehaltsklasse C im Boden (Angaben in kg P₂O₅ und K₂O pro ha und Jahr)

Nutzungsformen	Ertragslage					
	P ₂ O ₅	niedrig K ₂ O	P ₂ O ₅	mittel K ₂ O	P ₂ O ₅	hoch K ₂ O
Dauer- und Wechselwiesen						
1 Schnitt	15	45	30	80	-	-
2 Schnitte	30	80	45	120	-	-
3 Schnitte	45	130	65	170	80	215
4 Schnitte	-	-	80	205	90	260
5 Schnitte	-	-	85	230	105	300
6 Schnitte	-	-	-	-	120	340
Mähweiden						
1 Schnitt + 1 bis 2 Weidegänge	40	120	50	140		
2 Schnitte + 1 bis 2 Weidegänge	-	-	60	190	80	225
2 Schnitte + 2 oder mehr Weidegänge	-	-	80	215	100	290
Dauerweiden	45	130	70	190	100	290
Hutweiden	10	20	20	40	-	-
Feldfutter						
kleebetont (über 40 % der Fläche)	50	155	65	190	95	310
gräserbetont	50	145	70	205	125	365
Gräserreinbestände	-	-	70	225	135	390
Sämereienvermehrung						
Alpingräser	40	70	60	120	-	-

Nutzungsformen	Ertragslage					
	P ₂ O ₅	niedrig K ₂ O	P ₂ O ₅	mittel K ₂ O	P ₂ O ₅	hoch K ₂ O
Gräser für das Wirtschaftsgrünland	60	80	80	160	100	220
Rotklee	80	160	100	200	120	240

Die für Mähweiden und Dauerweiden angeführten Empfehlungen verstehen sich als Summe von P und K-Ausscheidungen auf der Weide sowie einer allfälligen Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und/oder Mineraldüngern. Der Empfehlung für eine Ergänzungsdüngung mit Phosphor und Kalium auf Dauerweiden in Abhängigkeit der Besatzdauer ist in Tabelle 46 ersichtlich. Die höheren P- und K-Empfehlungen von Stundenweiden im Vergleich zu den Ganztagsweiden ergeben sich aus den sehr kurzen und intensiven Weidegängen (sehr häufig tatsächlich nur wenige Stunden), welche zu geringen P- und K-Ausscheidungen auf den Weiden führen.

Tabelle 46: Empfehlungsgrundlage für die ergänzende Phosphor- und Kaliumdüngung in kg/ha und Jahr auf Dauerweiden.

Nutzungsformen	Ertragslage					
	P ₂ O ₅	niedrig K ₂ O	P ₂ O ₅	mittel K ₂ O	P ₂ O ₅	hoch K ₂ O
Ganztagsweide (> 12h)	15	40	25	65	35	100
Halbtagsweide (6–12h)	25	65	40	110	55	150
Stundenweide (< 6h)	35	90	55	155	75	210

Tabelle 47: Zuschlagsfaktoren für die Werte aus Tabelle 44 in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse für Grünland

Korrekturfaktor		
Gehaltsklasse	P ₂ O ₅	K ₂ O
A	1,5	1,5

	Korrekturfaktor	
B	1,25	1,25
C	1	1
D	0	0
E	0	0

Bei Vorliegen der Gehaltsklasse D oder E ist eine Rückführung von P und K aus Wirtschaftsdüngern möglich.

Bei einem pH-Wert des Bodens über 6,0 kommt weicherdiges Phosphat (z. B. Hyperphosphat) nicht mehr zur Wirkung. Ab diesem pH-Wert wird daher der Einsatz von aufgeschlossenen Phosphaten (z. B. Superphosphat) empfohlen.

Für Feldfutter und für die Sämereien Vermehrung ist die Einstufung der Bodengehaltsklassen für den Ackerbau anzuwenden (Tabelle 14 und Tabelle 16). Die Empfehlungen für die Düngung mit Phosphor und Kalium sind im Mittel von 5 Jahren einzuhalten.

Zur Vermeidung überhöhter Kaliumgehalte im Futter empfiehlt es sich, maximal 100 kg K₂O je ha in einer Gabe auszubringen. Darüberhinausgehende Bedarfswerte erfordern eine Teilung der Gaben.

3.5 Düngung mit Magnesium im Acker- und Grünland

Die in Tabelle 48 angeführten empfohlenen Jahresmengen können zu praxisgerechten Gaben (Düngung etwa alle 2–3 Jahre) zusammengefasst werden, wobei die Ausbringung im Ackerland im Rahmen der Fruchtfolge am zweckmäßigsten zu den Hackfrüchten erfolgt.

Auf kalkarmen Böden können zur Magnesiumversorgung auch magnesiumhaltige Düngesalze eingesetzt werden, auf gut mit Kalk versorgten Böden ist hingegen die Verwendung von Kieserit oder Bittersalz zu empfehlen. Bei gleichzeitigem Kalium- und Magnesiummangel eignet sich der Einsatz von Patentkali. Im Grünland ist bei Vorliegen der Gehaltsklassen D und E keine mineralische Magnesiumdüngung erforderlich. Für Böden in den Gehaltsklassen A, B und C ist bei sachgerechter Düngung mit Wirtschaftsdüngern eine ausreichende Magnesiumversorgung sichergestellt.

Tabelle 48: Empfehlung für die Magnesiumdüngung (kg MgO/ha und Jahr)

Verhältnis Kalium: Magnesium K (mg/1.000 g, CAL) : Mg (mg/1.000 g, Schachtschabel)			
Gehaltsklasse	Versorgung	gleich oder enger als 5 : 1	weiter als 5 : 1
A	sehr niedrig	70	90
B	niedrig	50	70
C	ausreichend	30	50
D	hoch	keine zusätzliche Mg - Düngung erforderlich	
E	sehr hoch		

Der Optimal Bereich des Verhältnisses von Kalium : Magnesium liegt zwischen 1,7 : 1 und 5 : 1. Liegt das Verhältnis außerhalb dieser Spanne, sind Mg-Mangelsymptome möglich, unterhalb des Bereiches können bei empfindlichen Kulturen oder bei trockenen Witterungsbedingungen Kaliummangelsymptome auftreten.

3.6 Düngung mit Kalk

3.6.1 Verbesserungskalkung

Eine Verbesserungskalkung ist nur auf Basis einer Bodenuntersuchung (pH-Wert, ev. austauschbare Kationen), bei der in Abhängigkeit von der Nutzungsart und der Bodenart der Kalkdüngbedarf ermittelt wird, durchzuführen.

Dabei wird zunächst der pH-Wert gemäß ÖNORM EN ISO 10390 (CaCl₂) bestimmt und auf Basis der Einschätzung des Landwirtes hinsichtlich der standörtlichen Bodenschwere oder durch die Korngrößen- oder Tonbestimmung die weitere Vorgangsweise festgelegt. Auch hierfür kann beispielsweise die Abgrenzung von Teilflächen mit einheitlicher Bodenart (Korngrößenzusammensetzung) wie unter „Bodenzonierung“ beschrieben hilfreich sein.

Keine Empfehlung für eine Verbesserungskalkung erfolgt auf:

- schweren Böden bei pH-Werten größer gleich 6,5 (Ackerland) und größer gleich 6,0 (Grünland),

- mittelschweren Böden bei pH-Werten größer gleich 6,0 (Ackerland) und größer gleich 5,5 (Grünland),
- leichten Böden bei pH-Werten größer gleich 5,5 (Ackerland) und größer gleich 5,0 (Grünland).

Auf leichten Böden kann bei einem hohen Anteil an Kartoffeln, Roggen und Hafer in der Fruchtfolge ein pH-Wert von 5,0 noch ausreichend sein, wodurch günstigere Bedingungen zur Vermeidung von Schorf bei Kartoffel gegeben sind. Bei kalkbedürftigen Kulturen wie Gerste, Raps oder Weizen kann es jedoch bereits zu geringen Ertragseinbußen kommen. Speziell für diese Betriebe ist die Kalkdüngempfehlung entsprechend zu modifizieren.

Liegen die pH-Werte unterhalb der oben angeführten Grenzen, erfolgt die Kalkbedarfsermittlung unter Einbeziehung des pH-Wertes in einer 0,5M Calciumacetat-Lösung (pH - Ac) nach Schachtschabel¹, deren ursprünglicher pH-Wert zwischen 7,2 und 7,6 liegt. Bei Zugabe von Boden wird ein Teil der H⁺-Ionen gebunden. Die pH-Wertsenkung durch die gebildete Essigsäure ist dem Kalkbedarf des Bodens proportional und der entsprechende Kalkbedarf wird wesentlich aus der pH-Absenkung dieser Pufferlösung mitbestimmt.

Tabelle 49: Korrespondierende pH -Werte gemäß ÖNORM L 1083 (CaCl₂) und in 0,5M Ca-Acetat-Lösung; die Angaben basieren auf langjährigen Untersuchungsergebnissen, im Einzelfall sind Abweichungen möglich

pH (CaCl ₂)	pH - Ac: Ackerland	pH - Ac: Grünland
< 4,0	< 6,1	< 6,0
um 4,5	6,1–6,3	6,0–6,2
um 5,0	6,2–6,4	6,1–6,3
um 5,5	6,3–6,5	6,2–6,4
um 6,0	> 6,4	

In den folgenden Tabellen sind Kalkdüngungsempfehlungen, kalkuliert nach der im Kapitel 6.1 „Berechnung der Kalkdüngungsempfehlung“ angeführten Formel, zusammengefasst.

Tabelle 50: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl₂) und pH-Ac: Schwere Ackerböden, Ziel - pH 6,5

pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,5	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,3	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,1
6,25	1,06	6,00	2,24	5,75	4,23
6,00	1,58	5,75	2,69	5,50	4,7
5,75	1,90	5,50	2,99	5,25	5,03
5,50	2,11	5,25	3,21	5,00	5,29
5,25	2,26	5,00	3,37	4,75	5,48
5,00	2,38	4,75	3,49	4,50	5,64
4,75	2,46	4,50	3,59	4,25	5,77
4,50	2,53	4,25	3,67	4,00	5,87

¹Schachtschabel, P. (1941): Die Methoden zur Bestimmung des Kalkbedarfes im Boden. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 54 (99), 134-145

Tabelle 51: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl₂) und pH-Ac: Mittlere Acker- und schwere Grünlandstandorte, Ziel - pH 6,0

pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,4	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,2	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,0
5,75	0,74	5,75	1,11	5,75	1,81
5,50	1,24	5,50	1,85	5,50	3,01
5,25	1,60	5,25	2,38	5,25	3,87
5,00	1,86	5,00	2,78	5,00	4,52
4,75	2,07	4,75	3,09	4,75	5,02
4,50	2,23	4,50	3,34	4,50	5,42
4,25	2,37	4,25	3,54	4,25	5,75
4,00	2,48	4,00	3,71	4,00	6,03

Tabelle 52: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl₂) und pH-Ac: leichte Acker- und mittlere Grünlandstandorte, Ziel - pH 5,5

pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,4	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,2	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,0
5,25	0,53	5,25	0,79	5,25	1,29
5,00	0,93	5,00	1,39	5,00	2,26
4,75	1,24	4,75	1,85	4,75	3,01
4,50	1,49	4,50	2,23	4,50	3,62
4,25	1,69	4,25	2,53	4,25	4,11
4,00	1,86	4,00	2,78	4,00	4,52
3,75	2,00	3,75	3,00	3,75	4,87

Tabelle 53: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl₂) und pH-Ac: leichte Ackerböden mit wenig kalkbedürftigen Kulturen und leichte Grünlandstandorte, Ziel - pH 5,0

pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,3	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 6,1	pH (CaCl ₂)	t CaO/ha bei pH-Ac 5,9
4,75	0,50	4,75	0,78	4,75	1,29
4,50	0,90	4,50	1,41	4,50	2,33
4,25	1,22	4,25	1,92	4,25	3,17
4,00	1,50	4,00	2,35	4,00	3,88
3,75	1,73	3,75	2,71	3,75	4,48

Zusätzlich zu dem so ermittelten Bedarf wird je nach Bodenschwere auch der Erhaltungskalkungsbedarf (siehe nachfolgendes Kapitel) in der Höhe von 0,5 t CaO/ha (leichter Boden) bis 2,0 t CaO/ha (schwerer Boden) bis zur nächsten Bodenuntersuchung einmalig mitberücksichtigt und zu den gemäß den Tabellen 50 - 53 ermittelten Werten addiert.

3.6.2 Erhaltungskalkung

Eine Erhaltungskalkung dient zum Ausgleich der natürlichen Versauerung durch Auswaschung, Entzug, Säureeinträge oder Säurebildung. Die dazu erforderliche Kalkmenge liegt

im Ackerland je nach Bodenschwere zwischen 0,5 t CaO (leichte Böden) und 2,0 t CaO (schwere Böden) je ha und 4–6 Jahren, auf Grünland zwischen 0,5 t CaO und 1 t CaO je ha und 4–6 Jahren. Eine Bilanzierung kann zur genaueren Spezifizierung des Zeitraumes beitragen (siehe Kapitel 6.2 „Kalkbilanzierung“).

Tabelle 54: Kalkbedarf von Acker- und Grünland in Abhängigkeit von Bodenschwere und pH-Wert im Zeitraum von 4–6 Jahren

Bodenschwere	pH-Wert kleiner als	Kalkbedarf (t/ha CaO)
Ackerland		
Leicht	5,75	0,50
Mittel	6,25	1,25
Schwer	6,75	2,00
Grünland		
Leicht	5,25	0,50
Mittel	5,75	0,75
Schwer	6,25	1,00

Der Kalkbedarf von Böden wird üblicherweise in t CaO pro ha ausgewiesen. Zur Bestimmung der entsprechenden Menge an Kalkdüngemittel sind die Bedarfszahlen mit den in Tabelle 55 angegebenen Faktoren zu multiplizieren.

Tabelle 55: Umrechnung des Kalkbedarfs in t CaO/ha auf die erforderliche Menge häufig verwendeter Kalkdünger

Kalkdüngemittel	Umrechnungsfaktor von CaO auf Kalkdüngermenge
Branntkalk	1,0
Mischkalk	1,5
Kohlensaurer Kalk	2,0
Konverterkalk	2,0
Carbokalk	3,0

Auf leichten Böden sind Mengen über 1,5 t CaO pro Hektar, auf mittelschweren und schweren Böden Mengen über 2 t CaO pro Hektar auf mehreren Gaben jeweils im Abstand von zwei Jahren aufzuteilen. Auf schweren, verdichteten Böden haben Branntkalk und Mischkalk eine günstigere und raschere Wirkung als die übrigen Kalkformen.

Auch die Verwendung von Pflanzenaschen führt im Allgemeinen zu einer Erhöhung des pH-Wertes. Zur sachgerechten Anwendung dieses Sekundärrohstoffes wird auf die Fachbeiratsbrochure „Sachgerechte Anwendung von Pflanzenaschen in der Landwirtschaft“ info.bml.gv.at/dam/jcr:c27d33a3-d162-4632-9a63-c17491467447/Richtlinie%20f%C3%BCr%20den%20sachgerechten%20Einsatz%20von%20Pflanzenaschen%20zur%20Verwertung%20auf%20Land-%20und%20Forstwirtschaftlich%20genutzten%20Fl%C3%A4chen.pdf verwiesen (BMLRT, 2011).

3.6.3 Ermittlung des Kalkbedarfs nach EUF

Liegen der Ca-Gehalt der 1. Fraktion (EUF-Cal) unter 50 mg/100 g Boden und der Ca-Gehalt der 2. Fraktion (EUF-Call) unter 40 mg/100 g Boden können Kalkdüngungsempfehlungen auf Basis der EUF-Analysen entsprechend der folgenden Gleichung errechnet werden:

$$\text{Kalkbedarf (kg CaO/ha)} = 4.400 - 70 \times \text{Cal} - 85 \times \text{Call} + 80 \times \text{Tongehalt in \%}$$

Der Tongehalt ergibt sich aus dem Gehalt an Kalium-selektiven Mineralien (EUF-KSM), der aus den EUF-K-Fraktionen ermittelt wird.

Ergibt sich nach obiger Gleichung ein Bedarf unter 500 kg CaO/ha, wird keine Kalkdüngung empfohlen. Liegt ein Ergebnis über 3 t CaO/ha vor, wird die Obergrenze von maximal 3 t CaO/ha als Empfehlung ausgewiesen.

Die Kalkbedarfsermittlung orientiert sich am optimalen pH-Wert des Bodens für stärker kalkbedürftige Kulturen (zwischen 6,5 und 7,2). Für Fruchtfolgen mit Kartoffeln (optimaler pH-Wert des Bodens zwischen 5,5 und 6,5) wird die Konstante der obigen Gleichung um 1.000 vermindert, wodurch sich deutlich geringere CaO-Empfehlungen ergeben.

Liegt der Ca-Gehalt der 2. Fraktion unter 18 und ergibt die direkte oder indirekte Ermittlung des Tongehaltes einen Wert unter 15 % (leichter Boden), wird die Kalkdüngungsempfehlung so vermindert, dass eine Obergrenze von maximal 1 t CaO/ha eingehalten wird. Dadurch wird

berücksichtigt, dass der anzustrebende pH-Wertbereich auf leichten Böden niedriger als auf den übrigen Böden liegt.

3.7 Düngung mit Schwefel

Schwefel ist Bestandteil von essentiellen Aminosäuren, daher von Bedeutung für die Bildung von Proteinen und somit ein unverzichtbarer Pflanzennährstoff. Da der Schwefel auch für den Aufbau der Glucosinolate (Senföle) benötigt wird, ist der Bedarf bei Raps, aber auch bei Kraut und den Kohlarten am höchsten.

Ackerbau

Im Trockengebiet wird der Schwefelbedarf in vielen Fällen über das im Beregnungswasser gelöste Sulfat abgedeckt (BML (2018): Hydrochemie und Hydrogeologie der österreichischen Grundwässer und deren natürliche Metall- und Nährstoffgehalte.). Weil Sulfat ebenso wie Nitrat sehr leicht ausgewaschen werden kann, sind vor allem auf leichten, sandigen, flachgründigen, humusarmen Böden, die keine oder nur sehr geringe Mengen an organischen Düngern erhalten, nach hohen Winterniederschlägen zuerst Mangelsymptome zu bemerken. Vor allem die jüngeren Blätter erscheinen ähnlich wie bei einem Stickstoffmangel hellgrün, bei Raps sind die Blüten gelblichweiß.

Grünland

Um eine ausreichende Schwefelversorgung im Grünland sicherzustellen, steht der Einsatz von Wirtschaftsdüngern an erster Stelle. Bei intensiver Schnittnutzung kann zur Ertragssicherung eine mineralische Schwefelergänzungsdüngung erfolgen, diese kann aber keinesfalls ein optimales Wirtschaftsdüngermanagement ersetzen.

Insbesondere bei schweren Böden kann aufgrund der verzögerten Mineralisierung zu Vegetationsbeginn eine mineralische Schwefeldüngung ausschließlich in sulfatischer Form vor dem ersten Schnitt (10 bis 20 kg SO_4/ha) sinnvoll sein. Bei leichten bis mittleren Böden mit niedrigen Humusgehalten insbesondere bei Klee gras, Feldfutter und Grünlandflächen mit mehr als vier Schnitten kann ebenfalls eine mineralische Schwefelergänzungsdüngung ausschließlich in sulfatischer Form vor dem ersten Schnitt (10 bis 20 kg SO_4/ha) in Erwägung gezogen werden. Im weiteren Vegetationsverlauf ist die Schwefelversorgung grundsätzlich

durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und durch die Mineralisierung aus dem Bodenvorrat abgedeckt.

Aufgrund der Bildung von toxischem Schwefelwasserstoff beim Einrühren von elementarem Schwefel in Gülle muss das behördliche Anwendungsverbot beachtet werden.

Zur genauen Charakterisierung der Schwefelversorgung ist neben der Bodenanalyse ($S_{\min}$ -Gehalt, EUF-S-Gehalt) auch eine Blattanalyse geeignet. Wegen des hohen Aufwandes für die Probenziehung, des zu späten Zeitpunktes für Düngungsmaßnahmen sowie den damit verbundenen Kosten wird dieses Verfahren meist nur zu Versuchszwecken herangezogen.

Tabelle 56: Schwefeldüngung im Ackerbau und Grünland

Kulturart	Düngemenge in kg S/ha	Düngezeitpunkt
Winterraps	30–60	Vegetationsbeginn
Getreide, Leguminosen	10–30	Vegetationsbeginn
Mais	25–50	Zur Saat - 6-Blatt-Stadium
Kartoffel ¹⁾	10–20	Zur Pflanzung bis zur Dammformung
Zuckerrübe ¹⁾	10–20	Zur Saat bis 8-Blatt-Stadium
Grünland	Meist über die Wirtschaftsdünger abgedeckt	

1) bislang keine gezielte S-Düngung angezeigt, weil die S-Mineralisierung auf den meisten Standorten nach wie vor ausreichend ist. Bei Raps und Getreide kommt hingegen die Mineralisierung im Vegetationsverlauf zu spät.

Die Schwefeldüngung kann über Stickstoff-, Mehrnährstoff- oder Wirtschaftsdünger erfolgen. Bei regelmäßiger Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (durchschnittlicher Schwefelgehalt ca. 8 % des Stickstoffgehaltes ab Lager) kann auf zumindest mittelschweren und tiefgründigen Böden die S-Zufuhr aus Mineraldüngern entsprechend reduziert werden. Schwefelgaben deutlich über Entzug können von den Böden nicht gespeichert werden und werden letztendlich in Form von Sulfat ausgewaschen.

3.8 Düngung mit Spurenelementen

Spurenelemente sind essentielle Nährstoffe, die von der Pflanze in nur relativ geringen Mengen benötigt und aufgenommen werden. Zu ihnen zählen das Nichtmetall Bor und die Schwermetalle Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän und Zink. Als günstig auf bestimmte Kulturarten wirkende Elemente gelten weiters Kobalt (insbesondere für Leguminosen) und Chlorid für Arten, die aus maritimen Klimagebieten oder salinen Standorten stammen (Wachstumsförderung bei Rüben, Raps, Spinat und Kohlarten). Ein Mangel an Kobalt ist kaum bekannt, weshalb Kobalt auch nicht gedüngt wird. Die Chlorid Versorgung erfolgt in der Regel als Begleit-anion über die Kalidüngung bzw. über die Niederschläge.

Akuter Mangel an Spurennährstoffen tritt selten auf. Versorgungsprobleme sind vor allem auf Sand-, Moor- und kalkreichen Böden möglich. Allerdings kann bei den besonders bedürftigen Kulturarten (siehe Tabelle 57) und unter bestimmten Boden- und Witterungsbedingungen ein latenter Mangel auftreten, der auch ertragsbeeinflussend sein kann.

Die Spurenelementdüngung spielt im Grünland eine untergeordnete Rolle. Sie sollte nur bei Mangelercheinungen der Futterpflanzen in Erwägung gezogen werden. Spurenelemente werden in der Wiederkäuerfütterung per Mineralstoffmischung bedarfsgerecht, zielgerichtet und dadurch Ressourcen schonend eingesetzt. Dies gilt auch für Selen.

Die Düngung mit Spurennährstoffen muss unter Berücksichtigung der verfügbaren Gehalte im Boden oder von Pflanzenanalysen und dem spezifischen Bedarf der Ackerkulturen bemessen werden. Bei Vorliegen niedriger Gehalte wird für Kulturen mit hohem bis mittlerem Bedarf bei Betrieben ohne regelmäßige Wirtschaftsdüngerausbringung eine entsprechende Empfehlung routinemäßig erstellt.

Tabelle 57: Spurennährstoffbedarf wichtiger Ackerkulturen (modifiziert nach Kerschberger und Marks, 2000)

		Bor (B)	Kupfer (Cu)	Mangan (Mn)	Molybdän (Mo)	Zink (Zn)
Getreide	Weizen	0	++	++	0	0
	Roggen	0	+	+	0	0
	Gerste	0	++	+	0	0

		Bor (B)	Kupfer (Cu)	Mangan (Mn)	Molybdän (Mo)	Zink (Zn)
	Hafer	0	++	++	+	0
Hackfrüchte	Mais	0	0	+	+	++
	Rübe	++	+	++	+	+
	Kartoffel	+	0	+	0	+
Öl- und Eiweißpflanzen	Erbse, Wicke	0	0	++	+	0
	Ackerbohne	+	+	0	+	+
	Sojabohne	+	0	++	+	0
	Raps	++	0	+	+	0
	Sonnenblume	++	++	+	0	0
Sonderkulturen	Hanf	+	0	0	+	0
	Flachs, Öllein	+	+	0	0	++
	Mohn	++	0	0	0	0
	Senf	+	++	0	+	0
Futterpflanzen	Rotklee	+	+	+	++	+
	Luzerne	++	++	+	++	+
	Wiese, Weide	0	+	+	0	0

0 niedriger Bedarf

+

++ mittlerer Bedarf

++ hoher Bedarf

3.8.1 Bor (B)

Die Konzentration pflanzenverfügbarer Bor-Ionen in der Bodenlösung ist sehr gering. Mit ansteigendem pH-Wert (> 7) und Trockenheit nimmt die Bor-Festlegung (Sorption) im Boden zu. Eine pH-Wertsenkung durch physiologisch saure Dünger oder leicht abbaubare organische Substanz sowie eine Befeuchtung des Bodens fördern die Mobilisierung des festgelegten Bors.

Bei sehr niedrigem Borgehalt (Gehaltsklasse A) oder bei zu geringer Borverfügbarkeit (auf bindigen Böden mit pH-Werten über 7 sowie sehr leichten Böden oder nach einer Kalkung) sollen vor allem borbedürftige Kulturarten in der Fruchtfolge gezielt gedüngt werden. Borbedürftig sind vor allem Raps, Rüben, Leguminosen, Sonnenblumen, Karfiol, Kohl, Kohlrabi und Sellerie.

Niedrige Borgehalte sind über den gesamten pH-Wertbereich möglich, die Bor-Verfügbarkeit wird im alkalischen Bereich mit der Methode nach Baron (ÖNORM L1090) etwas überbewertet.

Bormangel

Bormangel kommt bei Getreide in der Praxis kaum vor. Mangelsymptome zeigen sich in einer Halmverkürzung, fehlenden Spitzenblättern und Blütensterilität, die zu Taubährigkeit führt.

Bei Zuckerrübe macht sich Bormangel durch Absterben des Vegetationspunktes und Korkfleckigkeit bzw. Herz- und Trockenfäule bemerkbar. Die Herzblätter verfärben sich braun und schwarz, später beginnt der Kopf zu faulen, sodass der Rübenkörper allmählich hohl wird.

Bei Mais zeigen die jüngeren Blätter weißliche, nekrotische Flecken entlang der Mittelrippe. Die jüngsten Blätter vertrocknen, verdrehen und rollen sich ein.

Raps zeigt bei Mangel gestauchtes Wachstum, verdickte Stängel und verkümmerte Blüten. Ältere Blätter verfärben sich rötlich bis rotviolett.

Auch bei Leguminosen zeigt sich Bormangel durch gedrungenen Wuchs und geringeren Ansatz von Knöllchenbakterien. Bei Luzerne kommt es zur Spitzenvergilbung der obersten Blätter, bei Kleearten vergilben die jüngeren Blätter und können rote Ränder ausbilden.

Bor-Düngung

Da der optimale Borgehalt des Bodens in einem relativ engen Bereich liegt und eine Überversorgung zu toxischen Reaktionen bei empfindlichen Pflanzen führen kann, ist eine Düngung mit Bor nur bei Unterversorgung und zu borbedürftigen Pflanzen empfehlenswert.

Borkonzentrationen, die für Raps und Rüben optimal sind, können bei Gerste toxisch wirken.

Tabelle 58: Empfohlene Bor - Bodendüngung (kg Bor/ha alle 35 Jahre) in Abhängigkeit vom Borgehalt des Bodens

Gehaltsklasse	Leichte Böden		Mittlere und schwere Böden	
	Mais, Raps	Rüben, Luzerne	Mais, Raps	Rüben, Luzerne
A niedrig	0,4–0,8	1,0–1,5	0,5–1,0	1,0–2,5
C mittel	0,5	0,5	0,5–1,0	0,5–1,0
E hoch	0	0	0	0

Für eine Blattdüngung wird eine Aufwandmenge von 0,4 kg B/ha empfohlen.

Optimale Zeitpunkte für eine B-Blattdüngung bei unterschiedlichen Kulturen:

- Rübe, Kartoffel: Schließen der Reihen
- Raps: Knospenstadium
- Luzerne, Klee: kurz vor der Blüte
- Mais: voll entwickeltes 4. Blatt
- Sonnenblume: Ausbildung des 6. - 8. Blattes
- Getreide: Schosser Stadium

3.8.2 Kupfer (Cu)

Das Schwermetall besitzt eine ausgeprägte Fähigkeit Metall-Chelat-Komplexe zu bilden. Komplexbildner sind organische Säuren (Zitronensäure, Bernsteinsäure) oder Abbauprodukte organischer Stoffe (Phenole, Fulvo- und Huminsäuren).

In Mineralböden wird Cu kaum verlagert. Kupfermangelstandorte sind sorptionsschwache, gut durchlüftete und auch humose Sandböden sowie frisch kultivierte Moore. Auf Acker- und Grünland sind hohe EDTA-lösliche Gehalte selten (ausgenommen bei Vornutzung als Weingarten), der überwiegende Anteil der Gehalte liegt zwischen 210 mg Cu/kg, eine niedrige Versorgung (< 2 mg/kg) kann über alle pH-Wertbereiche auftreten.

Kupfermangel

Getreide nimmt bereits während der Bestockung das meiste Cu auf.

Die Beweglichkeit von Kupfer innerhalb der Pflanze ist gering, deshalb treten Mangelerkrankungen in den jüngsten Blättern auf. Cu-Mangelsymptome sind Spitzenchlorose, Eindrehungen, Verkrümmungen und Welken der jüngsten Blätter; meist unterbleibt die Ähren- bzw. Rispenbildung (Weißspitzigkeit oder Heidemoor- oder Urbarmachungskrankheit). Hafer, Gerste und Weizen reagieren besonders empfindlich auf Kupfermangel (wenige, kleine Körner; Taubährigkeit).

Zwischen Kupfer, Mangan und Eisen besteht ein ausgeprägter Ionenantagonismus.

Kupferdüngung

Einen relativ hohen Kupferbedarf weisen Weizen, Gerste und Hafer, Sonnenblume und Luzerne auf. Bei Getreide soll eine Kupferdüngung bereits zur Bestockung erfolgen, da bei Mangelerkrankungen zum Ährenschieben eine Düngung wirkungslos bleibt. Auch soll eine Kupferdüngung mit einer Mangandüngung kombiniert werden, da Kupfer eine Verdrängungswirkung von Mangan zur Folge hat.

In viehhaltenden Betrieben ist eine ausreichende Kupferversorgung meist über die Wirtschaftsdünger gegeben.

Tabelle 59: Empfohlene Cu-Düngung (kg Cu/ha alle 3–5 Jahre) in Abhängigkeit vom Cu-Gehalt des Bodens.

Gehaltsklasse	Bodendüngung	Blattdüngung
A niedrig	5–10	0,5
C mittel	1–3	0,5
E hoch	0	0

3.8.3 Zink (Zn)

Schwere Böden sind reicher an Zink als Sande, wobei die Verfügbarkeit auf leichteren Böden höher ist. Mit steigendem pH-Wert sinkt die Löslichkeit von Zink, weshalb auf alkalischen und carbonatischen Böden sowie nach starker Kalkung bzw. Phosphatdüngung ein Mangel auftreten kann. Hohe Zn-Gehalte im EDTA-Extrakt (< 20 mg/kg) sind auf Acker- und Grünland selten, der überwiegende Anteil liegt zwischen 2–12 mg/kg. Niedrige Werte (< 2

mg/kg) treten zwar verstärkt bei alkalischer Bodenreaktion auf, sind aber im gesamten pH-Wertbereich möglich.

Zinkmangel

Zinkmangel tritt am ehesten bei Mais, Erbsen, Bohnen, Lein und Hopfen (Kräuselkrankheit) auf. Bei Zinkmangel kommt es zu einer verminderten Bildung von Auxinen, was einen gestauchten (Zwerg-) Wuchs und „Kleinblättrigkeit“ zur Folge hat. Der Chlorophyllgehalt der Blätter sinkt, wodurch Chlorosen entstehen, die bis zur Weißfärbung der Blätter führen können (besonders typisch bei Mais).

Mangelsymptome können aber leicht mit Mn- oder Fe- Mangel verwechselt werden.

Zinkdüngung

Eine Zinkdüngung erfolgt bevorzugt in Form einer Blattdüngung. In viehhaltenden Betrieben ist eine ausreichende Zinkversorgung meist über die Wirtschaftsdünger gegeben.

Tabelle 60: Empfohlene Zinkdüngung (kg Zn/ha alle 3–5 Jahre) in Abhängigkeit vom Zn-Gehalt des Bodens

Gehaltsklasse	Bodendüngung	Blattdüngung
A niedrig	7–10	0,3
C mittel	5–7	0,3
E hoch	0	0

3.8.4 Mangan (Mn)

Mit Ausnahme typischer Mangelstandorte (podsolige Sande und humose, lockere eventuell aufgekalkte Sande, leichte Böden mit pH-Werten > 6,5) ist meist die geringe Mobilität (bei Trockenheit) des Mangans Ursache für einen Mangel.

Mangan wird als Mn^{2+} -Ion oder als Mangan-Chelat von Wurzeln bzw. Blättern aufgenommen. Es besteht durch den ähnlichen Ionenradius ein Antagonismus zwischen Mn^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen sowie zwischen Mn^{2+} - und NH_4^+ - bzw. Fe^{2+} -Ionen.

Niedrige Mn-Gehalte im EDTA-Extrakt (< 20 mg/kg) sind im alkalischen Bereich häufig, ab einem pH-Wert < 7 liegen die Gehalte durchwegs sowohl im Acker- als auch Grünland im mittleren bzw. im hohen Bereich.

Manganmangel

Bei Getreide und Mais treten in der Blattmitte gelbliche Flecken und Streifen zwischen den Blattadern auf. Die Blattadern bleiben vorerst grün. Auch kommt es zum Abknicken des Halmes im unteren Drittel.

Bei höherem pH-Wert des Bodens und Trockenheit sind auch Getreidebestände von Mn-Mangel betroffen (bei Hafer: „Dörrfleckenkrankheit“).

Bei Kartoffeln und Rüben entstehen zwischen den Blattadern der jüngeren Pflanzen chlorotische Aufhellungen und in der Folge kommt es zu gelbbraun verfärbten Rüben bzw. braunen Verfärbungen der Kartoffel.

Mangandüngung

Manganmangel soll nach Möglichkeit mit einer Blattdüngung behoben werden. Auf Böden mit pH-Werten < 6,0 kann auch eine Bodendüngung erfolgen, deren Wirkung aber unsicher ist.

Tabelle 61: Empfohlene Mangandüngung (kg Mn/ha alle 3–5 Jahre) in Abhängigkeit vom Mn-Gehalt des Bodens

Gehaltsklasse	Bodendüngung	Blattdüngung
A niedrig	bis 20	3,0
C mittel	bis 10	1,5
E hoch	0	0

Bei der Blattdüngung haben sich folgende Entwicklungsstadien als optimal erwiesen:

- Getreide: Schosser Stadium
- Mais: volle Entwicklung des 4. Blattes

- Rübe und Kartoffel: Schließen der Reihen
- Luzerne, Rotklee: Kurz vor der Blüte
- Sonnenblume: 6–8 Blattstadium

3.8.5 Eisen (Fe)

Eisen wird von der Pflanzenwurzel als Fe^{2+} -Ion oder als Eisenchelat aufgenommen. Bei hohen pH-Werten kann es zu Mangelercheinungen infolge Ionenkonkurrenz zwischen Fe^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen kommen. Da die Pflanze selbst Chelatbildner ausscheidet, konkurrieren auch Cu^{2+} -, Mn^{2+} - und Zn^{2+} -Ionen mit der Eisenaufnahme. Niedrige Fe-Gehalte (im EDTA-Extrakt $< 20 \text{ mg/kg}$) treten fast nur im alkalischen Bereich auf, bei einem $\text{pH} < 7$ liegen die Gehalte durchwegs in der mittleren bis hohen Gehaltsklasse.

Eisenmangel

Die meisten Kulturpflanzen können ihren Eisenbedarf ohne zusätzliche Düngung decken. Absoluter Eisen-Mangel kommt mit Ausnahme von organischen Böden selten vor. Auf alkalischen, carbonathaltigen (pH-Wert über 7), gut durchlüfteten und trockenen Böden mit hohem P-Angebot kann bei Mais und Soja, insbesondere aber bei Beerenobst und Reben Eisenmangel auftreten (Interkostalchlorose). Eisenchlorose kann auch in nassen Jahren unter staunassen Bedingungen auftreten.

Eisendüngung

Eine vorbeugende Anwendung von Eisensalzen ist aufgrund der Festlegung insbesondere in Böden mit höherem pH-Wert nicht sinnvoll. Eine Düngung ist in erster Linie beim Auftreten von Mangelsymptomen angezeigt. Auf kalkfreien, sauren Böden können Eisensalze wie Eisensulfat verwendet werden, auf kalkhaltigen Böden mit höherem pH-Wert haben sich Chelatdünger bewährt. In akuten Fällen können auch Blattspritzungen mit Eisensulfat oder Eisenchelaten in 1–2 % iger Lösung (Getreide: 0,5–1,5 kg/ha) angewandt werden. Darüber hinaus kann durch Anbau geeigneter Sorten und durch Verbesserung der Bodenstruktur die Fe-Verfügbarkeit verbessert werden.

3.8.6 Molybdän (Mo)

Meist liegt genügend Molybdän in pflanzenverfügbarer Form im Boden vor. Anders als die übrigen Spurennährstoffe ist Molybdän im alkalischen Bereich besser verfügbar als im sauren. Mangel tritt daher bevorzugt auf sauren Böden mit hohem Gehalt an Eisenoxiden auf.

Molybdän wird in Form von MoO_4^{2-} -Ionen aufgenommen, die mit SO_4^{2-} -Ionen konkurrieren. Mo ist die Metallkomponente wichtiger Enzyme. Als Bestandteil der Nitrogenase ist es für die Stickstofffixierung durch die Knöllchenbakterien der Leguminosen von wesentlicher Bedeutung. Als Bauteil der Nitratreduktase ermöglicht Mo den Pflanzen die Umwandlung des aufgenommenen Nitrats zu Ammonium und den Einbau in Aminosäuren, den Bausteinen des Eiweißes.

Molybdänmangel

Molybdänmangel tritt sehr selten auf. Insbesondere bei Düngung mit Stickstoff kommt es zu NO_3 -Anreicherungen und Mangel an Aminosäuren, während gleichzeitig Kohlenhydrate angehäuft werden. Ähnlich dem Stickstoffmangel zeigt sich Mo-Mangel durch vermindernden Wuchs und Chlorose Bildung zuerst an den älteren Blättern. In der Folge sterben die Blattränder ab (besonders bei Raps).

Bei zweikeimblättrigen Pflanzen kommt es bei akutem Mangel zu reduzierten Blattspreiten und teilweise zu Blattrandaufwölbungen. Die Blattmittelrippe wächst allein weiter, was zum so genannten Peitschenstielsymptom führt (vor allem bei Kohlgewächsen).

Bei Leguminosen hellen sich ältere Blätter auf, da die N_2 -Fixierung durch die Knöllchenbakterien gehemmt wird. In Luzerne und Rotkleebeständen tritt Mo-Mangel oft nur stellenweise auf, was dem Bestand ein „scheckiges“ Aussehen verleiht.

Molybdändüngung

Durch Kalkung kann ein Mo-Mangel im Allgemeinen beseitigt werden. Der jährliche Entzug beträgt lediglich 5–12 g Mo/ha. Eine Düngung mit Molybdän ist im Ackerbau daher nur selten nötig.

Ein nachgewiesener Mangel kann mit 1 kg Mo/ha über eine Bodendüngung bei einem pH-Wert von mindestens 5,5 oder durch eine Blattdüngung mit 0,3 kg Mo/ha behoben werden.

Bei Futterpflanzen kann Mo-Überschuss toxisch wirken (Molybdänosegefahr bei Wiederkäuern)!

3.9 Mögliche Auswirkungen der Düngung auf Luft, Wasser und Klima

Düngung ist notwendig, um die Stoffkreisläufe aufrecht zu erhalten. Bei Anwendung der vorliegenden Richtlinien werden jene Stoffe, die den Böden entnommen werden, mittels Düngung auf die Flächen zurückgeführt. Damit wird der Entzug durch die Ernte ausgeglichen und die Pflanzen werden bedarfsgerecht mit Nährstoffen versorgt.

Beim Einsatz von Düngemitteln müssen allerdings auch Umweltwirkungen im Zusammenhang mit den Themen Luft- und Wasserqualität sowie Klimaschutz betrachtet werden. Ziel eines nachhaltigen Düngemiteleinsatzes soll es sein, negative Auswirkungen auf das Klima, die Luft und das Wasser möglichst zu vermeiden oder so gering wie möglich zu halten. Im Folgenden wird auf diese drei Umweltaspekte kurz eingegangen:

Düngung und Treibhausgase

Die Treibhausgase Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) können durch natürliche Ab- und Umbau-Prozesse aus dem Bereich der Landwirtschaft in die Atmosphäre gelangen. Das Treibhausgas Lachgas kann im Boden (Sauerstoffmangel) bei reduktiven Bedingungen durch Abbauprozesse stickstoffhaltiger Substanzen und im Zuge der Lagerung und Ausbringung von Gülle freigesetzt werden.

Sauerstoffmangel im Boden kann durch Verdichtungen oder stauende Nässe verursacht werden. Im Rahmen der Düngung kann die Emission von Lachgas begrenzt werden, indem versucht wird, den Verlust an Nährstoffen so gering wie möglich zu halten (bedarfsgerechte Düngemenge, Verwendung effizienter Dünger, optimale Bodenbedingungen usw.).

Der diesbezüglich vom Umweltbundesamt jährlich erstellte Bericht über die Entwicklung der Treibhausgase in Österreich ist unter www.umweltbundesamt.at/emiberichte verfügbar.

Düngung und Luftqualität

Ammoniak (NH_3) entsteht hauptsächlich beim Abbau von organischem und mineralischem Dünger, insbesondere vom Anfall, über die Lagerung bis zur Ausbringung von Gülle/Jauche. NH_3 ist insbesondere an der Bildung von Feinstaub beteiligt und kann in natürlichen Ökosystemen versauernd oder eutrophierend wirken. Die Handlungsmöglichkeiten zur Vermeidung von Ammoniakverlusten aus dem Düngesystem in die Atmosphäre sind im „Ratgeber für die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft zur Begrenzung von Ammoniakemissionen“ (info.bml.gv.at/dam/jcr:eae9fd6e-0737-46c7-88b7-3399e5e65497/NEC-Ratgeber_13072018.pdf) angeführt. So bietet neben der Beachtung der Witterungsbedingungen insbesondere eine bodennahe, streifenförmige Gülleausbringtechnik Vorteile bei der Vermeidung von Ammoniakverlusten. Der entsprechende vom Umweltbundesamt jährlich erstellte Bericht kann unter www.umweltbundesamt.at/emiberichte%20 heruntergeladen werden.

Düngung und Wasserqualität

Nitrat (NO_3) wird einerseits im Boden durch Mineralisierung organischer Substanzen gebildet, andererseits kann es dem Boden auch unmittelbar als Stickstoffdünger zugeführt werden. Nitrat kann im Boden kaum gespeichert werden. Das nicht von Pflanzen aufgenommene Nitrat kann daher ausgewaschen werden und ins Grundwasser gelangen. Wesentliche Grundlage für Regelungen und Vorschriften im Bereich der Stickstoffdüngung ist die EU-Nitratrichtlinie aus dem Jahr 1991. In Österreich wird diese Richtlinie mit der Nitrat-Aktionsprogramm-Verordnung umgesetzt, die die Bedingungen und Verfahren sowie zahlreiche Einschränkungen für die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln festschreibt.

Gemäß den Vorgaben der EU-Nitratrichtlinie ist alle 4 Jahre ein Bericht über die gesetzten Maßnahmen und deren Wirksamkeit zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen zu legen.

Dieser Bericht ist auf der Webseite des BML unter info.bml.gv.at/themen/wasser/wasser-eu-international/europaeische-und-internationale-wasserwirtschaft/berichte/nitratbericht2024.html verfügbar.

Darüber hinaus werden auch im Rahmen des Österreichischen Umweltprogrammes (ÖPUL) freiwillige Förderungsmaßnahmen angeboten, die sich dem Gewässerschutz widmen.

4 Bewertung und Wirksamkeit von Wirtschaftsdüngern, Komposten, Fermentations- und Ernterückständen

Wirtschaftsdünger sind wertvolle Mehrnährstoffdünger und in viehhaltenden Betrieben ein unverzichtbares Element der Kreislaufwirtschaft. Durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und den Verbleib von Ernterückständen auf dem Feld kommt es zu einer Rückführung von Nährstoffen in den Boden. Diese Nährstoffe sind bei der Düngeplanung entsprechend zu berücksichtigen.

4.1 Arten von Wirtschaftsdüngern

Folgende Wirtschaftsdüngerarten können unterschieden werden:

Festmist - ein Gemisch aus Kot und Harn mit Einstreu und Futterresten. Dazu kommt ein Teil des anfallenden Harns, der von der Einstreu aufgesaugt und gebunden wird.

Tiefstallmist - in Laufställen anfallendes Gemisch aus tierischen Ausscheidungen und hohen Einstreumengen. Im Gegensatz zum „klassischen“ Festmist-Jauche System ist der anfallende Harn zur Gänze im Tiefstallmist gebunden. Dazu zählen auch Legehühnertrockenkot sowie alle anderen Geflügelmiste.

Gülle - ein Gemisch aus Kot und Harn, das außerdem Wasser sowie Futterreste, und Einstreuteile enthalten kann. Dazu zählt auch Legehühnerfrischkot.

Jauche - besteht vorwiegend aus Harn, kann aber auch Sickersaft von Festmiststapeln und geringe Mengen an Kot und Einstreu enthalten.

Gülle und Jauche werden auch als Flüssigmist bezeichnet, womit die Abgrenzung zum Festmist deutlich wird. Eine Sonderform stellt die sogenannte Mistverflüssigung dar, bei der die getrennt anfallende Jauche und der Stallmist meist unmittelbar vor der Ausbringung vermischt und mittels Flüssigmisttechnik ausgebracht werden.

Aus Festmisten entsteht im Verlauf der Lagerung Rottemist oder durch eine gezielte Umsetzung auch Kompost.

In Tabelle 62 sind die durchschnittlichen Raumgewichte unterschiedlicher Wirtschaftsdünger und von Komposten angeführt. Je nach Einstreumenge können vor allem die Raumgewichte von Festmisten in der Praxis sehr stark variieren.

Tabelle 62: Durchschnittliche Raumgewichte von Wirtschaftsdüngern und Komposten

	t/m ³	m ³ /t
Flüssige Wirtschaftsdünger	1	1
Pferdemist	0,5	2
Rindermist	0,83	1,2
Schweinemist	0,91	1,1
Hähnchen- und Putenmist	0,5	2
Hühnertrockenkot (mit 50 % TS)	0,5	2
Schaf- und Ziegenmist	0,7	1,4
Stallmistkompost	0,8	1,2
Kompost aus getrennter Sammlung, Grünschnittkompost	0,7	1,4

4.2 Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern

Die Vorgaben der EU Nitratrictlinie werden in Österreich durch die Nitrataktionsprogrammverordnung umgesetzt. Gemäß diesen Vorgaben darf die jährlich ausgebrachte Menge an Wirtschaftsdüngern nicht mehr als 170 kg Stickstoff pro ha landwirtschaftlich genutzter Fläche betragen. Dieser Begrenzungswert bezieht sich auf den Brutto-Stickstoffanfall abzüglich unvermeidbarer gasförmiger Verluste im Stall und während der Lagerung ($N_{ab\text{ Lager}} = N_{aL}$). Die für Lager und Stall kalkulierten N-Verluste der einzelnen Wirtschaftsdüngerarten sind in Tabelle 63 zusammengefasst.

Tabelle 63: Kalkulatorische N-Verluste im Stall, am Lager und bei der Ausbringung (in %)

Stall- und Lagerverluste nach Tierart	Entmistungssystem		
	Gülle	Mist/Jauche	Tiefstallmist
Rinder	15	30	30
Schweine	30	35	35
Geflügel	30		40
Pferde			30
Puten			45
Schafe, Ziegen			45
Ausbringungsverluste	Mist/Kompost		Gülle/Jauche
	9		13

Die Werte für den Stickstoffanfall nach Abzug der Stall- und Lagerverluste entsprechen einer durchgängigen ganzjährigen Belegung (Rinder, Zuchtsauen und Ferkel, Pferde, Schafe, Ziegen) bzw. einer durchschnittlichen österreichischen Produktionsintensität (Mastschweine, Küken und Junghennen für Legezwecke bis ½ Jahr, Mastküken und Jungmasthühner sowie Voraufzuchtputen, Truthühner [Puten]).

Im Einzelfall kann der tatsächliche Nährstoffanfall je nach Produktionsintensität abweichen. Die korrekte Berechnung des Nährstoffanfalls erfolgt folgendermaßen: der tatsächliche Tierbestand wird unter Einbeziehung der tatsächlichen Belegdauer in einem ersten Schritt in einen fiktiven Durchschnittstierbestand (ohne Leerstezeiten) umgerechnet. Daraus wird der „nährstoffbestimmende“ Tierbestand berechnet, der den angenommenen Verhältnissen entspricht. Eine Handlungsanleitung dazu findet sich im Anhang 6.

In der Schweine- und Geflügelhaltung kann ergänzend auch die analytische Bestimmung des Gesamtstickstoffgehalts des angefallenen Wirtschaftsdüngers über ein im Bereich Boden, Abfall oder Klärschlamm tätiges Labor sinnvoll sein. Auf Grundlage der Aufzeichnungen über das Volumen (bei Gülle) bzw. das Gewicht (bei Festmist) des Wirtschaftsdüngers und der Messung des Gesamtstickstoffgehalts einer repräsentativen Sammelprobe des Wirtschaftsdüngers kann so die gesamte ausgeschiedene Stickstoffmenge verbessert abge-

schätzt werden. Die Probenahme für die Untersuchung des Gesamtstickstoffgehalts soll dabei unmittelbar vor Zeiten des größten Güllebedarfs aus dem Lager durchgeführt werden, um Ammoniakfreisetzungen durch zusätzliches Aufrühren der Gülle jedenfalls zu verhindern. Die Analysedaten sind nur für die Düngeplanung und nicht für die Ermittlung der 170 kg - Grenze gem. WRG ausschlaggebend.

Die jährlich anfallenden Stickstoffmengen nach Abzug der Stall- und Lagerverluste (N_{aL}) sind für unterschiedlichste Tierarten bzw. Leistungsklassen in Tabelle 64 zusammengefasst.

Tabelle 64: Jährlicher Stickstoffanfall aus der Tierhaltung je Stallplatz nach Abzug der Stall- und Lagerverluste in kg (N_{aL})

Tierart	Gülle	System Mist - Jauche		
		Mist	Jauche	Tiefstallmist
Rinder				
Jungrinder				
Kälber und Jungrinder unter 1/2 Jahr	12,7	5,2	5,2	10,4
Jungvieh 1/2 bis 1 Jahr	34,4	14,2	14,2	28,4
Jungvieh 1 bis 2 Jahr	45,6	18,8	18,7	37,5
Rinder ab 2 Jahre				
Ochsen, Stiere	54,7	22,6	22,5	45,1
Kalbinnen	58,9	24,3	24,2	48,5
Milchkühe ohne Nachzucht				
Milchkühe (5.000 kg Milch)	74,4	40,9	20,4	61,3
Milchkühe (6.000 kg Milch)	82,8	45,1	22,5	67,6
Milchkühe (7.000 kg Milch)	89,7	49,3	24,6	73,9
Milchkühe (8.000 kg Milch)	97,3	53,5	26,7	80,2
Milchkühe (9.000 kg Milch)	105	57,7	28,8	86,5
Milchkühe (> 10.000 kg Milch)	112,6	61,9	30,9	92,8
Mutter- und Ammenkühe ohne Nachzucht				
3.000 kg Milch	59,1	32,5	16,2	48,7

Tierart	System Mist - Jauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tiefstallmist
4.000 kg Milch	66,7	36,6	18,4	55
Schweine				
Ferkel				
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG) Standardfütterung	2,5	1,6	0,8	2,3
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG), N-reduzierte Fütterung	2,4	1,5	0,7	2,2
Mastschweine und Jungsauen auf der Basis von 2,5 Zyklen pro Jahr				
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung	7,5	4,6	2,3	7
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, N-reduzierte Fütterung	6,9	4,2	2,1	6,4
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, stark N-reduzierte Fütterung	6,7	4,1	2,1	6,2
Zuchtschweine (ab Belegung) inkl. Ferkel bis 8 kg				
Zuchtschweine - Standardfütterung	14,4	8,9	4,5	13,4
Zuchtschweine - N-reduzierte Fütterung	12,8	7,9	4	11,9
Eber				
Zuchteber - Standardfütterung	17,7	11	5,5	16,4
Zuchteber - N-reduzierte Fütterung	16,7	10,4	5,2	15,5
Geflügel				
Küken u. Junghennen für Legezwecke bis 1/2 Jahr	0,13			0,11
Legehennen, Hähne	0,51			0,43
Mastküken und Jungmasthühner, Voraufzuchtputen				0,17
Zwerghühner, Wachteln; ausgewachsen				0,1
Junghennenaufzucht, Bruderhahn				0,053
Gänse				0,29
Enten				0,29
Truthühner (Puten)				0,65

Tierart	System Mist - Jauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tiefstallmist
Strauße				
Straußenküken bis 0,5 Jahre	1,2			1,1
Jungstrauße 0,5 – 1,5 Jahre	3,2			2,7
Zuchtstraußenhenne	4,1			3,5
Zuchtstraußenhahn	4,9			4,2
Pferde				
Kleinpferde inkl. Ponys, Esel, Maultiere, ... Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht < 300 kg				
1/2 bis 3 Jahre				8,9
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				10,5
Kleinpferde über 300 kg - Haflinger, Reitponys, etc. Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht > 300 kg				
1/2 bis 3 Jahre				17,4
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				20,5
Pferde Widerristhöhe > 1,48 m, Endgewicht > 500 kg				
1/2 bis 3 Jahre				31,2
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				36,8
Schafe				
Lämmer bis 1/2 Jahr				5,4
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre				7,3
Mutterschafe				7,7
Ziegen				
bis 1/2 Jahr				5
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre				6,6
Mutterziegen				7,2
Rotwild				
Rotwild Alttier inkl. Nachzucht bis 14 Monate				20,9
Rotwild Hirsche				17

Tierart	System Mist - Jauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tiefstallmist
Damwild				
Damwild Alttiere inkl. Nachzucht bis 14 Monate				10,1
Damwild Hirsche				7,1
Neuweltkamele				
Neuweltkamele männlich ab 1 Jahr				7,1
Neuweltkamele weiblich ab 1 Jahr				8,9
Neuweltkamele bis 1 Jahr				4,4
Straußen				
Straußenküken bis 1/2 Jahr	1,2			1,1
Jungstraußen 0,5 - 1,5 Jahre	3,2			2,7
Zuchtstraußenhenne	4,1			3,5
Zuchtstraußenhahn	4,9			4,2
Kaninchen				
Mastkaninchen	0,7			0,6
Zuchtkaninchen	1,6			1,3

Zur Überprüfung der im Wasserrechtsgesetz (WRG) festgelegten bewilligungsfreien Obergrenzen (175/210 kg N) werden ausgehend vom Brutto-Stickstoffanfall neben den Stall- und Lagerungsverlusten zusätzlich auch die Verluste bei der Ausbringung der Wirtschaftsdünger berücksichtigt ($N_{\text{feldfallend}} = N_{\text{ff}}$). Diese Ausbringungsverluste werden bei

- Gülle und Jauche mit 13 % und
- bei Stallmist und Kompost mit 9 %

des Stickstoffanfalls ab Lager angesetzt. Mineralische Stickstoffdünger werden brutto für netto, also ohne jegliche Abzüge für etwaige Verluste in der Düngeplanung berücksichtigt.

Der Stickstoffgehalt der Wirtschaftsdünger kann auf Basis der Tabelle 64 (Ermittlung des N-Anfalles aus der Tierhaltung durch die betriebsspezifischen Anfallsmengen) auch selbst berechnet werden. Dies ist vor allem bei verdünnt anfallenden Wirtschaftsdüngern von Bedeutung.

Eine Möglichkeit der betriebsspezifischen Ermittlung des N-Gehalts stellt die Berechnung des N-Anfalls aus Tabelle 64, geteilt durch die anfallende Wirtschaftsdüngermenge, dar.

Tabelle 65 gibt einen Überblick über die jährlich anfallenden Stickstoffmengen nach Abzug der Stall-, Lager- und Ausbringungsverluste (N_{ff}).

Tabelle 65: Jährlicher Stickstoffanfall aus der Tierhaltung je Stallplatz nach Abzug der Stall-, Lager- und Ausbringungsverluste in kg feldfallender Stickstoff (N_{ff})

Tierart	System Mist - Jauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tierstallmist
Rinder				
Jungrinder				
Kälber und Jungrinder unter 1/2 Jahr	11,0	4,7	4,5	9,5
Jungvieh 1/2 bis 1 Jahr	29,9	12,9	12,4	25,8
Jungvieh 1 bis 2 Jahr	39,7	17,1	16,3	34,1
Rinder ab 2 Jahre				
Ochsen, Stiere	47,6	20,6	19,6	41,0
Kalbinnen	51,2	22,1	21,1	44,1
Milchkühe ohne Nachzucht				
Milchkühe (5.000 kg Milch)	64,7	37,2	17,7	55,8
Milchkühe (6.000 kg Milch)	72,0	41,0	19,6	61,5
Milchkühe (7.000 kg Milch)	78,0	44,8	21,4	67,2
Milchkühe (8.000 kg Milch)	84,7	48,7	23,2	73,0
Milchkühe (9.000 kg Milch)	91,4	52,5	25,1	78,7
Milchkühe (> 10.000 kg Milch)	98,0	56,3	26,9	84,4
Mutter- und Ammenkühe ohne Nachzucht				
3.000 kg Milch	51,4	29,6	14,1	44,3
4.000 kg Milch	58,0	33,3	16,0	50,1
Schweine				

Tierart	System Mist - Jauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tierstallmist
Ferkel				
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG) Standardfütterung	2,2	1,5	0,7	2,1
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG), N-reduzierte Fütterung	2,1	1,4	0,6	2,0
Mastschweine und Jungsauen auf der Basis von 2,5 Zyklen pro Jahr				
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung	6,5	4,2	2,0	6,4
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, N-reduzierte Fütterung	6,0	3,8	1,8	5,8
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, stark N-reduzierte Fütterung	5,8	3,7	1,8	5,6
Zuchtschweine (ab Belegung) inkl. Ferkel bis 8 kg				
Zuchtschweine - Standardfütterung	12,5	8,1	3,9	12,2
Zuchtschweine - N-reduzierte Fütterung	11,1	7,2	3,5	10,8
Eber				
Zuchteber - Standardfütterung	15,4	10	4,8	14,9
Zuchteber - N-reduzierte Fütterung	14,5	9,5	4,5	14,1
Geflügel				
Küken u. Junghennen für Lege Zwecke bis 1/2 Jahr	0,11			0,1
Legehennen, Hähne	0,44			0,39
Mastküken und Jungmasthühner,				
Voraufzuchtputen				0,15
Zwerghühner, Wachteln; ausgewachsen				0,09
Junghennenaufzucht, Bruderhahn				0,048
Gänse				0,26
Enten				0,26
Truthühner (Puten)				0,59

Tierart	System Mist - Jauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tierstallmist
Pferde				
Kleinpferde inkl. Ponys, Esel, Maultiere, ... Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht < 300 kg				
1/2 bis 3 Jahre				8,1
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				9,6
Kleinpferde über 300 kg - Haflinger, Reitponys, ... Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht > 300 kg				
1/2 bis 3 Jahre				15,8
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				18,7
Pferde Widerristhöhe > 1,48 m, Endgewicht > 500 kg				
1/2 bis 3 Jahre				28,4
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				33,5
Schafe				
Lämmer bis 1/2 Jahr				4,9
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre				6,6
Mutterschafe				7,0
Ziegen				
bis 1/2 Jahr				4,6
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre				6,0
Mutterziegen				6,6
Rotwild				
Rotwild Alttier inkl. Nachzucht bis 14 Monate				19,0
Rotwild Hirsche				15,5
Damwild				
Damwild Alttiere inkl. Nachzucht bis 14 Monate				9,2
Damwild Hirsche				6,5
Neuweltkamele				

Tierart	System Mist - Jauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tierstallmist
Neuweltkamele männlich ab 1 Jahr				6,5
Neuweltkamele weiblich ab 1 Jahr				8,1
Neuweltkamele bis 1 Jahr				4,0
Straußen				
Straußenküken bis 1/2 Jahr	1,0			1,0
Jungstraußen 0,5 - 1,5 Jahre	2,8			2,5
Zuchtstraußenhenne	3,6			3,2
Zuchtstraußenhahn	4,3			3,8
Kaninchen				
Mastkaninchen	0,6			0,5
Zuchtkaninchen	1,4			1,2

4.3 Wirksamkeit des Stickstoffs aus Wirtschaftsdüngern

Der nach Abzug unvermeidbarer Stall-, Lager- und Ausbringungsverluste verbleibende Stickstoff im Wirtschaftsdünger (N_{ff}) erreicht im Jahr der Anwendung je nach Kulturart und Mineralisierungsbedingungen eine unterschiedlich hohe Wirksamkeit. Diese Jahreswirksamkeit setzt sich aus der Direktwirkung zum Zeitpunkt der Ausbringung und der daran anschließenden, geschätzten Stickstoffmineralisation zusammen.

Die unmittelbare Wirksamkeit des in Wirtschaftsdüngern enthaltenen Stickstoffs ist wesentlich vom Verhältnis zwischen mineralisch und organisch gebundenen Anteilen abhängig. Tabelle 66 gibt einen Überblick über die relativen Anteile von Ammoniumstickstoff und organisch gebundenem Stickstoff in Wirtschaftsdüngern.

Tabelle 66: Relativer Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ und organisch gebundenem N in unterschiedlichen Wirtschaftsdüngern

	% $\text{NH}_4\text{-N}$	% organisch gebundener N
Stallmist	15	85
Rottemist	5	95
Stallmistkompost	< 1	> 99
Rinderjauche	90	10
Rindergülle	50	50
Schweinegülle	65	35
Legehühnergülle (verdünnter Kot)	70	30
Legehühnerkot (frisch)	30	70
Legehühnertrockenkot, Jungkükenfrischkot, Putenmist	15	85

Für die Berechnung des jahreswirksamen Stickstoffs ($\text{N}_{\text{jahreswirksam}} = \text{N}_{\text{jw}}$) werden die Werte aus der Tabelle 65 mit den in Tabelle 67 angeführten Wirksamkeitsfaktoren multipliziert.

Tabelle 67: Jahreswirksamkeit des Wirtschaftsdüngerstickstoffs in % bezogen auf die feldfallenden Stickstoffmengen für Acker- und Grünland

	Stallmist	Rottemist	Stallmistkompost	Jauche	Gülle		
					Rind	Schwein	Huhn
% Wirksamkeit	50	30	10*	100	70	80	85
Faktor	0,5	0,3	0,1	1	0,7	0,8	0,85

*Bei langjähriger, regelmäßiger Kompostanwendung erhöht sich die Jahreswirksamkeit bei Getreide auf 20 % (Faktor 0,2), bei Hackfrüchten auf 40 % (Faktor 0,4).

Neben der Jahreswirksamkeit kann beim regelmäßigen Einsatz von Wirtschaftsdüngern im Sinne einer Kreislaufwirtschaft je Anwendungsjahr mit einer Nachwirkung von 3 bis 5 % gerechnet werden. Im Dauergrünland kann daher die Gesamtwirksamkeit (Jahreswirksamkeit und die Summe der Nachwirkungen der vorangegangenen Düngeperioden) bezogen auf den feldfallenden Stickstoff bei langjährigem, regelmäßigen Einsatz von Wirtschaftsdüngern und günstigen Mineralisierungsverhältnissen sogar 100 % erreichen. Im Folgenden ist

ein Beispiel für die Berechnung der jahreswirksamen Stickstoffanfälle (N_{JW}) bei Wirtschaftsdüngern angeführt.

Tabelle 68: Beispiel für die Berechnung des jahreswirksamen Stickstoffanfalls (N_{JW}):
Milchkuh (Milchleistung: 6.000 kg pro Jahr; Gülle)

	kg N		maßgebend für:
N-Anfall nach Abzug der Stall- und Lagerverluste (=15 %; N ab Lager = N_{al})	Wert aus Tabelle 64	N-Anfall (brutto) x 0,85 = 82,8	170 kg N/ha Grenze für Wirtschaftsdünger (EU-Nitratrichtlinie)
N-Anfall nach Abzug der Ausbringungsverluste (=13 %: N feldfallend = N_{ff})	Wert aus Tabelle 65	82,8 x 0,87 = 72,0	Bewilligungsgrenze gemäß WRG
Jahreswirksamer N-Anfall im Jahr der Anwendung (N jahreswirksam = N_{JW})	Wert aus Tabelle 67	72,0 x 0,70 = 50,4	Umsetzung der Düngeempfehlung (SGD)

Neben Wirtschaftsdüngern werden in der Landwirtschaft auch andere organische Materialien eingesetzt, die insbesondere hinsichtlich der Wirksamkeit des organisch gebundenen Stickstoffs mit bestimmten Wirtschaftsdüngern vergleichbar sind. Tabelle 69 gibt einen Überblick über die Zuordnungsmöglichkeiten dieser zusätzlichen organischen Stickstoffquellen.

Tabelle 69: Beurteilung der Wirksamkeit von organisch gebundenem Stickstoff unterschiedlicher Stickstoffquellen

Organische Stickstoffquelle	Wirksamkeit
Kompost aus biogenen Abfällen, inkl. Klärschlammkompost	Stallmistkompost
Klärschlamm flüssig (unter 15 % TM)	Rindergülle
Klärschlamm flüssig, aerob stabilisiert	Stallmist
Klärschlamm abgepresst, krümelig (über 15 % TM)	Stallmist
Kartoffelrestfruchtwasser	Stallmist
Senkgrubengrauwasser	Jauche
Presspülpe, Schlempe, Vinasse, Molke, Rübenschwänze	Stallmist

Organische Stickstoffquelle	Wirksamkeit
Carbokalk	Stallmist
Biogasgülle, überwiegend aus Rindergülle, Rinderstallmist sowie ergänzend aus nachwachsenden Rohstoffen (Silagen, ...)	Rindergülle
Biogasgülle/Gärrückstände, überwiegend aus Schweinegülle oder sonstigen organischen Produkten	Schweinegülle
Organische Handelsdünger: TM-Gehalt unter 15 %	Rindergülle
TM-Gehalt über 15 %	Stallmist

Beispiele organischer Handelsdünger: Pilzmycel, Hornmehl, Pressrückstände von Ölsaaten

Die in Tabelle 69 angegebenen Zuordnungen sind aus Mittelwerten abgeleitet. Liegt für organische Stickstoffquellen ein Analyseergebnis vor, ist die Wirksamkeit gemäß Tabelle 66 einer Wirtschaftsdüngerart zuzuordnen. Dabei ist bezüglich Zuordnung vom arithmetischen Mittel des Ammonium-Anteils zwischen den Wirtschaftsdüngerarten auszugehen.

Beispiel: Analyseergebnis Biogasgülle NH_4 -Anteil = 59 % vom N_{ges} (Kjeldhal), arithmetisches Mittel von Rindergülle < 50 % NH_4 und Schweinegülle < 65 % NH_4 > = 57,5 % NH_4 , daher ist diese Biogasgülle in der Wirksamkeit wie Schweinegülle einzustufen.

Erst dann, wenn kein Analysenergebnis einer organischen Stickstoffquelle vorliegt bzw. kein Ammoniumgehalt ausgewiesen ist, sollte die Wirksamkeitszuordnung gemäß Tabelle 69 erfolgen.

Zur Berechnung der erforderlichen Düngemenge oder zur Ermittlung des feldfallenden Stickstoffgehalts für eine vorgegebene Menge an wirtschaftsdüngerähnlichen Produkten sind diese in einem ersten Schritt gemäß Tabelle 69 einem Wirtschaftsdünger zuzuordnen. In der Folge gelten für weitere Berechnungen des N_{ff} und des N_{JW} jene Faktoren, die für den jeweiligen Wirtschaftsdünger heranzuziehen sind (siehe Tabelle 65 und Tabelle 67).

4.4 Gehalte an Phosphor und Kalium von Wirtschaftsdüngern

In Tabelle 70 sind die Gehalte an P_2O_5 und K_2O in Wirtschaftsdüngern zusammengefasst.

Tabelle 70: Anfallsmengen an P₂O₅ und K₂O aus der Tierhaltung (in kg je Stallplatz und Jahr)

Tierart	P ₂ O ₅	K ₂ O
Rinder		
Jungrinder		
Kälber und Jungrinder unter 1/2 Jahr	7,1	10,9
Jungvieh 1/2 bis 1 Jahr	13,5	43,1
Jungvieh 1 bis 2 Jahr	19,6	74,8
Rinder ab 2 Jahre		
Ochsen, Stiere	24,8	84,9
Kalbinnen	25,5	104,2
Milchkühe ohne Nachzucht		
Milchkühe (5.000 kg Milch)	28,2	148,9
Milchkühe (6.000 kg Milch)	32,8	163,8
Milchkühe (7.000 kg Milch)	37,4	178,7
Milchkühe (8.000 kg Milch)	41,9	193,6
Milchkühe (9.000 kg Milch)	46,5	208,5
Milchkühe (> 10.000 kg Milch)	51,1	223,4
Mutter- und Ammenkühe ohne Nachzucht		
Mutterkühe	19	119,1
Ammenkühe	23,6	134
Schweine		
Ferkel		
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG), P-Standardfütterung	2	2,1
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG), P-reduzierte Fütterung	1,4	2,1
Mastschweine und Jungsauen auf der Basis von 2,5 Zyklen pro Jahr		
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, P-Standardfütterung	4,4	5

Tierart	P ₂ O ₅	K ₂ O
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, P-reduzierte Fütterung	3,6	5
Zuchtschweine (ab Belegung) inkl. Ferkel bis 8 kg		
Zuchtschweine - P-Standardfütterung	10,6	6,8
Zuchtschweine - P-reduzierte Fütterung	9	6,8
Eber		
Zuchteber - P-Standardfütterung	12,3	6,8
Zuchteber - P-reduzierte Fütterung	10,7	6,8
Geflügel		
Küken u. Junghennen für Legezwecke bis 1/2 Jahr - P-Standardfütterung	0,17	0,13
Legehennen, Hähne	0,45	0,33
Mastküken und Jungmasthühner, Voraufzuchtputen	0,12	0,1
Zwerghühner, Wachteln; ausgewachsen	0,09	0,07
Junghennenaufzucht, Bruderhahn	0,034	0,026
Gänse	0,25	0,2
Enten	0,25	0,2
Truthühner (Puten)	0,6	0,48
Pferde		
Kleinpferde inkl. Ponys, Esel, Maultiere, ... Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht < 300 kg		
1/2 bis 3 Jahre	4,5	8,9
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr	5,3	10,5
Kleinpferde über 300 kg - Haflinger, Reitponys, ... Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht > 300 kg		
1/2 bis 3 Jahre	8,7	17,4
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr	10,3	20,5
Pferde Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht > 500 kg		
1/2 bis 3 Jahre	15,6	31,2

Tierart	P₂O₅	K₂O
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr	18,4	36,8
Schafe		
Lämmer bis 1/2 Jahr	2	4,4
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre	3,6	13,2
Mutterschafe	4	13,4
Ziegen		
bis 1/2 Jahr	2,2	4,6
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre	3,7	11,2
Mutterziegen	4,6	12,1
Rotwild		
Rotwild Alttier inkl. Nachzucht bis 14 Monate	10,9	47,5
Rotwild Hirsche	8,8	38,6
Damwild		
Damwild Alttiere inkl. Nachzucht bis 14 Monate	3,7	16,1
Damwild Hirsche	3,7	16,1
Neuweltkamele		
Neuweltkamele männlich ab 1 Jahr	3,7	16,1
Neuweltkamele weiblich ab 1 Jahr	3,2	14,1
Neuweltkamele bis 1 Jahr	1,6	7,1
Straußen		
Straußenküken bis 1/2 Jahr Gülle	1,2	1,2
Straußenküken bis 1/2 Jahr Mist	1,1	1,1
Jungstraußen 0,5–1,5 Jahre Gülle	3,2	3,2
Jungstraußen 0,5–1,5 Jahre Mist	2,7	2,7
Zuchtstraußenhenne - Gülle	4,1	4,1
Zuchtstraußenhenne - Mist	3,5	3,5
Zuchtstraußenhahn - Gülle	4,9	4,9
Zuchtstraußenhahn - Mist	4,2	4,2

Tierart	P ₂ O ₅	K ₂ O
Kaninchen		
Mastkaninchen - Gülle	0,7	0,7
Mastkaninchen - Tiefstall	0,6	0,6
Zuchtkaninchen - Gülle	1,6	1,6
Zuchtkaninchen - Tiefstall	1,3	1,3

Durch eine P-reduzierte Fütterung kann der Phosphatgehalt je nach Tiergruppe in einem Ausmaß zwischen 13 % und 39 % gesenkt werden.

Wie im Kapitel 4.2 angeführt, können die aus einer Wirtschaftsdüngeruntersuchung festgestellten Gehalte an Phosphor bzw. Kalium herangezogen werden, um Wirtschaftsdünger kultur- und flächenspezifisch gezielter anwenden, sowie den Mineraldüngerbedarf effizienter planen zu können.

Laborergebnisse zu Phosphor- und Kaliumkonzentrationen sind dabei in Form deren oxidierten Verbindungen, d.h. als Phosphorpentoxid (P₂O₅) bzw. Kaliumoxid (K₂O) anzugeben.

4.5 Lagerung von Wirtschaftsdüngern

Eine ausreichende Lagerkapazität für Wirtschaftsdünger ist Voraussetzung für deren sachgerechten Einsatz. In Tabelle 71 sind die über einen Zeitraum von 6 Monaten je Stallplatz anfallenden Mengen an Wirtschaftsdüngern zusammengefasst. Diese Mengen sind bei der Planung der im „Aktionsprogramm Nitrat“ vorgeschriebenen Mindestlagerkapazitäten zu berücksichtigen. Zeiten, in denen das Vieh vom 1. Oktober bis 1. April des Folgejahres nicht im Stall steht, können durch aliquote Abschläge berücksichtigt werden.

Die Angaben für Jauche und Gülle beziehen sich auf die unverdünnten Substrate, das heißt, dass bei einer Verdünnung des Flüssigmistes durch in die Gruben eingeleitete Spül- und Reinigungswässer die erforderliche Lagerkapazität entsprechend zu erhöhen ist.

Tabelle 71: Wirtschaftsdüngeranfallsmengen für 6 Monate je Stallplatz in m³ bei verschiedenen Entmistungssystemen

Tierart	System MistJauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tiefstallmist
Rinder				
Jungrinder				
Kälber und Jungrinder unter 1/2 Jahr	1,3	0,8	0,7	1,7
Jungvieh 1/2 bis 1 Jahr	3,4	1,8	1,7	3,9
Jungvieh 1 bis 2 Jahr	5,8	3	2,9	6,2
Rinder ab 2 Jahre				
Ochsen, Stiere	7,1	3,5	3,5	7,7
Kalbinnen	7,7	3,8	3,8	8,2
Milchkühe ohne Nachzucht				
Milchkühe (5.000 kg Milch) ¹	11,5	7,4	3,8	11,9
Milchkühe (6.000 kg Milch) ¹	11,8	7,6	3,9	12,1
Milchkühe (7.000 kg Milch) ²	11,7	7,5	3,9	12,0
Milchkühe (8.000 kg Milch) ²	12,0	7,6	4,0	12,3
Milchkühe (9.000 kg Milch) ²	12,3	7,9	4,1	12,6
Milchkühe (> 10.000 kg Milch) ²	12,7	8,1	4,2	13,0
1 Fleckvieh mit 700 kg Lebendgewicht 2 Schwarzbunte mit 640 kg Lebendgewicht				
Mutter- und Ammenkühe ohne Nachzucht				
Mutter- und Ammenkühe	11,3	7,2	3,7	11,6
Schweine				
Ferkel				
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG) Standardfütterung	0,3	0,13	0,05	0,33
Ferkel 8 bis 32 kg Lebendgewicht (LG) N-reduzierte Fütterung	0,3	0,13	0,05	0,33
Mastschweine und Jungsauen				

Tierart	System MistJauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tiefstallmist
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung	0,7	0,48	0,23	0,77
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, N-reduzierte Fütterung	0,7	0,48	0,23	0,77
ab 32 kg LG bis Mastende/Belegung, stark N-reduzierte Fütterung	0,7	0,48	0,23	0,77
Zuchtschweine (ab Belegung) inkl. Ferkel bis 8 kg				
Zuchtschweine - Standardfütterung	2,55	1,73	0,84	2,72
Zuchtschweine - N-reduzierte Fütterung	2,55	1,73	0,84	2,72
Eber				
Zuchteber - Standardfütterung	2,55	1,73	0,84	2,72
Zuchteber - N-reduzierte Fütterung	2,55	1,73	0,84	2,72
Geflügel	Pumpfähig			Trockenbrot
Küken u. Junghennen für Legezwecke bis 1/2 Jahr	0,012			0,009
Legehennen, Hähne	0,033			0,016
Mastküken und Jungmasthühner, Voraufzuchtputen				0,006
Zwerghühner, Wachteln; ausgewachsen				0,003
Junghennenaufzucht, Bruderhahn				0,004
Gänse				0,029
Enten				0,014
Truthühner (Puten)				0,03
Pferde				
Kleinpferde inkl. Ponys, Esel, Maultiere, ... Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht < 300 kg				
1/2 bis 3 Jahre				2,0
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				2,5

Tierart	System MistJauche			
	Gülle	Mist	Jauche	Tiefstallmist
Kleinpferde über 300 kg - Haflinger, Reitponys, ... Widerristhöhe bis 1,48 m, Endgewicht > 300 kg				
1/2 bis 3 Jahre				3,0
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				3,8
Pferde, Widerristhöhe > 1,48 m Endgewicht > 500 kg				
1/2 bis 3 Jahre				6,0
> 3 Jahre inkl. Fohlen bis 1/2 Jahr				6,7
Schafe				
Lämmer bis 1/2 Jahr				0,22
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre				0,52
Mutterschafe				0,52
Ziegen				
ab 1/2 Jahr				0,16
ab 1/2 Jahr bis 1,5 Jahre				0,38
Mutterziegen				0,38

In der Tabelle 72 sind die durchschnittlichen Raumgewichte unterschiedlicher Wirtschaftsdünger angeführt. Je nach Einstreumenge können vor allem die Raumgewichte von Festmistern in der Praxis sehr stark variieren.

Tabelle 72: Raumgewicht von Wirtschaftsdüngern und Komposten

	t/m ³	m ³ /t
Flüssige Wirtschaftsdünger	1	1
Pferdemist	0,5	2
Rindermist	0,83	1,2
Schweinemist	0,91	1,1

	t/m ³	m ³ /t
Hähnchen- und Putenmist	0,5	2
Hühnertrockenkot (mit 50 % TS)	0,5	2
Schaf- und Ziegenmist	0,7	1,4
Stallmistkompost	0,8	1,2
Bio- und Grünschnittkompost	0,7	1,4

4.6 Bewertung der Ernterückstände, der Zwischenbegrünung und der Vorfruchtwirkung

Neben dem Einsatz von Wirtschaftsdüngern spielen auch die Menge und Art der Ernterückstände für die Bemessung der Düngung eine wesentliche Rolle. In Tabelle 73 ist die Wirkung in Bezug auf die Nachlieferung von Stickstoff, in Tabelle 74 von Phosphor und Kalium zusammengefasst. Die für Stickstoff angegebenen Spannen beruhen auf der Tatsache, dass dessen Nachlieferung zusätzlich von den Witterungsbedingungen abhängig ist. Es kann daher auch bei grundsätzlich stickstoffreichen Rückständen zu einer vergleichsweise geringen aktuellen Nachlieferung kommen. Bei günstiger Witterung (z. B. geringer Winterniederschlag) soll das Nachlieferungspotenzial zur Gänze berücksichtigt werden. Die Stickstoffgabe kann um die in Tabelle 73 angegebenen Werte reduziert werden. Bei Kalium ist zusätzlich die von der Bodenart abhängige Nachlieferungsdynamik zu beachten.

Tabelle 73: Bewertung der Ernterückstände, der Zwischenbegrünung und der Vorfruchtwirkung für die unmittelbare Folgekultur - Stickstoff (GB ... Grünbrache)

Wirkung	Vorfrucht	Nachlieferungspotenzial (kg N/ha) ^{1,2}
Ernterückstände	Rübenblatt	0–30
	Rapsstroh	0–30
	Ölkürbis	10–30
Stroh- und Vorfruchtwirkung	Ackerbohne	20–40
	Körnererbse	20–50
	Sojabohne	0–20

Wirkung	Vorfrucht		Nachlieferungspotenzial (kg N/ha) ^{1,2}
Vorfruchtwirkung Futterleguminosen (FL)- Stoppeln und Wurzeln nach Umbruch	Genutzte Zwischenfrucht > 60 % Leguminosen Anteil		10–30
	Futterleguminosen einjährig	Energiegras (1–6 Nutzungen, <10% Legum.)	0–20
		Futtergräser (1–6 Nutzungen, <10%Legu m.)	0–20
		Sonstiges Feldfutter (1–6 Nutzungen, <40% Legum.)	0–20
		Klee gras, Luzernengras (1–6 Nutzungen, 60–90% Legum.)	20–40
		Klee, Luzerne (1–6 Nutzungen, >90% Legum.)	20–40
	Futterleguminosen mehrjährig	Energiegras (1–6 Nutzungen, <10% Legum.)	30–50
		Futtergräser (1–6 Nutzungen, <10% Legum.)	30–50
		Sonstiges Feldfutter (1–6 Nutzungen, <40% Legum.)	30–50
		Klee gras, Luzernengras (1–6 Nutzungen, 60–90% Legum.)	40–80
		Klee, Luzerne (1–6 Nutzungen, >90% Legum.)	40–80
		Wechselwiese (40– 90% Legum.)	40–80
	Luzerne zur Futternutzung ein- oder mehrjährig	< 6 t TM/ha	25–40
		> 6 t TM/ha	40–80
Vorfruchtwirkung nicht genutzte Grünbrache (GB) - Mulch, Stoppeln und Wurzeln nach Umbruch	Ungenutzte Zwischenfrucht > 60%Leguminosen Anteil		20–40
	Ungenutzte Grünbrache einjährig	Leguminosen Anteil < 10 %	0–20
		Leguminosen Anteil 10–60 %	20–40

Wirkung	Vorfrucht	Nachlieferungspotenzial (kg N/ha) ^{1,2}	
	Leguminosen Anteil > 60 %	40–80	
	Leguminosen Anteil < 10 %	0–25	
	Ugenutzte Grünbrache mehrjährig	Leguminosen Anteil 10–60 %	30–50
		Leguminosen Anteil > 60 %	60–100
	Luzerne als Grünbrache ein- oder mehrjährig	< 6 t TM/ha	60–110
		> 6 t TM/ha	110–160

¹Die Stickstoffgabe für die nachfolgende Kultur muss um die in der NAPV vorgeschriebenen Werte reduziert werden, zusätzliche Reduktion bei gut entwickelten Beständen und entsprechender Witterung empfohlen.

²In einigen EDV-Programmen zur Erstellung von Düngungsempfehlungen erfolgt die Berücksichtigung des Nachlieferungspotenzials auf Basis eines Mittelwertes der oben angegebenen Spanne.

Abgeleitet nach: Dachler, M., & Köchl, A. (2003). Der Einfluss von Fruchtfolge, Vorfrucht, Stickstoffdüngung und Einarbeitung der Ernterückstände auf Ertrag und Rohproteingehalt von Winterweizen und nachfolgender Sommergerste. Die Bodenkultur, 54(1), 23-34.

Die N-Nachlieferung aus den Ernterückständen der Gemüsekulturen, die in ackerbaulichen Fruchtfolgen eingesetzt werden, können aus der Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau entnommen werden.

Tabelle 74: Bewertung der Ernterückstände und Vorfruchtwirkung - Phosphor und Kalium

Ernterückstand	P ₂ O ₅		K ₂ O	
	Ertragslage			
		niedrig	mittel	hoch
Getreidestroh	10	40	50	60
Kartoffelkraut	10	40	60	70
Maisstroh	20	90	120	150
Körnerhirse/-sorghum	10	160	170	180
Rapsstroh	20	90	120	150
Rübenblatt	40	120	150	180
Sonnenblumenstroh	20	120	150	180

Ernterückstand	P ₂ O ₅		K ₂ O	
Ölkürbis	30	155	170	190
Körnerleguminosen (Stroh- und Vorfruchtwirkung)				
Ackerbohne	10	30	40	50
Erbse	10	30	40	50
Sojabohne	10	30	40	50

5 Erstellung eines Düngeplans

5.1 Einleitung

Im Folgenden wird eine einfache und kompakte Anleitung zur Erstellung eines Düngeplans für die Hauptnährstoffe N, P_2O_5 und K_2O mithilfe der Tabellen aus der vorliegenden Richtlinie gegeben. Anhand eines integrierten Beispielbetriebes werden folgende Punkte exemplarisch erörtert:

- Erhebung des Nährstoffbedarfes im Ackerland für N, P_2O_5 und K_2O unter Berücksichtigung der Standortfaktoren, Vorfruchtwirkung und der Bodenuntersuchungsergebnisse
- Erhebung des Nährstoffbedarfes im Grünland für N, P_2O_5 und K_2O unter Berücksichtigung des Nutzungstyps, der Ertragslage und der Bodenuntersuchungsergebnisse
- Ermittlung und Bewertung des Nährstoffanfalles aus der Tierhaltung
- Verteilung der Wirtschafts- und Mineraldünger am Betrieb
- Überprüfung der N-Höchstgrenzen

Die Erstellung des Düngeplans erfolgt unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Die Düngeperiode für die Hauptkultur beginnt nach der Ernte der Vorfrucht und endet mit der Ernte der Hauptkultur.
- Die N-Düngeempfehlung erfolgt nach den Richtwerten für die sachgerechte Düngung unter Berücksichtigung der Ertragserwartung, der Standortfaktoren und der Vorfruchtwirkung.
- Die N-Düngeobergrenzen und die Ausbringungsverbote gemäß Nitrat - Aktionsprogramm - Verordnung sind zu beachten.
- Die PK-Düngeempfehlung erfolgt unter Berücksichtigung der Bodenuntersuchungsergebnisse.
- Nährstoffrücklieferungen von Zwischenfrüchten sind zu berücksichtigen.
- Zwischenfrucht-Feldfutterbau muss als eigene Kulturart angelegt werden. Zusätzliche NPK-Düngung ist auf diesen Flächen möglich.
- Eine Gesamtbetriebsbilanzierung aller Nährstoffe wird auch EDV unterstützt beispielsweise von den Landwirtschaftskammern angeboten (LK-Düngerrechner).

5.2 Erhebung des Nährstoffbedarfes im Ackerland

Die Ermittlung des Nährstoffbedarfs erfolgt in 3 Schritten:

- Einstufung und Beurteilung der vorliegenden Standortfaktoren
- Einstufung und Konsequenzen der Bodenuntersuchungsergebnisse
- Ermittlung des Bedarfs an N, P und K

Darauf aufbauend kann ein Vorschlag an Düngemitteln zur Abdeckung des ermittelten Nährstoffbedarfs (Düngerart, Art und Zeitpunkt der Applikation) erarbeitet werden.

Beispiel Acker:

Kulturart: Winterweizen, Rohproteingehalt < 14 %

Vorfrucht: Körnererbse (Ertragslage mittel)

Tabelle 75: Ermittlung der Einstufung - Ertrag und Standortfaktoren

Standortfaktoren	Annahme	Tabelle	Einstufung
Ertragserwartung	8 t/ha	Tabelle 26	-> hoch 2
Gründigkeit	über 70 cm	Tabelle 9	-> tiefgründig
Bodenschwere	sL	Tabelle 2	-> mittel
Humusgehalt, N-Mineralisierungspotenzials	2,5 %	Tabelle 13	-> mittleres N-Mineralisierungspotenzial
Wasserverhältnisse	mäßig feucht	Tabelle 10	
Grobanteil	kein Grobanteil	Tabelle 11	

Tabelle 76: Ermittlung der Einstufung - Nährstoffversorgung

Bodenuntersuchungsergebnis (Annahme)		Tabelle	Einstufung
Phosphor:	22 mg P/1000 g Feinboden (CAL)	Tabelle 14	-> Gehaltsklasse A
Kalium:	180 mg K/1000 g Feinboden (CAL)	Tabelle 16	-> Gehaltsklasse C
Feineinstufung	C1/C2 bzw. D1/D2	Tabelle 42	-> Gehaltsklasse C2
Verhältnis K/Mg:	4 : 1	Tabelle 43	-> Unter 5 kein Zuschlag

Tabelle 77: Erhebung des Nährstoffbedarfes im Ackerland für N, P₂O₅ und K₂O in kg /ha

Kulturart (Feldfrucht)	Winterweizen	
Vorfrucht	Körnererbse	
N-Düngung	N	
N-Düngeempfehlung bei mittlerer Ertragserwartung in kg/ha	Tabelle 31	120
Zu- und Abschläge zur N-Düngung in %		
Ertragserwartung	Tabelle 26, Tabelle 33	+30 %
Gründigkeit	Tabelle 33	+5 %
N-Mineralisierungspotenzials	Tabelle 33	0
Wasserverhältnisse	Tabelle 33	0
Grobanteil	Tabelle 33	0
Summe Zu-/Abschläge in % und in kg/ha*	35%	42
N-Düngeempfehlung nach Berücksichtigung der Standortfaktoren in kg/ha	162	
abzüglich Vorfruchtwirkung und Ernterückstände in kg/ha	Tabelle 71	-35
N - Düngeempfehlung in kg/ha	127	
PK - Düngung	P₂O₅	K₂O
P₂O₅ und K₂O Düngeempfehlung bei Gehaltsklasse C in kg/ha	Tabelle 41	> 55
PK - Düngung	P₂O₅	K₂O

Kulturart (Feldfrucht)	Winterweizen		
P ₂ O ₅ und K ₂ O - Gehaltsklasse lt. Bodenuntersuchung		A	C2
Zu- und Abschläge zur PK-Düngung in %			
P ₂ O ₅ und K ₂ O Zu- und Abschläge gemäß Gehaltsklasse in %	Tabelle 42	50 %	-50 %
P ₂ O ₅ und K ₂ O Zu- und Abschläge bei Gehaltsklasse C für Ertragserwartung in %	Tabelle 43	-	15 %
K ₂ O Zu- und Abschläge bei Gehaltsklasse C in % bezüglich K:Mg - Verhältnis	Tabelle 43	-	0 %
Summe Zu-/Abschläge für P ₂ O ₅ - und K ₂ O in %		50 %	-35 %
Summe Zu-/Abschläge für P ₂ O ₅ - und K ₂ O in kg/ha		27,5	-28
abzüglich Vorfruchtwirkung in kg/ha	Tabelle 72	-10	-40
P ₂ O ₅ und K ₂ O - Düngeempfehlung in kg/ha		72,5	12

*Die Summe der Zuschläge zur N-Düngung ist mit maximal 50 % begrenzt

5.3 Erhebung des Nährstoffbedarfes im Wirtschaftsgrünland

Beispiel Grünland:

Tabelle 78: Ermittlung der Einstufung - Ertrag und Nährstoffversorgung

Nutzungsform: Dauerwiese			
Schnitthäufigkeit bzw. Nutzungstyp	4 Schnitte, gräserbetont		
	Annahmen	Tabelle	Einstufung
	Ertragserwartung: 10 t TM/ha	Tabelle 30	-> hoch
	Phosphor: 20 mg P/1.000 g Feinboden	Tabelle 14	-> Gehaltsklasse A
	Kalium: 92 mg K/1.000 g Feinboden	Tabelle 16	-> Gehaltsklasse C

Tabelle 79: Erhebung des Nährstoffbedarfes im Wirtschaftsgrünland und Feldfutterbau für N, P₂O₅ und K₂O in kg/ha

Nutzungsform: Dauerwiese			
Schnitthäufigkeit bzw. Nutzungstyp	4 Schnitte, gräserbetont		
Einschätzung der Ertragslage in t TM/ha/Jahr (niedrig-mittel-hoch)	Tabelle 30	10 (hoch)	
		N	
N - Düngempfehlung in kg/ha	Tabelle 40	185	
PK-Düngung		P₂O₅	K₂O
P ₂ O ₅ und K ₂ O - Düngempfehlung bei Gehaltsklasse C in kg/ha	Tabelle 44	90	260
P ₂ O ₅ und K ₂ O - Gehaltsklasse lt. Bodenuntersuchung		A	C
P ₂ O ₅ und K ₂ O - Zuschlagsfaktoren gemäß Bodenuntersuchung	Tabelle 45	1,5	1
P ₂ O ₅ und K ₂ O - Düngempfehlung in kg/ha		135	260

5.4 Ermittlung und Bewertung des Nährstoffanfalles aus der Tierhaltung

Beispielsbetrieb Tierhaltung:

8 Stück Rinder-Jungvieh (13 Monate alt) auf Tiefstallmist

30 Mastschweineplätze; Mastschweine über 32 kg auf Gülle mit Standardfütterung

Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestandes von Mastschweinen anhand von wochenweisen Aufzeichnungen des Tierbestandes:

Tabelle 80: Ermittlung des Durchschnittstierbestandes (wochenweise Aufzeichnungen)

Woche	Zugang	Abgang	Aktueller Bestand	Berechnung
		Verkauf Verendung		Durchschnittsbestand
1			30	8 Wo * 30 Stk. +
9		1	29	6 Wo * 29 Stk. +
15		29	0	2 Wo * 0 Stk. +
17	30		30	19 Wo * 30 Stk. +
36		30	0	2 Wo * 0 Stk. +
38	30		30	15 Wo * 30 Stk. =
1			30	1434/52 =
Durchschnittstierbestand Mastschweine:				27,6 Stück

Hinweise über andere Methoden zur Erstellung einer Durchschnittstierliste sind im Anhang angeführt.

Tabelle 81: Ermittlung und Bewertung des NPK-Nährstoffanfalles aus der Tierhaltung

Tierkategorie	Jungvieh 1–2 Jahre		Mastschweine über 32 kg		
Anzahl (Stichtag od. Durchschnittsliste)		8		27,6	
Nährstoffbestimmender Bestand*		8		34,8	
Art des Wirtschaftsdünger-Anfalls		Tiefstall- mist		Gülle	
Wirtschaftsdüngeranfall in m³/Stallplatz/ 6 Monate	Tabelle 69	6,2		0,7	
Gesamter Wirtschaftsdüngeranfall in m³/Tierkategorie/Jahr**		99,2		38,6*	
N-Anfall		N		N	
N-Anfall ab Lager (N _{al}) in kg/Jahr/Stallplatz	Tabelle 62	37,5		7,5	
Gesamter N-Anfall ab Lager (N _{al}) in kg/Jahr/Tierkategorie		300		261	
N _{al} in kg/m³ Dünger		3,02		6,76	
- abzüglich N-Ausbringungsverluste in %	Tabelle 61	-9 %		-13 %	
N feldfallend (N _{ff}) in kg/m³ Dünger		2,75		5,88	
- multipliziert mit dem Jahreswirksamkeitsfaktor	Tabelle 65	0,5		0,8	
N-jahreswirksam (N _{jw}) in kg/m³ Dünger		1,38		4,71	
PK-Anfall		P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Anfall P ₂ O ₅ und K ₂ O in kg/Jahr/Stallplatz	Tabelle 68	19,6	74,8	4,4	5,0
Gesamter P ₂ O ₅ und K ₂ O Anfall in kg/Jahr/Tierkategorie		156,8	598,4	153,12	174
P ₂ O ₅ und K ₂ O Gehalte in kg/m³ Dünger		1,56	6,03	3,97	4,51

*Im Beispiel werden die Anfallsmengen nach den Werten der Tabelle 69 berechnet (für Mindestlagerraum wichtig). In der Praxis müssen die am Betrieb tatsächlich anfallenden Düngermengen eingesetzt werden. Anfallsmengen aus Tabelle 69 beziehen sich auf den Zeitraum von 6 Monaten und sind daher mit dem Faktor 2 zu multiplizieren um auf den Jahresanfall zu kommen.

5.5 Verteilung der Wirtschafts- und Mineraldünger am Betrieb

Beispiel: Betrieb mit 4 ha Winterweizen und 3 ha Dauerwiese

Wirtschaftsdüngeranfall:

99,2 m³ Mist aus der Rinderhaltung werden auf 4 ha Acker ausgebracht (24,8 m³/ha)

38,6 m³ Gülle aus der Mastschweinehaltung werden auf 3 ha Dauerwiese ausgebracht (ca. 13 m³/ha)

Tabelle 82: Düngerverteilung Wirtschaftsdünger und Mineraldünger am Betrieb

Kultur	Fläche (ha)	Düngeempfehlung (Nährstoffbedarf) in kg je ha			Wirtschaftsdün- gerausbringung In m ³ /ha		Jahreswirksame Nährstoff- Mengen über Wirtschafts- Dünger in kg/ha			Mineralische Ergän- zungs-Düngung in kg je ha			Mineralische Ergänzungs- Düngung in kg auf der ge- samten Kulturfläche		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mist	Gülle	N Jahr.	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Winterweizenfelder	4	127	72,5	12	24,8		34,2	38,7	149,5	92,9	33,8	-	372	135	-
Dauerwiese 4-schnittig	3	185	126	260	0	13	61,2	51,6	58,6	123,8	74,4	201,4	371	223	604
Summe mineralischer Ergänzungsbedarf:													743	358	604

5.6 Überprüfung der N-Höchstgrenzen gemäß Nitrat – Aktionsprogramm - Verordnung

Unter der Annahme, dass der oben ermittelte Düngerbedarf auch tatsächlich ausgebracht wird, werden die gesamtbetrieblichen Grenzwerte gemäß NAPV i.d.g.F. wie folgt überprüft:

- Grenzwert 1: Maximal 170 kg N_{al}/ha aus Wirtschaftsdünger im Betriebsdurchschnitt

Anfall N _{al} aus Rinderhaltung:	300 kg/Jahr
Anfall N _{al} aus Schweinehaltung:	+ 261 kg/Jahr
Anfall N _{al} aus Wirtschaftsdünger Gesamt:	= 561 kg/Jahr

Gesamte Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) = 7 ha

Berechnung (Grenzwert 170 kg N_{al}): $561 \text{ kg N}_{al} / 7 \text{ ha LN} = 80,1 \text{ kg N}_{al}/\text{ha LN}$

- Grenzwert 2: Maximal 175 bzw. 210 kg N_{ff}/ha LN im Betriebsdurchschnitt

Der Grenzwert 210 kg N/ha LN ist anzuwenden, wenn die Fruchtfolge N-zehrend ist, d.h. wenn 2/3 der Kulturen einen N-Bedarf von über 80 kg N aufweisen oder wenn eine geschlossene Gründecke vorherrscht. Dies trifft in unserem Beispiel zu.

Anfall N _{ff} aus Rinderhaltung:	273 kg/Jahr
Anfall N _{ff} aus Schweinehaltung:	+ 227 kg/Jahr
Anfall N aus Mineraldünger:	+ 743 kg/Jahr
Anfall N _{ff} Gesamt	= 1.243 kg/Jahr

Gesamte Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) = 7 ha

Berechnung (Grenzwert 210 kg N_{ff}): $1.243 \text{ kg N}_{ff} / 7 \text{ ha LN} = 177,6 \text{ kg N}_{ff}/\text{ha LN}$

- Da die berechneten Werte unter den erlaubten Höchstgrenzen liegen, gelten die Grenzwerte als eingehalten. Eine Gesamtbetriebsbilanzierung aller Nährstoffe wird auch EDV unterstützt angeboten.

6 Anhang

6.1 Berechnung der Kalkdüngungsempfehlung

6.1.1 Berechnung des Hilfsparameters:

$$H = 5.703,8 - 2.575,8 \text{ pH}_{\text{Ac}} + 388,7 (\text{pH}_{\text{Ac}})^2 - 19,59 (\text{pH}_{\text{Ac}})^3$$

H Hilfsparameter

pH_{Ac} pH-Wert in Ca-Acetat-Lösung

6.1.2 Berechnung des Kalkdüngerbedarfs in t CaO/ha:

$$\text{Kalkdüngungsbedarf (t CaO)} = \frac{\text{pH}_{\text{Ziel}} - \text{pH}_{\text{CaCl}_2}}{10 \times (7 - \text{pH}_{\text{CaCl}_2})} \times (H \times 8,4)$$

pH_{Ziel} anzustrebender pH-Wert gem. Tabelle 8

pH_{CaCl₂} pH-Wert in CaCl₂-Lösung

6.2 Kalkbilanzierung

Die Kalkbilanzierung ist ein Hilfsmittel, um die Kalkverluste pro Hektar und Jahr exakter abschätzen zu können. Daraus kann ermittelt werden, nach welchem Zeitintervall (i.d.R. 4 bis 6 Jahre) die Erhaltungskalkung wiederholt werden soll. Im Folgenden sind die Bandbreiten für den Einfluss einzelner Faktoren angegeben. Eine Berechnung kann unter Verwendung der Tabellen und Formeln der Punkte 6.2.1 bis 6.2.3 erfolgen.

Tabelle 83: Bandbreiten des Kalkbedarfs

	Kalkbedarf in kg CaO/ha Bandbreite	Berechnung
	kg CaO/ha	
Pflanzenentzug und Ernteabfuhr	- 30 bis - 216	gem. 6.2.1
Kalk- und Kalziumverlagerung durch		
Auswaschung		
< 600 mm Jahresniederschlag	- 100 bis - 500	gem. 6.2.2
600–750 mm Jahresniederschlag	- 250 bis - 600	gem. 6.2.2
> 750 mm Jahresniederschlag	- 350 bis - 700	gem. 6.2.2
Mineraldünger	+ 95 bis - 300	gem. 6.2.3
Wirtschaftsdünger	+ 100 bis - 300	gem. 6.2.3
Immissionssäuren	- 10 bis - 30	
Bodensäuren	- 20 bis - 60	

6.2.1 Kalkentzug durch die Ernte

Tabelle 84: Kalkentzug durch die Ernte

		Erntegut		Kalkentzug		
		Korn, Rüben, Knollen Fruchtart	dazu geh. Stroh, Blatt, Kraut	kg CaO/t Erntegut		
Fruchtart	Rohpr. in % TM	I	II	I	II	ges.
Ackerkulturen						
Winterweizen	12	1	0,8	1	4	5
Winterweizen	14	1	0,8	1	4	5
Winterweizen	16	1	0,8	1	4	5
Durumweizen	15	1	0,8	1	4	5
Winterroggen	11	1	0,9	1	5,4	6,4

	Erntegut		Kalkentzug			
	Korn, Rüben, Knollen	Fruchtart	dazu geh. Stroh, Blatt, Kraut	kg CaO/t Erntegut		
Wintertriticale	12	1	0,9	1	5,4	6,4
Wintergerste	12	1	0,7	1	2,8	3,8
Sommerfuttergerste	12	1	0,8	1	3,2	4,2
Braugerste	10	1	0,7	1	2,8	3,8
Hafer	11	1	1,1	1	7,7	8,7
Dinkel mit Vesen	12	1	1	2	6	8
Körnermais	11	1	1	2	6	8
Saatmais		1	1,7	-	-	-
CCM ca.	86	1	1			
Winterraps		1	1,7	6	46	52
Sonnenblume (Korngewinnung)		1	2	3	35	38
Öllein		1	1,5	-	-	-
Körnererbsen		1	1	2	14	16
Ackerbohnen		1	1	2	14	16
Sojabohnen		1	1	2	20	22
Frühkartoffeln		1	0,2	1,4	0,2	1,6
Fruchtart	Rohpr. in % TM	I	II	I	II	ges.
Kartoffeln ab mittelfrüh		1	0,2	1,4	0,2	1,6
Zuckerrüben		1	0,7	0,8	0,5	1,3
Gehaltsrüben		1	0,4	0,4	1,3	1,7
Futtermassenrüben		1	0,4	0,4	0,4	0,8
Ackerfutter						
Silomais (Frischmasse)						1,7
Luzerne (Frischmasse)						5,2
Rotklee (Frischmasse)						4,8
Klee gras (50:50) (Frischmasse)						3,8

	Erntegut	Kalkentzug
	Korn, Rüben, Knollen Fruchtart	dazu geh. Stroh, Blatt, Kraut kg CaO/t Erntegut
Weidelgras (Frischmasse)		2,5
Grünland		
1 Nutzung (ca. 4 t TM)		10
2 Nutzungen (ca. 5,5 t–6 t TM)		10,5
3 Nutzungen (ca. 7–7,5 t TM)		14
4 Nutzungen (ca. 9 t TM)		15,7
5 Nutzungen (ca. 11 t TM)		17,5
6 Nutzungen (ca. 12 t TM)		18

Quelle: Itz Baden-Württemberg

6.2.2 Kalkverluste durch Düngemittel

Die Kalkverluste durch Düngemittel können mit der Formel nach Sluijsmans (1966*) berechnet werden:

*SLUIJSMANS, C. M. J.: Effect of fertilizers on the lime requirement of the soil. Agri. Digest 8,10—16,1966.

Kalkverluste oder -mehrung in kg CaO/ha je kg Nährstoff:

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

Der Faktor n bei Stickstoff ist je nach Nutzung zu variieren:

Grünland: 0,8

Ackerland: 1,0

Ackerland bei starker N-Aufnahme durch die Pflanzen: 2,0

Tabelle 85: Umrechnungsfaktoren zur Angabe der Nähstoffgehalte

Umrechnungsfaktoren Oxid Element									
Oxid	X	Faktor	=	Element	Element	x	Faktor	=	Oxid
P ₂ O ₅	X	0,44	=	P	P	x	2,29	=	P ₂ O ₅
K ₂ O	X	0,83	=	K	K	x	1,21	=	K ₂ O
MgO	X	0,6	=	Mg	Mg	x	1,66	=	MgO
CaO	X	0,72	=	Ca	Ca	x	1,4	=	CaO
NO ₃	X	0,23	=	N	N	x	4,43	=	NO ₃
NH ₄	X	0,78	=	N	N	x	1,29	=	NH ₄
SO ₄	X	0,33	=	S	S	x	3	=	SO ₄
SO ₃	X	0,4	=	S	S	x	2,5	=	SO ₃
Na ₂ O	x	0,37	=	Na	Na	x	2,7	=	Na ₂ O

6.3 Beispiel zur Verwendung der Tabellen für die Stickstoffbedarfsermittlung:

Kulturart: Weizen, Rohproteingehalt < 14 % idTM

Ertragserwartung: im langjährigen Mittel etwa 5 Tonnen/ha - mittlere Ertragserwartung

Standorteigenschaften:

Gründigkeit: 90 cm - tiefgründig

Bodenschwere: 28 % Ton - schwer

Anaerobe Mineralisation: 85 mg N/1.000 g Boden/Woche - hohes Nachlieferungspotenzial

Wasserverhältnisse: mäßig trocken

Grobanteil: gering

daraus ergibt sich folgende Berechnung:

Stickstoffbedarf: 120 kg/ha N (Mittelwert aus 110 und 130 kg/ha N)

Korrektur in % (siehe Tabelle 33)

Ertragserwartung:	0
Gründigkeit:	+5
Bodenschwere:	+5
N - Nachlieferungspotenzial:	-15
Wasserverhältnisse:	0
Grobanteil:	0
Summe der Korrekturen:	-5

Korrigierter Bedarf = 120 kg/ha - 6 kg/ha N (5 % Abzug für Korrekturen) = 114 kg/ha N

6.4 Berechnung von N_{MIN} -Ergebnissen auf der Basis von Laborergebnissen

6.4.1 Berücksichtigung der Dimension

Analysenergebnisse für den Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min}) werden gemäß ÖNORM L 1091 in kg N/ha angegeben und setzen sich aus dem Gehalt an Nitrat (NO_3) und Ammonium (NH_4) zusammen. Darüber hinaus sind folgende Angaben möglich:

mg Nitrat - N ($\text{NO}_3\text{-N}$) / 100 g Boden,

mg Ammonium - N ($\text{NH}_4\text{-N}$) / 100 g Boden.

Die Umrechnung in die Menge an Rein-Stickstoff erfolgt nach den folgenden Formeln:

Für Nitrat: Angabe in mg NO₃/100 g Boden x 0,226 = mg N/100 g Boden

Für Ammonium: Angabe in mg NH₄/100 g Boden x 0,776 = mg N/100 g Boden

Die Summe des nach diesen Formeln aus dem Ammonium- und dem Nitratgehalt berechneten Reinstickstoffgehaltes ergibt den Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min}) pro 100 g Boden.

Die Berechnung ist pro Tiefenstufe durchzuführen. Während Nitrat in den Tiefenstufen 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm untersucht wird, ist die Erfassung des Ammoniumgehaltes nur in der obersten Tiefenstufe 0–30 cm erforderlich.

6.4.2 Berücksichtigung der Trockenrohdichte und des Feuchtegehaltes

Liegen keine Angaben zur Trockenrohdichte und zum Feuchtegehalt des Bodens vor, kann die Abschätzung des Gehalts an Reinstickstoff pro ha nachfolgender Formel erfolgen:

$$\text{mg N}_{\text{min}}/100 \text{ g Boden} \times 52,5 = \text{kg N}_{\text{min}}/\text{ha (je Tiefenstufe)}$$

Der Faktor 52,5 bezieht sich auf eine Mächtigkeit der Tiefenstufen von je 30 cm bei einer Lagerungsdichte von 1,4 kg/l und einem Feuchtegehalt von 20 %. Dieser Faktor wird unter anderem vom VDLUFA für die Berechnung von N_{min} Gehalten nach Probenahmen im Frühjahr herangezogen.

6.4.3 Berücksichtigung eines höheren Schotter- oder Steingehaltes

Höhere Schotter- oder Steingehalte sind wie folgt zu berücksichtigen:

$$\text{kg N}_{\text{min}}/\text{ha} \times (100 - \% \text{ Steingehalt}) / 100 = \text{kg N}_{\text{min}}/\text{ha korrigiert.}$$

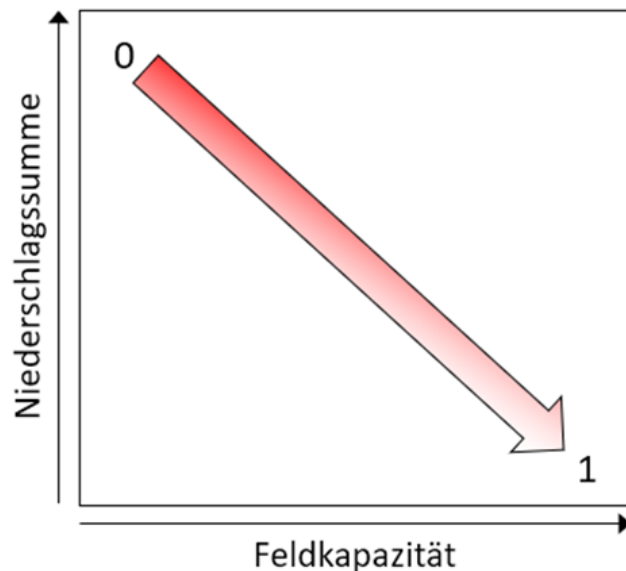
6.5 Beispiel für eine schlagbezogene Stickstoffbilanz

Die schlagbezogene Stickstoffbilanzierung ist eine Möglichkeit, um die Stickstoffeffizienz zu bestimmen und damit die Stickstoffvorräte im Boden grob abzuschätzen. Die Stickstoffeffizienz wird direkt nach der Ernte durch das Verhältnis von Stickstoffentzug (Abfuhr mit der Ernte) und Stickstoffeinsatz (Düngung) ermittelt:

$$\text{N-Effizienz (\%)} = \text{N-Entzug (kg/ha)} / \text{N-Düngung (kg N}_{\text{gw}}/\text{ha)} \times 100$$

Die Niederschlagssumme in der vegetationsfreien Zeit und die Feldkapazität des Bodens beeinflussen den Stickstoffvorrat zum Anbau der Folgekultur. Es muss also abgeschätzt werden wieviel eines möglichen Stickstoffvorrats im Boden zum Anbau der Folgekultur noch zur Verfügung steht. Je geringer die Niederschlagssumme und je höher die Feldkapazität eines Bodens ist, desto mehr des ungenutzten Stickstoffs der Vorkultur (positiver N-Saldo) bleibt im Boden gespeichert und soll bei der Düngebemessung der Nachkultur berücksichtigt werden. Dies wird über einen Faktor ausgedrückt, der zwischen 1 (geringe Niederschlagssumme und hohe Feldkapazität) und 0 (außergewöhnlich hohe Niederschlagssumme und geringe Feldkapazität) liegt. Durch eine darauf abgestimmte Fruchtfolge mit Feldfrüchten, die einen höheren Bedarf im Herbst haben, oder durch die Anlage von Begrünungen kann die Auswaschung reduziert und damit der Faktor erhöht werden. Der Anbau von Begrünungen begünstigt die Speicherung des ungenutzten Stickstoffs auch bei höheren Niederschlagssummen durch Verkürzen der vegetationsfreien Zeit. Ein entsprechend früher Anbau mit ausreichender Bestandsentwicklung ist daher anzustreben.

Abbildung 13: Entwicklung des Faktors zur Anrechnung des N-Saldos in Abhängigkeit von Niederschlagssumme und Feldkapazität.



Zur Berechnung des N-Saldos wird die Erntemenge (in t/ha bei Feuchtegehalten wie in 3.1 angegeben) mit den Stickstoffgehalten im Erntegut (in kg N/t) multipliziert und von der Dün-

gemenge abgezogen. Die vorliegende Richtlinie ist von ihrer Düngeempfehlung und Einteilung in Ertragsklassen so ausgerichtet, dass bei den meisten Kulturen in durchschnittlichen Jahren ein ausgeglichener N-Saldo erreicht wird. Lediglich Jahre mit geringen Erträgen oder geringer Qualität drücken sich in einem deutlich positiven Saldo aus, der bei der Düngebemessung der Folgekultur berücksichtigt werden soll.

Wurden die Nährstoffkonzentrationen gemessen, sind diese den in Tabelle 86 angegebenen vorzuziehen.

Ein negativer Saldo wird bei der Düngebemessung nicht berücksichtigt. Er drückt aus, dass durch den Aufwuchs der Pflanzen sowohl die gesamte Düngung und ein Teil des Bodenvorrates aufgebraucht wurden. Die Bemessung der Folgekultur erfolgt hier ohne Abschlag aufgrund der Bilanzierung.

Eine Düngebemessung nach $N_{\min}$ ist bei erfolgter $N_{\min}$ - Analyse der Bilanzierung grundsätzlich vorzuziehen, da sie die aktuelle N-Versorgung im Boden zum Zeitpunkt der Düngung abbildet und damit die Auswaschung über die vegetationsfreie Zeit nicht abgeschätzt werden muss.

Tabelle 86: Entzugswerte der wichtigsten Ackerkulturen (kg N pro t Erntegut)

Kulturart	N	
Getreide	Weizen	siehe Tabelle 87
	Durum-Weizen	23
	Dinkel	24
	Roggen	16
	Wintergerste	18
	Triticale	18
	Sommerfuttergerste	18
	Braugerste	siehe Tabelle 88
	Hafer	16
Hackfrüchte	Mais (CCM, Körnermais), Ertragslage niedrig	13
	Mais (CCM, Körnermais), Ertragslage mittel bis hoch 1	12,5
	Mais (CCM, Körnermais), Ertragslage hoch 2	12

Kulturart	N	
	Mais (CCM, Körnermais), Ertragslage hoch 3	11 - 11,5
	Silomais (Trockenmasse)	10
	Silomais (Frischmasse)	4
	Zuckerrübe	1,8
	Futterrübe	1,4
	Speisekartoffel, Industriekartoffel	3,5
	Früh- und Pflanzkartoffel (Marktware)	5
Öl- und Eiweißpflanzen	Körnerraps	33
	Sonnenblume	26
	Körnererbse	32
	Ackerbohne	42
	Sojabohne	55
Sonderkulturen	Mohn	100
	Kümmel (Erntejahr)	53
Feldfutterbau und Zwischenfruchtfutterbau	Feldfutter kleebetont	4
	Gräserbetont	17
	Feldfutter gräserrein	17

Die Werte in den beiden nachfolgenden Tabellen wurden mit folgender Formel berechnet:
 % Rohprotein in der Trockensubstanz/Faktor 6,25 für Gerste (gilt auch für Körnermais) und
 Faktor 5,7 für Weizen x (100 - Feuchte in %)/10 (Umrechnung auf kg N/t).

Beispiel: N-Düngung zu Winterweizen 150 kg/ha; Ernte von 7 t mit 14,2 % Feuchte und
 Rohproteingehalt von 13,5 % i.d.TS:

N-Gehalt im Erntegut pro t: $(13,5/5,7) \times (100 - 14,2) / 10 = 20,30 \text{ kg N/t}$

N-Entzug mit Erntegut: $7 \times 20,30 = 142 \text{ kg N/ha}$

N-Bilanz: $150 - 142 = +8 \text{ kg N/ha}$

N-Nutzungseffizienz: $(142/150) \times 100 = 94,7 \%$

Tabelle 87: Stickstoffentzüge je Tonne Weizen bei unterschiedlichen Rohproteingehalten und Feuchtigkeiten

Kornfeuchte in Prozent						
Rohproteingehalt in Prozent TM		12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
	11,0	17,0	16,8	16,6	16,4	16,2
	11,5	17,8	17,6	17,4	17,1	16,9
	12,0	18,5	18,3	18,1	17,9	17,7
	12,5	19,3	19,1	18,9	18,6	18,4
	13,0	20,1	19,8	19,6	19,4	19,2
	13,5	20,8	20,6	20,4	20,1	19,9
	14,0	21,6	21,4	21,1	20,9	20,6
	14,5	22,4	22,1	21,9	21,6	21,4
	15,0	23,2	22,9	22,6	22,4	22,1
	15,5	23,9	23,7	23,4	23,1	22,8
	16,0	24,7	24,4	24,1	23,9	23,6
	16,5	25,5	25,2	24,9	24,6	24,3
	17,0	26,2	25,9	25,6	25,4	25,1
	17,5	27,0	26,7	26,4	26,1	25,8
	18,0	27,8	27,5	27,2	26,8	26,5
	18,5	28,6	28,2	27,9	27,6	27,3
	19,0	29,3	29,0	28,7	28,3	28,0
	19,5	30,1	29,8	29,4	29,1	28,7
	20,0	30,9	30,5	30,2	29,8	29,5
	20,5	31,6	31,3	30,9	30,6	30,2
	21,0	32,4	32,1	31,7	31,3	30,9
	21,5	33,2	32,8	32,4	32,1	31,7
	22,0	34,0	33,6	33,2	32,8	32,4

Tabelle 88: Stickstoffentzüge je Tonne Braugerste bei unterschiedlichen Rohproteingehalten und Feuchtigkeiten

		Kornfeuchte in Prozent				
Rohproteingehalt in Prozent TM		12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
	9,0	12,7	12,5	12,4	12,2	12,1
	9,5	13,4	13,2	13,3	13,3	13,4
	10,0	14,1	13,9	13,9	13,9	13,9
	10,5	14,8	14,6	14,5	14,5	14,5
	11,0	15,5	15,3	15,1	15,1	15,1
	11,5	16,2	16,0	15,6	15,6	15,6
	12,0	16,9	16,7	16,2	16,2	16,2
	12,5	17,6	17,4	16,8	16,8	16,8
	13,0	18,3	18,1	17,3	17,3	17,3
	13,5	19,0	18,8	17,9	17,9	17,9
	14,0	19,7	19,5	18,4	18,4	18,4
	14,5	20,4	20,2	18,9	18,9	18,9
	15,0	21,1	20,9	19,5	19,5	19,5
	15,5	21,8	21,6	20,0	20,0	20,0
	16,0	22,5	22,3	20,5	20,5	20,5

Beispiel A: Wintergerste nach Körnerraps, mittlere Ertragslage, Trockengebiet

1. Saldoermittlung Vorkultur (Körnerraps)

a) Düngung zu Körnerraps	130	kg N/ha
b) <u>Entzug durch Ernte: 2,3⁽¹⁾ t/ha mal 33⁽²⁾ kg N/t</u>	~76	kg N/ha
Saldo	~54	kg N/ha

(1) Tatsächliche Erntemenge

(2) N-Gehalt im Erntegut nach Tabelle 86

2. Düngebemessung nach RL SGD Wintergerste

a)	Ertragslage mittel	110	kg N/ha
b)	Zu-/Abschlag Standortfaktoren +10 %, Tabelle 33	+11	kg N/ha
c)	Abschlag aufgrund Bilanzierung, 54 kg N/ha mal 0,8 ⁽³⁾ = Einsparung von Dünger	-43	kg N/ha
	Düngung zu Wintergerste	78	kg N/ha

- (3) Angeschätzter Faktor 0,8 aufgrund geringer Niederschläge bei mittlerer Feldkapazität

Beispiel B: Zuckerrübe nach Wintergerste, dazwischen Begrünung, mittlere Ertragslage, Zentralraum

1. Saldoermittlung Vorkultur (Wintergerste)

a)	Düngung zu Wintergerste (110+11 kg N/ha)	121	kg N/ha
b)	Entzug durch Ernte: 4,6 ⁽¹⁾ t/ha mal 16 ⁽²⁾ kg N/t	~74	kg N/ha
	Saldo	~47	kg N/ha

- (1) Tatsächliche Erntemenge

- (2) Gemessener Nährstoffgehalt im Erntegut

2. Düngebemessung nach RL SGD Zuckerrübe

a)	Düngeempfehlung gemäß Ertragslage mittel, Tabelle 31	125	kg N/ha
b)	Zu-/Abschlag Standortfaktoren +10 %, Tabelle 33	+13	kg N/ha
c)	Abschlag aufgrund Bilanzierung, 47 kg N/ha mal 0,5 ⁽³⁾ = Einsparung von Dünger	-24	kg N/ha
	Düngung zu Zuckerrübe	114	kg N/ha

- (3) Angeschätzter Faktor; 0,5 aufgrund moderater Niederschläge bei mittlerer Feldkapazität.

6.6 Orientierungshilfe/Handlungsanleitung - Durchschnittstierliste

6.6.1 Durchschnittstierliste

Die Werte für den Stickstoffanfall nach Abzug der Stall- und Lagerverluste (Tabelle 64) entsprechen teilweise einer durchgängigen ganzjährigen Belegung (Rinder, Zuchtsauen und

Ferkel, Pferde, Schafe, Ziegen), teilweise einer durchschnittlichen österreichischen Produktionsintensität (Mastschweine, Küken und Junghennen für Legezwecke bis ½ Jahr, Mastküken und Jungmasthühner sowie Voraufzuchtputen, Truthühner [Puten]).

Im Einzelfall kann die tatsächliche von der den Nährstoffanfallswerten unterstellten durchschnittlichen Produktionsintensität abweichen. Die korrekte Berechnung des Nährstoffanfalls erfolgt dann in der Art, dass der tatsächliche Tierbestand unter Einbeziehung der tatsächlichen Belegdauer in einem ersten Schritt in einen fiktiven Durchschnittstierbestand (ohne Leerstehzeiten) umgerechnet wird, aus dem im zweiten Schritt genau jener „nährstoffbestimmende“ Tierbestand berechnet wird, der den unterstellten Verhältnissen entspricht.

Der zweite Schritt ist innerhalb jeder Tierart einheitlich - die theoretischen Grundlagen dafür sind weiter unten nachzulesen - und in den vorhandenen EDV-Werkzeugen (z. B. „LK Düngerrechner“ u. a.) bereits integriert.

Die Hauptverantwortung einer/s jeden Betriebsführer/in mit Tierhaltung liegt somit darin, in Eigenverantwortung den Jahresdurchschnittsbestand nachvollziehbar zu ermitteln. Sind keine starken Abweichungen oder Veränderungen in der Tierhaltung vorgesehen oder absehbar, so kann für die Planung der Durchschnittsbestand anhand des vorherigen Tierproduktionsjahres als Berechnungsgrundlage verwendet werden. Für die Erfüllung der Dokumentationsverpflichtung gemäß Nitrat - Aktionsprogramm -Verordnung ist jedoch selbstverständlich der tatsächliche Durchschnittsbestand des zu dokumentierenden Jahres zu verwenden.

Im Folgenden werden Detailinformationen zu einzelnen Tierkategorien bezüglich der Angabe des Jahresdurchschnittsbestandes gegeben.

Diese Berechnungsempfehlungen wurden mit den branchenspezifischen Produktionsverbänden, den Landwirtschaftskammern, der AMA und dem BML abgestimmt.

6.6.2 Rinderproduktion

Im Internetportal der Agrarmarkt Austria kann unter eAMA der betriebsindividuelle GVE-Bestand und der betriebsindividuelle Durchschnittsbestand des letzten Kalenderjahres abgerufen werden.

Wenn in den Bereichen Kälberaufzucht, Schlachtkälber und Mastrinder keine eAMA-Daten verfügbar sind (z. B. bei Neueinstieg in eine dieser Produktionssparten), dann können für die Planung folgende Annahmen getroffen werden:

- Kälber und Jungrinder unter 1/2 Jahr - Schlachtkälber:

Unter der Annahme, dass diese Kälber (bis zu einem LG von ca. 110–130 kg) durchschnittlich 13 Wochen am Betrieb stehen, dann ist je 4 Kälbern 1 Platz als Durchschnitt anzugeben. Stehen Kälber nur 6 Wochen am Betrieb (z. B. Weiterverkauf an Stiermäster), so ist je 8 Kälbern 1 Platz als Durchschnitt anzugeben.

- Stiermast:

Hier sind folgende Annahmen realistisch: 20 % der Stallplätze in der Kategorie Kälber und Jungrinder < ½ Jahr; 40 % der Stallplätze in der Kategorie Jungvieh ½ bis 1 Jahr; 40 % der Stallplätze in der Kategorie Jungvieh 1 bis 2 Jahre.

Milchkühe - Einstufung in Milchleistungskategorien und Ermittlung der Milchleistung:

- Ermittlung der Milchleistung:

Die gesamte Kuhherde wird einem Leistungsbereich zugeordnet; dieser ist anhand des letzten Milchwirtschaftsjahres (1.4. bis 31.3.) folgendermaßen zu ermitteln:

- Durchschnittliche Milchleistung

=

$$\begin{aligned} & \text{An die Molkerei gelieferte Milch (nicht fettkorrigiert)} \\ & \quad + \text{direkt vermarktete Milch} \\ & \quad + \text{der dem jeweiligen Betrieb zugeordneten} \\ & \quad \text{auf der Alm durchschnittlich produzierte Milch} \\ & + 320 \text{ kg Milch pro Kuh für die verfütterte Milch inkl. Eigenverbrauch} \\ & \quad \underline{(400 \text{ kg pro Kalb bei einer Abkalbe Quote von } 0,8 \text{ Kälbern/Kuh)}} \\ & \quad \text{Anzahl der Kühe} \end{aligned}$$

Bei ausschließlicher Milchaustauscherfütterung oder einem Kälberverkauf innerhalb von 14 Tagen wird kein Zuschlag oder ein entsprechend reduzierter Zuschlag für verfütterte Milch

inkl. Eigenverbrauch gerechnet. Mit dem sich daraus ergebenden Herdendurchschnitt erfolgt eine Einstufung im laufenden Jahr. Damit kann eine Gleichbehandlung aller Milchbetriebe - ob Leistungskontrolle oder nicht - gewährleistet werden.

- Die Einstufung in die laut Nitrat - Aktionsprogramm - Verordnung vorgegebenen Leistungskategorien folgt den Regeln der mathematischen Rundung:

Eine Kategorie mit (x.000) kg reicht also von $(x - 0,5) \times 1.000$ bis $(x + 0,499) \times 1.000$, die 7.000er Kategorie also von 6.500 bis 7.499 kg

Als Alternative kann auch der Jahresabschluss der Milchleistungskontrolle verwendet werden.

6.6.3 Schweineproduktion

Bei allen Tierkategorien wird das Fütterungssystem mit dem Rohproteingehalt im Futter definiert. Die N-reduzierte Fütterung kann grundsätzlich über Phasenfütterung oder einphasige Fütterung erfolgen.

Die Rohproteingrenzen orientieren sich an den Beispielsrationen der verschiedenen Tierkategorien.

Mastschweine und Jungsauen

Der Jahresdurchschnittsbestand widerspiegelt einen Leistungsbezug, da Betriebe mit höheren Tageszunahmen automatisch auch einen höheren Jahresdurchschnittsbestand haben. Nähere Details siehe unten: „Ergänzungen zur Ermittlung der Durchschnittstierliste bei Mastschweinen, Jungsauen und Geflügel“.

Die N-Anfallswerte wurden bei den Mastschweinen und Jungsauen auf eine durchschnittliche Belegung von 290 Masttagen je Platz (entsprechend 2,52 Umtrieben zu je 115 Halte-tagen je Umtrieb) berechnet. Daher ist der oben ermittelte Jahresdurchschnittsbestand mit dem Faktor 1,26 (= 365 durch 290) zu korrigieren, um den nährstoffbestimmenden Tierbestand zu erhalten.

Tabelle 89: Rohproteingrenzen bei Mastschweinen und Jungsauen

N-reduzierte Fütterung	
Gewichtsbereich	Rohproteingehalte je 88 % TM
32 kg bis 70 kg	170 g
70 kg bis Mastende	155 g
32 kg bis Mastende	161 g
stark N-reduzierte Fütterung	
Gewichtsbereich:	
32 kg bis 60 kg	170 g
60 kg bis 90 kg	155 g
90 kg bis Mastende	150 g
32 kg bis Mastende	157 g

Zuchtsauen inkl. Ferkel zwischen 8 und 32 kg Lebendgewicht

- Ferkelaufzuchtbetriebe und Babyferkelproduzenten: Werden bei einem Zuchtsauen Betrieb die Ferkel bereits ab einem Lebendgewicht von ca. 8 kg an einen Ferkelaufzucht- betrieb abgegeben, so sind die in der Tabelle stehenden Werte ohne weiteren Bezug zu verwenden. Die jeweils im Jahresdurchschnitt belegten Zuchtsauen- und Ferkelaufzuchtplätze sind für die Berechnung heranzuziehen.
- Zuchtsauen Betriebe mit Ferkel bis 32 kg Lebendgewicht: Die N-Anfallswerte entsprechen in der Kategorie Ferkel zwischen 8 und 32 kg Lebendgewicht einer Leistung von 18 aufgezogenen/verkauften Ferkeln je Zuchtsau und Jahr. Da unterschiedliche Leistungen an aufgezogenen/verkauften Ferkeln je Zuchtsau und Jahr in der Praxis vorkommen, ist für die Angabe der Durchschnittstierliste folgender Leistungsbezug bezogen auf die Zuchtsauen für Angabe der durchschnittlichen Ferkelanzahl in der Kategorie 8 bis 32 kg Lebendgewicht je Zuchtsau herzustellen:

Liegen die durchschnittlich aufgezogenen/verkauften Ferkel je Zuchtsau und Jahr unter 18, dann gilt: Anzahl der Ferkelplätze = 2,6 x Anzahl der Zuchtsauen.

Liegen die durchschnittlich aufgezogenen/verkauften Ferkel je Zuchtsau und Jahr zwischen 18 und 20, ist der Faktor 2,9 anzuwenden.

Liegen die durchschnittlich aufgezogenen/verkauften Ferkel je Zuchtsau und Jahr über 20, ist der Faktor 3,2 anzuwenden.

Beispiel: 100 Zuchtsauen, Ø 21 Ferkel je Zuchtsau: hier sind 320 Ferkelplätze (= 100 Zuchtsauen x Faktor 3,2) als Durchschnittsbestand in der Kategorie 8 bis 32 kg Lebendgewicht anzunehmen.

Geschlossene Betriebe (Zucht und Mast): Bei den geschlossenen Betrieben sind für die Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestands zu beachten, wobei als Ausgangspunkt für die Berechnungen ebenfalls die Anzahl der Zuchtsauen unter Berücksichtigung der Anzahl der abgesetzten Ferkel herangezogen werden kann.

Tabelle 90: Rohproteingrenzen bei Zuchtsauen (inkl. Ferkel bis 8 kg Lebendgewicht), Ferkeln und Ebern

Rohproteingehalte je 88 % TM	
Zuchtsauen tragend	130 g
Zuchtsauen säugend	165 g
Zucht universal	150 g
Ferkel zwischen 8 und 32 kg	170 g
Eber (N-reduzierte Fütterung)	170 g

Hinweis: Der schlüssige Nachweis der N-reduzierten Fütterung/Phasenfütterung erfolgt über Rezepturen, bei welchen der Rohproteingehalt je kg FM (88 % TM) ausgewiesen ist (z. B. Ausdruck Fütterungscomputer, Berechnung Futtermittelfirma oder Officialberatung). Generell und insbesondere bei einer allfälligen Vor-Ort-Kontrolle muss plausibel gemacht werden können, dass eine Phasenfütterung überhaupt möglich ist und durchgeführt wird z. B. Beschriftung von Silos, entsprechende Fütterungstechnik.

Nachweis der Einhaltung der P-reduzierten Fütterung

Fütterung mit Einsatz von Phytase

Enthält das Futter das Enzym Phytase, so ist kein weiterer Nachweis zu erbringen. Als Nachweis dienen die Rechnung und die Produktbeschreibung des eingesetzten Mineralfutters.

Erklärung: Die Auswertung von ca. 500 Mineralfuttersorten für Schweine die in Österreich eingesetzt werden, ergibt, dass Mineralfutter ohne Phytase im Durchschnitt 5,8 % Phos-

phor enthalten und Mineralfutter mit Phytase im Durchschnitt 3,4 % Phytase. Mineralfuttersorten mit Phytase enthalten also rund 40 % weniger Phosphor. Bei 3 %igem Einsatz des Mineralfutters ergeben sich Differenzen je kg Futter mit 88 % TM von 0,8 g P. Dies entspricht dem Rechenansatz.

Fütterung ohne Einsatz von Phytase

Wird keine Phytase eingesetzt, so dürfen die P-Gehalte der Futterrationen jene Gehalte die bei der Berechnung unterstellt wurden, nicht überschreiten. Als Nachweis dienen Rezepturen bei welchen der Phosphorgehalt je kg FM (88 % TM) ausgewiesen ist.

Die Modellrationen beziehen sich auf Universalfutter. Bei Phasenfütterung muss der durchschnittliche P-Gehalt je Tierkategorie ermittelt werden. Dazu dienen die in Tabelle 91 beschriebenen Aufteilungsschlüssel.

Tabelle 91: P-Obergrenzen ohne Einsatz von Phytase

Tierkategorie	max. Phosphorgehalt je 88 % TM
Mastschweine und Jungsauen ab 32 kg (Universalfutter)	4,4 g
32–70 kg = 40 % Futter; 70–120 kg = 60 % Futter	
Zuchtsauen Universal	5,0 g
Trächtigkeitsfutter = 60 % Futter; Säugezeitfutter = 40 % Futter	
Ferkel 8–32 kg	5,2 g
8–20 kg = 40 % Futter; 20–32 kg = 60 % Futter	
Eber	5,3 g

6.6.4 Geflügelproduktion

Tabelle 92: Übersicht zur Ermittlung der Faktoren zur Ermittlung der N-Anfallswerte für Geflügel

Kategorie	Haltetage Umtrieb	Umtriebe /Jahr	Belegtage /Platz und Jahr	Faktor
Küken und Junghennen für Legezwecke bis 1/2 Jahr	130	2	260	1,4
Junghennenaufzucht, Bruderhahn	42	5	210	1,7
Legehennen, Hähne	Jahresbestand (eine durchschnittliche Leerstehzeit von 14 Tagen ist im Tabellenwert bereits berücksichtigt)			Kein Faktor
Mastküken und Jungmasthühner, Voraufzuchtputen	40	7	280	1,3
Truthühner (Puten)	150	2	300	1,2
Zwerghühner, Wachteln, Enten, Gänse	Der N-Anfallswert bezieht sich auf eine ganzjährige Belegung; werden diese Geflügelarten weniger als 365 Tage gehalten, so ist dies im Durchschnittsbestand zu berücksichtigen			Kein Faktor

Nach Haltetagen und Umtrieben kann eine betriebsspezifische Einstufung vorgenommen werden.

Nähere Details siehe Kapitel 6.8: „Ergänzungen zur Ermittlung der Durchschnittstierliste bei Mastschweinen, Jungsaunen und Geflügel“.

6.6.5 Schaf- und Ziegenproduktion

Lämmer/Ziegen bis ½ Jahr

Der N-Anfallswert laut Tabelle 93 entspricht einem ganzjährig belegten Platz. Für die Angabe in der Durchschnittstierliste in dieser Kategorie stellt die Haltedauer der Lämmer und die Anzahl der aufgezogenen Lämmer je Mutterschaf und Jahr die Ausgangsbasis zur Berechnung der durchschnittlich ganzjährig belegten Aufzuchtplätze je Muttertier dar.

Tabelle 93: Faktoren zur Ermittlung der N-Anfallswerte für Lämmer

Mastdauer	aufgezogene Lämmer je Mutterschaf und Jahr				
Monate	1	1,5	2	2,5	3
3	0,23	0,34	0,45	0,57	0,68
4	0,3	0,45	0,61	0,75	0,91
5	0,38	0,57	0,75	0,94	1,13
6	0,45	0,68	0,91	1,13	1,36

Beispiel: Betrieb mit 50 Mutterschafen; Ø 2,0 aufgezogene Lämmer je Mutterschaf und Jahr; durchschnittliche Haltedauer der Lämmer 5 Monate:

In der Kategorie Lämmer bis ½ Jahr entspricht dies einer durchschnittlichen Jahresbelegung von 37,5 Lämmern (= 50 Mutterschafe x 0,75)

Schafe/Ziegen ab ½ Jahr bis 1,5 Jahr

In dieser Kategorie sind die für die Nachzucht vorgesehenen Jungschafe anzugeben. Im Normalfall beträgt die Anzahl in dieser Kategorie 15–25 % der Mutterschafe.

6.7 Ergänzungen zur Ermittlung der Durchschnittstierliste bei Mastschweinen, Jungsauen und Geflügel

6.7.1 Mastschweine und Jungsauen

Die Basis für die korrekte Berechnung des Nährstoffanfalls bildet der durchschnittliche Bestand über das zu dokumentierende Jahr. Dieser Jahresdurchschnittsbestand ist ein berechneter, theoretischer Wert. Er sagt aus, wie viele Standplätze dauerhaft - das heißt ohne Leerstehzeit - durch die tatsächlich gehaltenen Tiere belegt worden wären.

Wie schon oben erwähnt, ist dem Nährstoffanfall jedoch eine jährliche Haltedauer von 290 Tagen unterstellt, weshalb erst die Multiplikation des Jahresdurchschnittsbestands mit dem Faktor 1,26 die „Nährstoff bestimmenden Mastplätze“ ergibt, welche für die Ermittlung des N-Anfalls aus der Tierhaltung herangezogen werden.

6.7.2 Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestandes

Zur Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestandes ist das Bestandsregister heranzuziehen. Jeder schweinehaltende Betrieb ist laut Tierkennzeichnungsverordnung verpflichtet, ein Bestandes Register zu führen. Es besteht die Möglichkeit, eigene schriftliche Aufzeichnungen über Zu- und Abgänge zu führen, oder bei einem eigenen PC mit Internetzugang die Einträge in der Zentralen Schweinedatenbank dafür zu nutzen. Für den Zugang zu dieser Datenbank ist ein PIN-Code bei der Statistik Österreich unter www.ovis.at („Benutzerregistrierung“) zu beantragen.

Ein spezialisierter Schweinemäster kann sich den gesamten Tierverkehr über diesen Online-Zugang ausdrucken. Außerordentliche Todesfälle (Verendungen) sind in dieser Datenbank nicht enthalten, sie können jedoch über die Belege der TKV (Aufbewahrungspflicht) schlüssig nachvollzogen werden.

Beim geschlossenen Zucht- und Mastbetrieb geht die Einstellung der Ferkel in die Mast aus der Schweinedatenbank nicht hervor. Hier sind entsprechende eigene Aufzeichnungen unerlässlich.

Vorgangsweise:

Als Hilfestellung für die Ermittlung des Tierbestandes kann entweder ein Formular in Schriftform ausgefüllt, oder das Tabellenblatt „Schw. Geflügel“ des LK-Düngerrechners verwendet werden.

- Ermittlung des Tierbestandes am 1. Jänner durch Zählen
- Alle Zu- und Abgänge (auch Verendungen) sind aufzuzeichnen.

Bei Verwendung des Formblattes zur schriftlichen Aufzeichnung ist der Tierbestand jede Woche aufzuzeichnen (siehe Beispiel 1). Zur Kontrolle der richtigen Erfassung der Zu- und Abgänge soll der Bestand immer am selben Wochentag (z. B. Montag früh) gezählt werden.

Eine zweite Möglichkeit zur Berechnung des Durchschnittbestands auf der Basis einer tagaktuellen Eintragung von Bestandsänderungen bietet z. B. das Tabellenblatt „Schw. Geflügel“ des LK-Düngerrechners. Hier brauchen nur die Änderungen mit dem entsprechenden Datum eingetragen werden, der Durchschnittsbestand wird mit jeder Änderung automatisch neu berechnet.

- Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestandes

Bei der elektronischen Form ist der aktuelle Durchschnittstierbestand jederzeit ablesbar. Bei der Schriftform müssen die gezählten Tierbestände aller 52 Wochen aufsummiert und anschließend durch 52 dividiert werden.

Beispiel 1: Wochenweise Aufzeichnungen in Schriftform

Anfangsbestand 1 Jänner				100
Woche	Zugang (Zukauf, Überstellung von Ferkelaufzucht in die Mast)	Abgang Verkauf	Verendung	Aktueller Bestand
1				100
2				100
3				100
4				100
5			1	99
6				99
7				99
8		25		74
9				74
10		50		24
11				24
12				24
13		24		0
14	100			100
15				100
16				100
17				100
18				100
19				100

Anfangsbestand 1 Jänner				100
Woche	Zugang (Zukauf, Überstellung von Ferkelaufzucht in die Mast)	Abgang Verkauf	Verendung	Aktueller Bestand
20			1	99
21				99
22				99
23				99
24				99
25				99
26				99
27				99
28		25		74
29				74
30				74
31		49		25
32				25
33		25		0
34				0
35	100			100
36				100
37				100
38				100
39				100
40			1	99
41				99
42				99
43				99
44				99
45				99

Anfangsbestand 1 Jänner				100
Woche	Zugang (Zukauf, Überstellung von Ferkelaufzucht in die Mast)	Abgang Verkauf	Verendung	Aktueller Bestand
46				99
47				99
48				99
49		25		74
50				74
51		50		24
52				24
SUMME	200	273	3	4168
Durchschnittsbestand = $4168/52 = 80.2$				

Beispiel 2: Tageweise Aufzeichnung mit Hilfe des Tabellenblatts „Schw. Geflügel“ im LK-Düngerrechner

Durchschnittstierbestand für Schweine und Geflügel ab (Datum)			1.1.2025
Durchschnittlicher Tierbestand			79,9
Nährstoffbestimmender Tierbestand			
Mastschweine			100,7
Bestandsveränderungen			
Datum	Zugang	Abgang	Aktueller Bestand
01.01.2015	Anfangsbestand		100
28.01.2015		1	99
18.02.2015		25	74
05.03.2015		50	24
23.03.2015		24	
03.04.2015	100		100
11.05.2015		1	99

Durchschnittstierbestand für Schweine und Geflügel ab (Datum)			1.1.2025
08.07.2015		25	74
28.07.2015		49	25
11.08.2015		25	
24.08.2015	100		100
02.10.2015		1	99
04.12.2015		25	74
16.12.2015		50	
31.12.2015	200	276	24

6.8 Herstellung einer schlüssigen Beziehung zu den N-Anfallswerten

Die Durchschnittstierliste spiegelt eine fiktive Situation wider, die davon ausgeht, dass jeder der berechneten Plätze täglich belegt ist. In den Tabellen der vorliegenden Richtlinie sind für die Darstellung der Nährstoffanfallswerte je Platz und Jahr allerdings etwas praxisnähere Annahmen getroffen worden, die für die Schweinemast wie folgt definiert sind:

- 728 g Tageszunahmen
- durchschnittlich 84 kg Aufmast
- daraus resultierend: 115 durchschnittliche Aufmasttage pro Umtrieb (mit einer Spanne von 93 bis 137 Tagen)
- 12 Tage Leerstehzeit zwischen restlosem Ausstallen einer Bucht und Wiederbelegung
- daraus resultierend: 145 Tage pro Umtrieb
- $365/145 = 2,52$ Umtriebe pro Jahr

Erklärung zum Faktor 1,26:

2,52 Umtriebe mit durchschnittlich je 115 Aufmasttagen je Umtrieb ergeben 290 Masttage pro Jahr, die restliche Zeit steht der Stall leer. Die Nährstoffanfalls-Tabellenwerte beziehen sich genau auf diese Situation.

Der - wie oben gezeigt - berechnete Durchschnittsbestand enthält hingegen keine Leerstehzeiten. Auf einem Mastplatz, der jedoch 365 Tage im Jahr belegt ist, fällt jedoch eine

höhere Nährstoffmenge an als auf einem Platz, der nur 290 Tage belegt ist, und zwar um das $365/290 = 1,26$ -fache.

Der im Bereich der Schweinemast ermittelte Durchschnittstierbestand ist mit dem Faktor 1,26 zu multiplizieren, um den „nährstoffbestimmenden Tierbestand“ zu erhalten.

6.9 Ermittlung des Jahresdurchschnittsbestands für Schweinemastbetriebe mit vorgeschalteter Ferkelaufzucht

Für die Ermittlung des N- Anfalls muss eine Zuordnung des Tierbestandes in die Tierkategorien Ferkel (8–32 kg) und Schweinemast (32–116 kg) erfolgen, da für diese Kategorien N-Anfallswerte ausgewiesen sind.

Es gibt grundsätzlich 2 Möglichkeiten die Jahresdurchschnittsbestände beider Tierkategorien zu erfassen.

6.9.1 Führung von 2 Formblättern getrennt nach beiden Tierkategorien

Der Betrieb führt jeweils ein Formblatt mit allen Zu- und Abgängen von Tieren im Gewichtsbereich von 8 bis 32 kg und im Gewichtsbereich von 32 bis 116 kg.

Es ergeben sich zwei Durchschnittsbestände. Dieses System ist auf jeden Fall dann anzuwenden, wenn nicht alle aufgezogenen Ferkel am eigenen Betrieb weitergemästet werden.

6.9.2 Führung eines Formblattes für beide Tierkategorien (8–116 kg) mit anschließender prozentueller Aufteilung

Dieses System ist nur für jene Betriebe geeignet, die alle aufgezogenen Ferkel am eigenen Betrieb weitermästen. In diesem Fall führt der Betrieb ein Aufzeichnungsformular für den gesamten Gewichtsbereich von 8–116 kg. Der sich daraus ergebende Tierbestand wird anschließend prozentuell aufgeteilt.

Tabelle 94: Aufteilungsschlüssel in Ferkelaufzucht und Mast

	Ferkelaufzucht	Schweinemast
Gewichtsbereich	8 kg bis 32 kg	32 kg bis 116 kg
tägliche Zunahmen in g	430	730
Aufmasttage	56	115
Aufteilung in %	33 %	67 %

Die Aufteilung des gesamten Durchschnittstierbestandes erfolgt also in der Art, dass ein Drittel (33,3 %) des Bestandes der Ferkelaufzucht (8 bis 32 kg) und zwei Drittel (66,7 %) des Tierbestandes der Mast (32 bis 116 kg) zugerechnet werden.

Beispiel: Betrieb mit Güllesystem und „Standard-Fütterung“ ermittelt einen Durchschnittstierbestand im Gewichtsbereich von 8 - 116 kg von 600 Stück.

1/3 davon werden der Kategorie Ferkel (8 bis 32 kg) zugeordnet, das sind 200 Stück; der Rest fällt auf die Schweinemast (32 bis 116 kg), das sind 400 Stück.

Tabelle 95: Berechnung der N-Ausscheidung laut Beispiel

Tierkategorie	Durchschnittstierbestand	N Anfall je Tier	N Anfall gesamt
Ferkel (8–32 kg)	200 (33,3 % von 600)	x 2,5	500 kg
Mast (32–116 kg)	400 (66,7 % von 600)	x 7,5	3.780 kg
Gesamt	600		4.280 kg

Bei diesem Beispielsbetrieb fallen 4.280 kg N_{aL} aus der Tierhaltung an.

6.9.3 Geflügel

Es wird empfohlen, in Anlehnung an die Ermittlung der Durchschnittstierliste bei Mastschweinen dies auch bei den Puten (Faktor 1,2), Küken und Junghennen für Lege Zwecke bis ½ Jahr (Faktor 1,4), Mastküken und Jungmasthühnern sowie Voraufzuchtputen (Faktor 1,3)

durchzuführen. Da in der Geflügelhaltung die Haltedauer exakt vorhanden ist, kann die Berechnung vereinfacht über verkaufte Stück und Haltetage erfolgen. Zur Dokumentation wird empfohlen, Verkaufsbelege zu verwenden.

Beispiel: 40.000 Stück Masthühner - 3 Verkaufstermine je Umtrieb:

1. Teilverkauf: 10.000 Stück nach 29 Haltetagen
2. Teilverkauf: 20.000 Stück nach 32 Haltetagen
3. Teilverkauf: 10.000 Stück nach 36 Haltetagen

Daraus errechnet sich eine durchschnittliche Haltedauer von $(29 + 2 \cdot 33 + 37) / 4 = 32,3$ Tagen für 40.000 verkaufte Masthühner.

Diese Vorgangsweise ist bei jedem Umtrieb bezüglich der Haltedauer und der produzierten Anzahl an Masthühnern durchzuführen.

So ermittelt zum Beispiel ein Betrieb 7 Umtriebe mit einer durchschnittlichen Haltedauer von 33 Tagen und durchschnittlich 40.000 verkauften Masthühnern (arithmetisches Mittel von 7 Umtrieben).

Berechnung: 7,0 Umtriebe x 33 durchschnittlichen Masttagen = 231 Haltetage

$40.000 \times 231 / 365 = 25.315$ durchschnittlich gehaltene Masthühner (Eintrag in die Tierliste).

$25.315 \times 1,3$ (Korrekturfaktor) = 32.910 nährstoffbestimmende Anzahl an Masthühnern.

$32.910 \times 0,17$ kg N ab Lager = 5.594,7 kg N_{al}.

Erklärung zum Faktor 1,3:

In der Nährstoffanfallstabelle ist der N-Anfallswert von 0,17 kg N ab Lager je Platz für eine 7-fache Belegung zu je 40 Tagen, das heißt, in Summe des Jahres für eine Belegdauer von 280 Tagen definiert.

Der Korrekturfaktor ergibt sich aus der Relation der dem Nährstoffanfallswert unterstellten Belegdauer (280 Tage) zur fiktiven Belegdauer der Durchschnittstierliste (365 Tage):
 $365/280 = 1,3$

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtige Bodenuntersuchungsparameter und -verfahren	22
Tabelle 2: Einstufung der Bodenschwere nach dem Tongehalt oder der Bodenart.....	26
Tabelle 3: Kriterien der Fingerprobe	26
Tabelle 4: Einstufung des Humusgehaltes im Acker- und Grünland für Mineralböden	27
Tabelle 5: Gegenüberstellung von Bodenschwere und anzustrebendem Humusgehalt für ackerbaulich genutzte Flächen.....	28
Tabelle 6: Bewertung des Carbonatgehaltes nach Scheibler für Acker- und Grünland.....	30
Tabelle 7: Einstufung der Bodenreaktion.....	31
Tabelle 8: Anzustrebende pH-Werte in Abhängigkeit von Bodenschwere, Nutzungsart und Kultur	32
Tabelle 9: Gründigkeit	32
Tabelle 10: Wasserverhältnisse.....	32
Tabelle 11: Grobanteil	33
Tabelle 12: Kriterien zur Beurteilung der Spatenprobe:	35
Tabelle 13: Einstufung des Stickstoffmineralisierungspotenzials durch die anaerobe Mineralisierung, Mineralisierungspotenzial nach EUF N _{org} und Humusgehalt.....	38
Tabelle 14: Einstufung der Phosphorgehalte	39
Tabelle 15: Mindestgehalte an wasserlöslichem Phosphor für Wertebereiche innerhalb der Gehaltsklasse D.....	40
Tabelle 16: Einstufung der Kaliumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere.....	40
Tabelle 17: Einstufung der Magnesiumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere	42
Tabelle 18: KAK _{eff} Werte für die Mg-Gehaltsklassen	48
Tabelle 19: Einstufung der Gehalte an Spurenelementen	50
Tabelle 20: Richtwerte zur Einstufung des Stickstoffnachlieferungspotenzials	52
Tabelle 21: Einstufung der EUF - Phosphorgehalte.....	53
Tabelle 22: Einstufung der EUF - Kaliumgehalte	54
Tabelle 23: Ableitung der Bodenreaktion aus dem CaGehalt der 2. EUF - Fraktion.....	54
Tabelle 24: Einstufung der EUF-Magnesiumgehalte	55
Tabelle 25: Einstufung der EUF - Bor- und Spurenelementgehalte	56
Tabelle 26: Einschätzung der Ertragslage von Ackerkulturen in t/ha	59
Tabelle 27: Einschätzung der Ertragslage von Ackerkulturen (Fütterung) in m ³ /ha auf Basis von Hektoliter Gewichten	61
Tabelle 28: Brutto-Ertragsschätzung von Grünland	64

Tabelle 29: Berechnungsbeispiele für die TM-Erträge basierend auf der Regressionsgleichung	65
Tabelle 30: Einschätzung der Ertragslage der einzelnen Nutzungsformen im Wirtschaftsgrünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung auf Basis des durchschnittlichen Ertrages (Bruttoerträge vor Abzug von Feld-, Werbe-, Ernte- und Konservierungsverlusten).....	67
Tabelle 31: Empfehlungsgrundlage für die Stickstoffdüngung in kg N/ha bei mittlerer Ertragserwartung.....	69
Tabelle 32: Berechnung des Stickstoffeintrages durch das Beregnungswasser in Abhängigkeit vom Nitratgehalt	72
Tabelle 33: Zu- und Abschläge bei der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit von den Standortfaktoren, Angaben in % vom Wert der Empfehlungsgrundlage für mittlere Ertragserwartung.....	73
Tabelle 34: Empfehlung für die mineralische Stickstoffergänzungsdüngung (kg N/ha) nach dem $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens für Winterweizen hoher Ertragslagen (die jeweilige Ertragserwartung ist in den angegebenen Spannenbreiten berücksichtigt)	76
Tabelle 35: Empfehlung für die mineralische Stickstoffergänzungsdüngung (kg/ha N) nach dem $N_{\min}$ - Gehalt des Bodens für Futterwintergerste und Triticale mittlerer und hoher Ertragslagen (die jeweilige Ertragserwartung ist in den angegebenen Spannenbreiten berücksichtigt)	76
Tabelle 36: Empfehlung für die mineralische Stickstoffergänzungsdüngung (kg/ha N) nach dem $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens für Winterroggen (die jeweilige Ertragserwartung ist in den angegeben Spannenbreiten berücksichtigt)	77
Tabelle 37: Empfehlung für eine Stickstoffergänzungsdüngung zu Mais bei Vorliegen eines $N_{\min}$ - Bodenuntersuchungsergebnisses (in kg /ha von 0–90 cm; Probenahme im 2–6 Blatt -Stadium), hohe Ertragserwartung.....	78
Tabelle 38: Handsensoren zur Beschreibung des Pflanzenbestandes	80
Tabelle 39: Sensoren für Traktoren zur Beschreibung des Pflanzenbestandes.....	81
Tabelle 40: Empfehlungsgrundlage für die Stickstoffdüngung in kg/ha und Jahr im Grünland, Feldfutterbau und in der Sämereien Vermehrung	86
Tabelle 41: Empfehlungsgrundlage für die maximale ergänzende Stickstoffdüngung in kg/ha und Jahr auf Dauerweiden	87
Tabelle 42: Richtwerte für die Düngung mit Phosphor und Kalium bei Gehaltsklasse C (Angaben in kg/ P_2O_5 bzw. K_2O /ha und Jahr)	89
Tabelle 43: Korrekturfaktoren für den Wert aus Tabelle 41 in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse für Ackerkulturen	90

Tabelle 44: Anpassung der Phosphor- und Kaliumdüngung an die Standortseigenschaften (gilt ausschließlich für Böden mit einer Nährstoffversorgung der Gehaltsklasse C)	92
Tabelle 45: Empfehlungen für die Düngung des Grünlandes mit Phosphor und Kalium bei einer Nährstoffversorgung der Gehaltsklasse C im Boden (Angaben in kg P ₂ O ₅ und K ₂ O pro ha und Jahr)	93
Tabelle 46: Empfehlungsgrundlage für die ergänzende Phosphor- und Kaliumdüngung in kg/ha und Jahr auf Dauerweiden.	94
Tabelle 47: Zuschlagsfaktoren für die Werte aus Tabelle 44 in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse für Grünland	94
Tabelle 48: Empfehlung für die Magnesiumdüngung (kg MgO/ha und Jahr).....	96
Tabelle 49: Korrespondierende pH -Werte gemäß ÖNORM L 1083 (CaCl ₂) und in 0,5M Ca-Acetat-Lösung; die Angaben basieren auf langjährigen Untersuchungsergebnissen, im Einzelfall sind Abweichungen möglich	97
Tabelle 50: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl ₂) und pH-Ac: Schwere Ackerböden, Ziel - pH 6,5.....	98
Tabelle 51: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl ₂) und pH-Ac: Mittlere Acker- und schwere Grünlandstandorte, Ziel - pH 6,0	98
Tabelle 52: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl ₂) und pH-Ac: leichte Acker- und mittlere Grünlandstandorte, Ziel - pH 5,5.....	99
Tabelle 53: Kalkbedarf in Abhängigkeit von pH (CaCl ₂) und pH-Ac: leichte Ackerböden mit wenig kalkbedürftigen Kulturen und leichte Grünlandstandorte, Ziel - pH 5,0.....	99
Tabelle 54: Kalkbedarf von Acker- und Grünland in Abhängigkeit von Bodenschwere und pH-Wert im Zeitraum von 4–6 Jahren.....	100
Tabelle 55: Umrechnung des Kalkbedarfs in t CaO/ha auf die erforderliche Menge häufig verwendeter Kalkdünger	100
Tabelle 56: Schwefeldüngung im Ackerbau und Grünland	103
Tabelle 57: Spurennährstoffbedarf wichtiger Ackerkulturen (modifiziert nach Kerschberger und Marks, 2000)	104
Tabelle 58: Empfohlene Bor - Bodendüngung (kg Bor/ha alle 35 Jahre) in Abhängigkeit vom Borgehalt des Bodens.....	108
Tabelle 59: Empfohlene Cu-Düngung (kg Cu/ha alle 3–5 Jahre) in Abhängigkeit vom Cu-Gehalt des Bodens.....	109
Tabelle 60: Empfohlene Zinkdüngung (kg Zn/ha alle 3–5 Jahre) in Abhängigkeit vom Zn-Gehalt des Bodens.....	110
Tabelle 61: Empfohlene Mangandüngung (kg Mn/ha alle 3–5 Jahre) in Abhängigkeit vom Mn-Gehalt des Bodens	111
Tabelle 62: Durchschnittliche Raumgewichte von Wirtschaftsdüngern und Komposten .	117

Tabelle 63: Kalkulatorische N-Verluste im Stall, am Lager und bei der Ausbringung (in %)	118
Tabelle 64: Jährlicher Stickstoffanfall aus der Tierhaltung je Stallplatz nach Abzug der Stall- und Lagerverluste in kg (N_{aL})	119
Tabelle 65: Jährlicher Stickstoffanfall aus der Tierhaltung je Stallplatz nach Abzug der Stall-, Lager- und Ausbringungsverluste in kg feldfallender Stickstoff (N_{ff})	123
Tabelle 66: Relativer Anteil von NH_4 -N und organisch gebundenem N in unterschiedlichen Wirtschaftsdüngern	127
Tabelle 67: Jahreswirksamkeit des Wirtschaftsdüngerstickstoffs in % bezogen auf die feldfallenden Stickstoffmengen für Acker- und Grünland	127
Tabelle 68: Beispiel für die Berechnung des jahreswirksamen Stickstoffanfalls (N_{jw}): Milchkuh (Milchleistung: 6.000 kg pro Jahr; Gülle)	128
Tabelle 69: Beurteilung der Wirksamkeit von organisch gebundenem Stickstoff unterschiedlicher Stickstoffquellen	128
Tabelle 70: Anfallsmengen an P_2O_5 und K_2O aus der Tierhaltung (in kg je Stallplatz und Jahr)	130
Tabelle 71: Wirtschaftsdüngeranfallsmengen für 6 Monate je Stallplatz in m^3 bei verschiedenen Entmistungssystemen	134
Tabelle 72: Raumgewicht von Wirtschaftsdüngern und Komposten	136
Tabelle 73: Bewertung der Ernterückstände, der Zwischenbegrünung und der Vorfruchtwirkung für die unmittelbare Folgekultur - Stickstoff (GB ... Grünbrache)	137
Tabelle 74: Bewertung der Ernterückstände und Vorfruchtwirkung - Phosphor und Kalium	139
Tabelle 75: Ermittlung der Einstufung - Ertrag und Standortfaktoren	142
Tabelle 76: Ermittlung der Einstufung - Nährstoffversorgung	143
Tabelle 77: Erhebung des Nährstoffbedarfes im Ackerland für N, P_2O_5 und K_2O in kg/ha	143
Tabelle 78: Ermittlung der Einstufung - Ertrag und Nährstoffversorgung	144
Tabelle 79: Erhebung des Nährstoffbedarfes im Wirtschaftsgrünland und Feldfutterbau für N, P_2O_5 und K_2O in kg/ha	145
Tabelle 80: Ermittlung des Durchschnittstierbestandes (wochenweise Aufzeichnungen)	146
Tabelle 81: Ermittlung und Bewertung des NPK-Nährstoffanfalles aus der Tierhaltung	147
Tabelle 82: Düngerverteilung Wirtschaftsdünger und Mineraldünger am Betrieb	148
Tabelle 83: Bandbreiten des Kalkbedarfs	151
Tabelle 84: Kalkentzug durch die Ernte	151
Tabelle 85: Umrechnungsfaktoren zur Angabe der Nährstoffgehalte	154
Tabelle 86: Entzugswerte der wichtigsten Ackerkulturen (kg N pro t Erntegut)	158

Tabelle 87: Stickstoffentzüge je Tonne Weizen bei unterschiedlichen Rohproteingehalten und Feuchtigkeiten.....	160
Tabelle 88: Stickstoffentzüge je Tonne Braugerste bei unterschiedlichen Rohproteingehalten und Feuchtigkeiten	161
Tabelle 89: Rohproteingrenzen bei Mastschweinen und Jungsauen	166
Tabelle 90: Rohproteingrenzen bei Zuchtsauen (inkl. Ferkel bis 8 kg Lebendgewicht), Ferkeln und Ebern	167
Tabelle 91: P-Obergrenzen ohne Einsatz von Phytase.....	168
Tabelle 92: Übersicht zur Ermittlung der Faktoren zur Ermittlung der N-Anfallswerte für Geflügel	169
Tabelle 93: Faktoren zur Ermittlung der N-Anfallswerte für Lämmer	170
Tabelle 94: Aufteilungsschlüssel in Ferkelaufzucht und Mast	177
Tabelle 95: Berechnung der N-Ausscheidung laut Beispiel.....	177

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele für die mögliche Verteilung von Probenahmestellen	17
Abbildung 2: Schlagbohrer; Schüsserlbohrer zur Beprobung von Grünlandflächen	18
Abbildung 3: Beispiel für eine Zonierung und für eine Planung der GPS-gestützten Bodenprobenahme.....	19
Abbildung 4: Orientierungsbereiche für Humusgehalte in Abhängigkeit von der Bodenschwere sandiger und lehmiger, grundwasserferner Ackerböden (nach Körschens, mod.)	29
Abbildung 5: Zerfallsbonitur des Aggregatstabilitätstests Beispiel: lehmige Böden (BESTE 2003).....	36
Abbildung 6: pH-Wert und effektive KAK von leichten (Ton < 15 %, Humus < 2,5 %: rote Linie), mittleren (Ton 15–25 %, Humus 2,5–3,75 %: gelbe Linie) und schweren Böden (Ton > 25 %, Humus 2,5–6,5 %: grüne Linie)	44
Abbildung 7: pH-Wert und Basensättigung in % bezogen auf KAK_{eff}	45
Abbildung 8: pH-Wert und Aluminium- und Mangananteil bezogen auf KAK_{eff}	45
Abbildung 9: pH-Wert und Calciumanteil bezogen auf KAK_{eff} und errechnete KAK_{pot} (über 1.000 Daten von Ackerproben aus OÖ., NÖ. und Burgenland)	47
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen austauschbarem Kalium und Magnesium (KAK_{eff}) und dem „pflanzenverfügbaren“ Kalium (K-CAL) und Magnesium (in $CaCl_2$): 63 Datensätze aus ALVA-Ringversuchen aus den Jahren 2000–2020 (je 3 Proben pro Jahr).....	48
Abbildung 11: Gegenüberstellung der N-Bilanz bei Winterweizen bei variabler und konstanter Düngung (kg/ha)	82
Abbildung 12: Gegenüberstellung des Vegetationsindizes NDVI im Frühjahr (Anfang März; NÖ Alpenvorland) (links) und des Tongehaltes (rechts) eines Winterweizenschlages	84
Abbildung 13: Entwicklung des Faktors zur Anrechnung des N-Saldos in Abhängigkeit von Niederschlagssumme und Feldkapazität.....	157

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
Stubenring 1, 1010 Wien
bml.gv.at