

AGRAR **Forschung**



**Grundlagen für die Düngung
im Acker- und Futterbau 2001**

**Juni
2001**

PUB

Vorwort

Die «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» enthalten die notwendigen Informationen für eine pflanzen- und umweltgerechte Düngung in der Landwirtschaft. Sie bilden den agronomischen, ökologischen und technischen Pfeiler der Düngung und dienen der landwirtschaftlichen Praxis und den Beratungsstellen. Die Berücksichtigung dieser Grundlagen in der Düngungspraxis ermöglicht die Produktion qualitativ hochstehender Agrarerzeugnisse unter Wahrung der Bodenfruchtbarkeit, der Erfordernisse des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit.

1964 haben die landwirtschaftlichen Forschungsanstalten in der Schweiz die ersten Grundlagen herausgegeben. Seither kamen in den Jahren 1972, 1987 und 1994 aufgrund neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu Neuauflagen. In der Westschweiz veröffentlichte die Commission Romande des Fumures 1966 die ersten Grundlagen, die 1974, 1980, 1987 revidiert wurden.

Die vorliegende Revision bringt Änderungen mit sich, die aufgrund neuer Versuchsergebnisse und Erfahrungen vorgenommen wurden. Die wichtigsten Änderungen und Neuerungen betreffen eine für den Acker- und Futterbau neue Methode der Bodenanalyse sowie Anfallsmengen und Gehalte verschiedener Hofdünger. Bei letzteren drängten sich die Änderungen vor allem infolge der Entwicklungen im Tierfütterungsbereich und der jüngsten Erhebungs- und Analyseergebnisse auf.

Unser Dank geht an alle, die das Vorhaben unterstützt haben oder beratend zur Seite gestanden sind. Einen speziellen Dank richten wir an die involvierten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, des Forschungsinstitutes für biologischen Landbau, der landwirtschaftlichen Beratungszentralen Lindau (LBL) und Lausanne (SRVA), die Mitglieder der Arbeitsgruppe Boden, Düngung und Umwelt und der Commission Romande des Fumures sowie an die Vertreter der Düngerindustrie.

Wir hoffen, dass dieses Dokument zur erfolgreichen Weiterentwicklung einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion beitragen wird.

Jacques Morel, Vizedirektor
des Bundesamtes für Landwirtschaft

Herausgeber Eidgenössische Forschungs-
anstalt für Agrarökologie und
Landbau, Reckenholz (FAL),
CH-8046 Zürich

Eidgenössische Forschungs-
anstalt für Pflanzenbau, Chan-
gins (RAC), CH-1260 Nyon

Redaktion Ulrich Walther, FAL
Jean-Pierre Ryser, RAC
René Flisch, FAL

Beiträge René Flisch, FAL
Ulrich Herter, FAL
Willi Kessler, FAL
Harald Menzi, FAL
Ulrich Walther, FAL
Bernard Jeangros, RAC
Didier Pellet, RAC
Jean-Pierre Ryser, RAC
Pierre A. Vullioud, RAC
Rainer Frick, Eidgenössische
Forschungsanstalt für Agrar-
wirtschaft und Landtechnik
(FAT), CH-8356 Tänikon
Alfred Berner, Forschungs-
institut für biologischen Land-
bau (FiBL), CH-5070 Frick

Titelbild Gabriela Brändle, FAL

Vertrieb FAL / AMTRA

Preis Fr. 15.– (inkl. MwSt)

1. Einleitung	5
2. Aufgaben und Ziele der Düngung	5
3. Düngungsnormen	8
3.1. Beziehung zwischen Nährstoffentzug und Düngungsnorm für Phosphat, Kali und Magnesium	8
3.2. Ackerbau und Feldgemüsebau	10
3.3. Futterbau	13
4. Eigenschaften und Nährstoffzustand des Bodens	18
5. Pflanzenanalyse	22
6. Phosphat-, Kali- und Magnesiumdüngung	23
6.1. Korrektur der Phosphat-, Kali- und Magnesium-Normdüngung aufgrund der Ammoniumacetat+EDTA-Methode	24
6.2. Korrektur der Phosphat- und Kali-Normdüngung aufgrund der CO ₂ -Methode	27
6.3. Korrektur der Magnesium-Normdüngung aufgrund der CaCl ₂ -Methode	30
6.4. Spezielle Hinweise zum Einsatz von Phosphat-, Kali- und Magnesiumdüngern	31
7. Stickstoffdüngung	31
7.1. Ackerbau	32
7.1.1. Methode der korrigierten Normen (Schätzmethode)	34
7.1.1.1. Grundsätze zur Methode der korrigierten Normen	34
7.1.1.2. Vorgehen zur Bestimmung der korrigierten Norm	37
7.1.2. Bestimmung des Mineralstickstoff gehaltes des Bodens (N _{min} -Methode)	41
7.1.3. Ergänzende und andere Methoden	43
7.2. Futterbau	44
7.3. Strategie der Stickstoffdüngung bei beschränkten N-Mengen	46
8. Kalkdüngung	48
9. Düngung mit Schwefel und Spurenelementen	49
9.1. Schwefel	49
9.1.1. Vorgehen zur Abschätzung des Risikos von Schwefelmangel	50
9.1.2. Form und Zeitpunkt der Schwefeldüngung	51
9.2. Bor und Mangan	52
10. Ernterückstände	52

11. Hofdünger	53
11.1. Anfall und Gehalt 54	
11.1.1. Nährstoffausscheidungen der Nutztiere	54
11.1.2. Gülle- und Mistanfall	58
11.1.3. Nährstoffgehalte von Hofdüngern	60
11.1.4. Aufbereitung der Hofdünger	61
11.1.5. Verfügbarkeit des Stickstoffs in den Hofdüngern	62
11.2. Einsatz der Hofdünger	64
11.2.1. Anwendungszeitpunkt von Gülle und Mist	64
11.2.2. Bemessung der Hofdüngergaben	65
12. Klärschlamm und Kompost	67
13. Eigenschaften und Besonderheiten des biologischen Landbaus	67
14. Düngung und Umwelt	69
14.1. Die Düngung als Teil des Nährstoffkreislaufs	69
14.2. Nährstoffverluste 69	
14.2.1. Auswaschung und Versickerung	70
14.2.2. Abschwemmung und Oberflächenabfluss	71
14.2.3. Ammoniakverflüchtigung	72
14.3. Potenzielle Umweltgefährdung der Dünger und deren Eignung für eine gezielte, umweltschonende und wirtschaftliche Düngung im Überblick	73
14.4. Folgen einer Überdüngung	74
14.5. Schadstoffe und Krankheitserreger	74
14.6. Zusammenfassende Empfehlungen für eine umweltschonende Düngung	74
15. Düngung und Qualität	75
16. Düngung in der Praxis	76
16.1. Düngungsplan	76
16.2. Wahl der Düngemittel	77
16.3. Möglichkeiten zum Verzicht auf die Phosphat-, Kali- und Magnesium-Düngung	77
16.4. Fruchtfolgedüngung	78
16.5. Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Methoden der Nährstoffbilanzierung	78
17. Ausbringtechnik bei Mineral-, Hof- und Abfalldüngern	78
18. Anhang	81
18.1. Eigenschaften verschiedener Nährstoffformen und Dünger	81
18.2. Nährstoffgehalte pflanzlicher und tierischer Produkte	83
18.3. Faktoren zur Umrechnung verschiedener Nährstoffformen	86
18.4. Gesetze und Verordnungen zum Handel und Einsatz der Dünger	87

1. Einleitung

Die «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» werden regelmäßig überarbeitet. Damit wird neuen Versuchsergebnissen, Erfahrungen und der Notwendigkeit, bestimmte Normen periodisch zu aktualisieren, Rechnung getragen. Als Grundlage dienen auch die Resultate früherer Versuchs- und Forschungstätigkeiten, die einer erneuten kritischen Auswertung unterzogen werden.

Das Dokument dient in erster Linie der landwirtschaftlichen Beratung, aber auch dem Bauer und der Bäuerin, zur Entscheidungsfindung praktischer Düngungsfragen. Es ist kein Lehrbuch mit grundsätzlicher Darstellung der Pflanzenernährung oder von Boden-Pflanze-Beziehungen.

Der immer schnellere Wandel der Produktionstechnik und -verfahren sowie die lokale oder punktuelle Diversifikation in der Landwirtschaft führt dazu, dass mit Hilfe dieses Dokumentes nie alle Fragen beantwortet werden können. Bei Unsicherheiten, ist gemeinsam mit der Beratung oder mit den Forschungsanstalten nach Lösungen zu suchen.

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

2. Aufgaben und Ziele der Düngung

Nährstoffe werden von der Pflanze aus dem Boden oder aus der Luft aufgenommen. Bestimmte Nährstoffmengen werden in Form von pflanzlichen und tierischen Produkten dem Boden und teilweise dem Betrieb entzogen. Die Hauptaufgabe der Düngung besteht darin, Nährstoffkreisläufe (Abb. 1) weitgehend zu schliessen und die pflanzliche Produktion zu optimieren ohne den Nährstoffvorrat des Bodens auszubeuten oder ihn unnötig anzureichern.

Der Begriff der Düngung umfasst jegliche Zufuhr von unentbehrlichen Pflanzennährstoffen (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) in irgendwelcher Form. Mit Hilfe der Düngung ist das Nährstoffangebot an die Pflanzen so zu gestalten, dass ein effizientes Wachstum zum Aufbau optimaler Erträge mit einwandfreier Qualität möglich ist. Gleichzeitig sollen die unvermeidlichen Belastungen der Umwelt minimal sein. Die Anforderungen an eine pflanzen- und umweltgerechte Düngung sind im

landwirtschaftlichen Düngungskonzept (Abb. 2) dargestellt. Daraus geht hervor, dass für eine überlegte, sinnvolle und erfolgreiche Düngung folgende Aspekte in der aufgeführten Reihenfolge zu berücksichtigen sind:

1. Nährstoffbedarf der Pflanzen
2. Nährstoffgehalt des Bodens
3. Anfall betriebseigener Hofdünger
4. Nährstoffgehalt und weitere Eigenschaften von Hof-, Abfall- und Handelsdüngern
5. Zeitlicher Nährstoffbedarf der einzelnen Kulturen
6. Verhalten der Düngemittel und Nährstoffe in der Umwelt (Boden, Wasser, Luft)
7. Wirtschaftlichkeit

Ferner sei an dieser Stelle an zwei Grundgesetze der pflanzlichen Produktion erinnert, welche insbesondere für die Düngung zu beachten sind:

a. Gesetz des Minimums. Es besagt, dass der im Minimum vorhandene Wachstumsfaktor (Nährstoffe, Wasser, Licht, Temperatur) den Ertrag und/oder die Qualität bestimmt.

b. Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs. Dieses beinhaltet die biologische Tatsache, dass bei steigendem Nährstoffangebot der Ertragszuwachs pro Nährstoffeinheit immer kleiner wird und gegen null strebt. Ein zu hohes Nährstoffangebot führt oft zu Ertrags- und Qualitätsminderungen der Ernteprodukte sowie zu unnötigen und nicht verantwortbaren Belastungen der Umwelt.

Abbildung 1. Nährstoffkreislauf eines landwirtschaftlichen Betriebes.

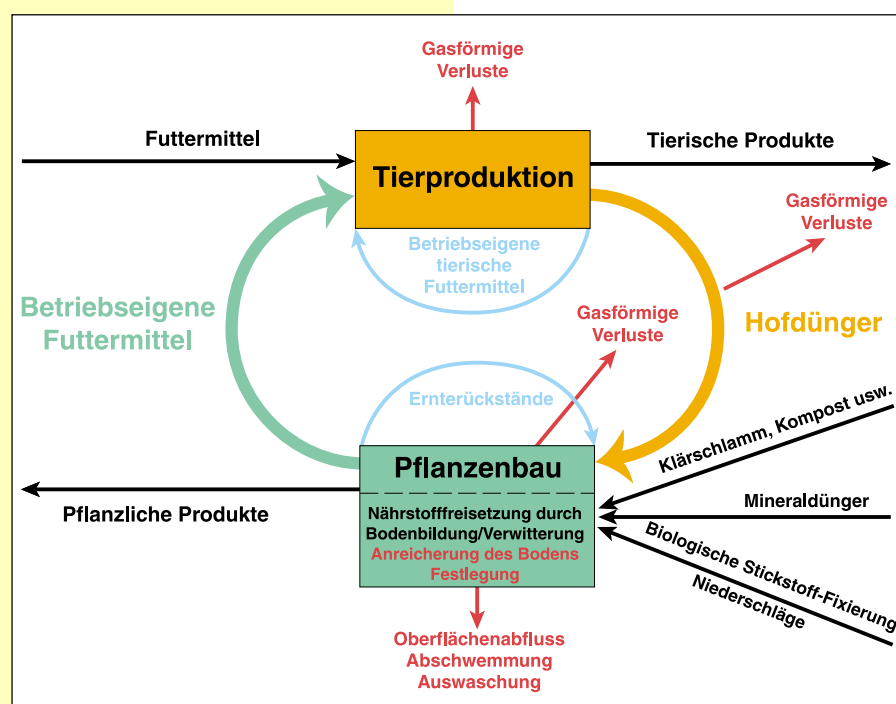
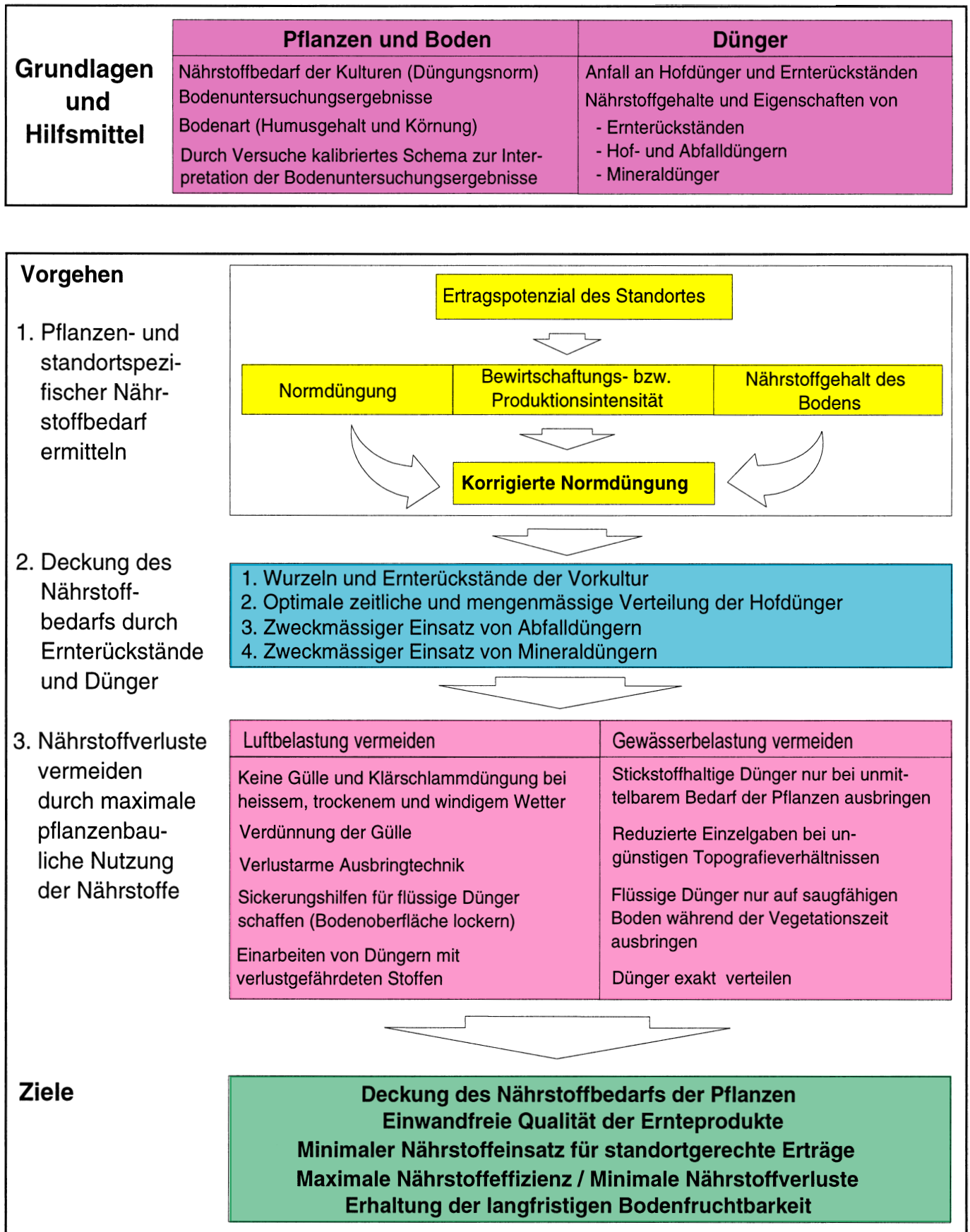


Abbildung 2. Das landwirtschaftliche Düngungskonzept für eine nachhaltige Bodennutzung.



Das Ziel der Düngung besteht in der Optimierung der Erträge von einwandfreier Qualität bei maximaler Ausnutzung der beschränkt vorhandenen Nährstoffe. Sie ist kein geeignetes Mittel, um Mängel infolge pflanzenbaulicher Fehlentscheidungen (z.B. Fruchtfolge, Bodenverdichtungen durch ungeeignete Bodenbearbeitungen- oder Erntezeitpunkte, Saatzeitpunkt, Sortenwahl, Pflanzenschutz) zu korrigieren.

3. Düngungsnormen

Die Düngungsnormen geben Auskunft über den Nährstoffbedarf verschiedener Kulturen für gute Durchschnittserträge bei optimaler Nährstoffversorgung des Bodens. Sie wurden für Phosphat, Kali und Magnesium aus den Nährstoffentzügen abgeleitet; mögliche Unterschiede zwischen dem Entzug und der Düngungsnorm sind in Kapitel 3.1 erläutert. Korrekturen der Phosphat-, Kali- und Magnesiumdüngungsnorm aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen sind in Kapitel 6 beschrieben. Die Stickstoffdüngungsnorm wurde mit Hilfe der Ergebnisse einer Vielzahl von Versuchen erarbeitet, welche unter verschiedensten Boden- und Klimabedingungen durchgeführt wurden. Die Anpassung der Stickstoffdüngung an parzellenspezifische Eigenschaften und weitere Einflussfaktoren sind in Kapitel 7 beschrieben.

3.1. Beziehung zwischen Nährstoffentzug und Düngungsnorm für Phosphat, Kali und Magnesium

Das Nährstoffaneignungsvermögen der verschiedenen Kulturpflanzen ist unterschiedlich. Es hängt stark von der Form und der Länge des Wurzelsystems der Pflanze ab. Der optimale Nährstoffgehalt, welcher in enger Beziehung zur Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung steht, ist daher je nach Kulturart verschieden. So steht beispielsweise die optimale Kaliverfügbarkeit des Bodens in enger Beziehung zur Kationenaustauschkapazität, welche ihrerseits in enger Beziehung zum Tongehalt des Bodens steht. Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Zusammenhang zwischen dem erforderlichen Kaligehalt des Bodens (CO_2 -Methode) zur Erreichung optimaler Erträge ohne Kalidüngung in Abhängigkeit der Kationenaustauschkapazität bei drei verschiedenen Kulturen.

Für andere Nährstoffe (P, Mg) gelten ähnliche Beziehungen. Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, wurde der optimale Nährstoffgehalt des Bodens bezüglich Phosphat, Kali und Magnesium auf Pflanzenarten mit einem mittleren bis guten Nährstoffaneignungsvermögen abgestimmt. Bei diesen Kulturen entspricht die Normdüngung dem Entzug der Pflanzen. Getreide und Gräser haben mit ihrem sehr feinen und weit verzweigten Wurzelsystem ein sehr gutes Kalianeignungsvermögen. Dies gilt auch für tiefwurzeln- de Kulturen (z.B. Rüben), welche einen grossen Teil des Kaliums tieferen Bodenschichten entnehmen. In diesen Fällen ist die Normdüngung geringer als der Nährstoffentzug. Im Gegensatz dazu benötigen Pflanzen mit einem schwächer ausgebildeten Wurzelsystem und/oder einer geringeren Austauschkapazität der Wurzeln (z.B. Kartoffeln) eine höhere Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung. Damit auch diese Pflanzen ihren Nährstoffbedarf decken können, ist die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung zeitlich befristet zu erhöhen, so dass die Normdüngung über dem Nährstoffentzug liegt. Für die Wiesen und Weiden wurden die Bewirtschaftungsintensität, die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes und die Futterqualität bei der Festlegung der Faktoren für die Berechnung der Normdüngung aus dem Nährstoffentzug der Kulturen mitberücksichtigt (Tab. 1). Bei allen Kulturen wurde die Normdüngung auf 5 Kilogramm genau auf- oder abgerundet.

Tabelle 1. Faktoren zur Berechnung der Düngungsnorm aus dem Phosphat-, Kali- und Magnesiumentzug verschiedener Kulturen aufgrund ihres erhöhten oder reduzierten Nährstoffaneignungsvermögens.

Für alle nicht aufgeführten Kulturen entspricht die Düngungsnorm für Phosphat, Kali und Magnesium dem Entzug.

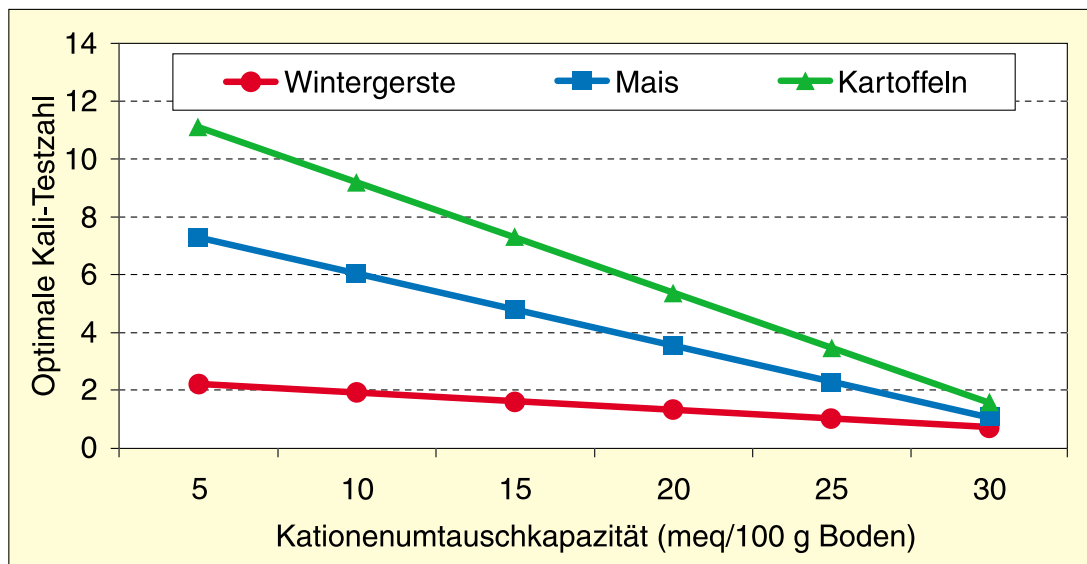


Abbildung 3. Grenzwerke für Kali-Testzahlen (CO₂-Methode) für optimale Erträge ohne Kalidüngung bei verschiedenen Kulturen in Abhängigkeit der Kationenumtauschkapazität des Bodens.

Kultur	Faktoren zur Berechnung der Düngungsnorm ausgehend vom Entzug der Kulturen		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Wintergetreide	1,0	0,8	1,0
Mais	1,2	1,0	1,0
Kartoffeln für Speisezwecke und techn. Verarbeitung	1,2	1,2	1,2
Saat- und Frühkartoffeln	1,3	1,2	1,2
Zucker- und Futterrüben	1,0	0,7	1,0
Chinaschilf	1,0	0,8	1,0
Körnerleguminosen	1,0	1,2	1,0
Erbsen (Verarbeitung)	1,0	1,2	1,0
Kabis, Einschnide-	0,75	0,85	1,0
Rosenkohl	0,75	0,85	1,0
Chicorée, Wurzelanbau	0,85	0,5	0,6
Karotten, Lager/Verarbeitung	1,1	0,6	1,0
Zwiebeln, gesteckt	1,3	1,2	1,2
Zwischenkulturen, Grünmais	1,0	0,7	1,3
Intensive Wiesen	1,0	0,75	1,2
Mittelintensive Wiesen	0,93	0,70	1,1
Wenig intensive Wiesen	0,88	0,65	0
Extensive Wiesen	0	0	0
Intensive Weiden ¹	0,62/0,42	0,30/0,08	0,78/0,78
Mittelintensive Weiden ¹	0,60/0,42	0,27/0,07	0,67/0,67
Wenig intensive Weide	0,55	0,16	0
Extensive Weide	0	0	0
Klee- und Grassamenproduktion	0,93	0,70	1,1

¹ Der erste Wert gilt für Weiden mit Stallhaltung (Teil- oder Vollweide), der 2. Wert für Weiden ohne Stallhaltung (Vollweide). Weitere Erläuterungen in Kapitel 3.3.

3.2. Ackerbau und Feldgemüsebau

Das angegebene Ertragsniveau wird von den meisten Betrieben im Durchschnitt der Jahre erreicht. Ist das Ertragsniveau auf einzelnen Parzellen (mässig tiefgründige oder ziemlich flachgründige Böden), in verschiedenen Regionen (Randgebiete des Ackerbaus) oder in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsform (einzelne Kulturen im Biolandbau oder in anderen Anbausystemen) regelmässig mehr als 20 % tiefer, ist die Düngungsnorm für Phosphat, Kali und Magnesium (Tab. 2) linear zu reduzieren, unter sehr guten Boden- und Klimaverhältnissen mit regelmässig deutlich höheren Erträgen entsprechend zu erhöhen. Diese Korrekturen der Normdüngung sind ausgehend von den angegebenen Erträgen direkt proportional für andere Ertragsniveaus zu berechnen. Für vereinzelte Abweichungen im Ertrag sind keine Korrekturen notwendig.

Tabelle 2. Entzug an Stickstoff, Phosphat, Kali und Magnesium sowie entsprechende Düngungsnormen für verschiedene Ackerkulturen

Die angegebenen Entzüge entsprechen den geernteten Erträgen des Hauptproduktes (ohne unvermeidbare Ernteverluste) und den durchschnittlich anfallenden Nebenprodukten (ohne Stoppeln und Wurzeln).

Kultur	Ertrag (geerntete Hauptprodukte und anfallende Nebenprodukte) dt/ha ¹	Produkt	Entzug
			N
Getreide und Mais			
Winterweizen ²	60	Körner	120
	75	Stroh	38
	Total		158
Sommerweizen	50	Körner	110
	65	Stroh	33
	Total		143
Wintergerste	60	Körner	90
	65	Stroh	29
	Total		119
Sommergerste	45	Körner	59
	50	Stroh	25
	Total		84
Winterhafer	55	Körner	88
	70	Stroh	35
	Total		123
Sommerhafer	55	Körner	88
	70	Stroh	35
	Total		123
Winterroggen ²	55	Körner	88
	75	Stroh	38
	Total		126
Winterkorn	50	Körner	80
	75	Stroh	38
	Total		118
Wintertriticale	60	Körner	105
	80	Stroh	60
	Total		165
Sommertriticale	55	Körner	96
	75	Stroh	56
	Total		152
Emmer, Einkorn	25	Körner	55
	45	Stroh	18
	Total		73
Körnermais	80	Körner	104
	95	Stroh	57
	Total		161
Silomais	160 ³	Ganz- pflanze	200
Grünmais	60 ³	Ganz- pflanze	114

(kg/ha)			Düngungsnorm (kg/ha)				Kultur	Ertrag (geerntete Hauptprodukte und anfallende Nebenprodukte) dt/ha ¹	Produkt	Entzug (kg/ha)				Düngungsnorm (kg/ha)			
P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
53 15 68	27 83 110	6 6 12	140	70	90	15	Knollen- und Wurzelfrüchte			135 25 160	68 9 77	225 117 342	9 6 15	120	90	410	20
							Kartoffeln 450 Knollen für Speisezwecke 180 Kraut und technische Total										
							Verarbeitung										
42 11 53	20 72 92	6 3 9	120	55	90	10	Saat- und 250 Knollen Frühkartoffeln 200 Kraut Total			58 66 124	38 14 52	125 140 265	5 11 16	100	65	320	20
54 15 69	36 117 153	6 3 9	110	70	120	10	Zuckerrüben 650 Rüben 500 Kraut/Köpfe Total			137 150 287	52 43 95	169 300 469	21 35 56	100	95	330	55
36 11 47	27 100 127	5 2 7	90	45	125	10	Futterrüben 160 ³ Rüben 400 Kraut/Köpfe Total			176 140 316	80 32 112	288 280 568	21 36 57	100	110	400	55
44 19 63	28 147 175	6 6 12	90	65	140	15	Öl- und Faserpflanzen			105 49 154	56 23 79	34 104 138	9 10 19	140	80	140	20
							Winterraps 35 Körner 65 Stroh Total										
44 19 63	28 147 175	6 5 11	90	65	175	15	Sommerraps 25 Körner 45 Stroh Total			75 34 109	40 16 56	24 72 96	7 7 14	120	60	95	15
44 19 63	28 90 118	6 8 14	90	65	95	15	Sonnenblume 30 Körner 60 Stroh Total			95 54 149	33 16 49	25 369 394	9 45 54	60	50	400	55
40 19 59	25 90 115	6 8 14	100	60	95	15	Ölhanf 13 Körner 60 Stroh Total			60 54 114	33 24 57	14 84 98	7 9 16	60	55	100	15
54 20 74	36 100 136	6 6 12	110	75	110	15	Faserhanf ⁴ 100 Stängel 40 Körner, Blätter Total			30 110 140	30 60 90	90 110 200	5 20 25	100	90	200	25
50 19 69	33 94 127	6 6 12	100	70	125	15	Öllein 20 Körner 25 Stroh Total			109 15 124	24 13 37	19 45 64	1 2 3	80	35	65	5
20 13 33	13 41 54	4 3 7	30	35	55	10	Faserlein 45 Stroh 15 Körner Total			45 82 127	32 18 50	90 14 104	9 1 10	60	50	105	10
48 32 80	39 209 248	8 12 20	110	95	250	20	Chinaschilf 200 ³ Ganz- pflanze			42	19	112	5	30	20	110	5
96	248	19	105	115	250	20	Kenaf 50 ³ Ganz- pflanze			100	60	80	10	70	60	80	10
39	162	6	70	40	115	10											

Tabelle 2. Fortsetzung

Kultur	Ertrag (geerntete Hauptprodukte und anfallende Nebenprodukte) dt/ha ¹	Produkt	Entzug
			N
Körner- und Eiweissleguminosen			
Eiweisserbsen	50	Körner	175
	50	Stroh	100
	Total		275
Ackerbohnen	40	Körner	160
	45	Stroh	135
	Total		295
Sojabohnen	25	Körner	150
	25	Stroh	88
	Total		238
Süsslupine	30	Körner	165
	30	Stroh	105
	Total	170	42
Feldgemüse			
Kabis, Einschneide-	800	Köpfe	136
	400	Strunk, Blätter	56
	Total		192
Rosenkohl	120	Rosen	78
	140	Strunk, Blätter	126
	Total		204
Chicorée, Wurzelanbau	400	Wurzeln	88
	300	Kraut	54
	Total		142
Karotten, Lager-	600	Rüben	66
	300	Kraut	71
	Total		137
Erbsen, Verarbeitung	65	Erbsen	72
	300	Kraut	120
	Total		192
Bohnen, Verarbeitung	90	Bohnen	36
	300	Kraut	195
	Total		231
Zwiebeln	500	Zwiebel	120
	0 ⁵	Blätter	0
		Total	120
Spinat	120	Blätter	138
	20	Stängel	40
	Total	178	31

(kg/ha)			Düngungsnorm (kg/ha)				Kultur	Ertrag (geerntete Hauptprodukte und anfallende Nebenprodukte) dt/ha ¹	Produkt	Entzug (kg/ha)				Düngungsnorm (kg/ha)						
P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg			
50	60	6	0	90	170	20	Gründüngung / Zwischenfrüchte			70	25	90	5	0	0	0	0			
38	80	11					Gründüngung	25 ³	Ganz- pflanze											
88	140	17					(Leguminosen)													
56	56	10	0	70	175	25	Gründüngung			70	25	90	5	30 ⁶	0	0	0			
16	90	15					(Nichtleguminosen)	25 ³	Ganz- pflanze											
72	146	25																		
35	48	7	0	65	150	25	Zwischen- früchte			70	25	90	5	30	20	60	10			
31	75	16					Pro Nutzung	25 ³	Ganz- pflanze											
66	123	23																		
30	41	6	40	120	20		Übrige Kulturen			75	18	125	7		40	260	15			
12	60	12					Tabak Burley	25 ³	Blätter											
101	18	0					30 ³	Stängel	69									22	135	6
							Total		144	40	260	13	170							
60	200	24	200	60	250	40	Tabak Virginie			63	14	119	5	0	35	245	15			
20	96	14					25 ³	Blätter	25									21	125	10
80	296	38					Total		88									35	244	15
23	60	10	160	60	220	30	Nicht aufgeführte Kulturen							80 ⁷	60	120	10			
56	196	18																		
79	256	28																		
48	184	28	0	50	150	30														
11	108	20																		
59	292	48																		
36	222	9	120	60	220	30														
20	156	9																		
56	378	18																		
20	26	3	0	55	210	20														
33	150	15																		
53	176	18																		
10	28	2	0	40	150	10														
30	123	5																		
40	151	7																		
45	165	25	100	60	200	30														
0	0	0																		
45	165	25																		
25	94	16	30	140	20															
6	48	6																		
142	22	140																		

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt

² Die Angaben gelten in erster Linie Brotweizen beziehungsweise für Populationssorten von Winterroggen. Für Futterweizen und Hybridsorten von Winterroggen mit oft deutlich höheren Erträgen, ist die N-, P-, K- und Mg-Düngungsnorm um 20 % zu erhöhen.

³ Trockensubstanzertrag

⁴ Je nach Erntezeitpunkt und -methode wird die Ganzpflanze oder nur die Stängel geerntet

⁵ Nach Trocknung auf dem Feld wird die gesamte Pflanze geerntet

⁶ Als Startdüngung zur Förderung der Konkurrenzkraft

⁷ Gilt nur für Nichtleguminosen. Leguminosen erhalten keine N-Düngung.

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt

² Die Angaben gelten in erster Linie Brotweizen beziehungsweise für Populationssorten von Winterroggen. Für Futterweizen und Hybridsorten von Winterroggen mit oft deutlich höheren Erträgen, ist die N-, P-, K- und Mg-Düngungsnorm um 20 % zu erhöhen.

³ Trockensubstanzertrag

⁴ Je nach Erntezeitpunkt und -methode wird die Ganzpflanze oder nur die Stängel geerntet

⁵ Nach Trocknung auf dem Feld wird die gesamte Pflanze geerntet

⁶ Als Startdüngung zur Förderung der Konkurrenzkraft

⁷ Gilt nur für Nichtleguminosen. Leguminosen erhalten keine N-Düngung.

3.3. Futterbau

Wiesen und Weiden sind Gemeinschaften zahlreicher Pflanzenarten von unterschiedlichem agronomischen Wert. In Naturwiesen mit 50 bis 70 % Gräsern, 10 bis 30 % Leguminosen und 10 bis 30 % Kräutern fällt in den meisten Fällen schmackhaftes Futter von guter Qualität an. Die Pflanzenarten, die im Wiesland gedeihen, unterscheiden sich durch ihre Ansprüche an die Wachstumsbedingungen und reagieren verschieden auf die Bewirtschaftung. Um eine erwünschte botanische Zusammensetzung zu fördern und langfristig zu erhalten und die Entwicklung unerwünschter Arten zu vermeiden, ist das Düngungsniveau der Nutzungsintensität anzupassen (Abb. 4). Diese richtet sich in erster Linie nach den natürlichen standörtlichen Voraussetzungen. Sind die Bedingungen dem Gedeihen guter Futterpflanzen wenig förderlich (beispielsweise raues Klima, nach Norden exponiert, schwerer Boden, schattige Lage, flachgründiger Boden), ist eine intensive Bewirtschaftung nicht zu empfehlen.

Die Düngung der Wiesen und Weiden unterscheidet sich von derjenigen anderer Kulturen. Sie richtet sich nicht nur nach dem Nährstoffentzug durch die Pflanzen und nach dem Nährstoffzustand des Bodens, sondern vor allem auch nach der botanischen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes und teilweise dem Mineralstoffgehalt des Futters. Zudem werden Wiesen und Weiden hauptsächlich mit Hofdüngern gedüngt, welche einen grossen Teil der mit dem Wiesenfutter von der Fläche weggeführten Nährstoffe enthalten. Die Folgen von Nutzungs- und Düngungsfehlern sind im Wiesland nicht immer sofort wahrnehmbar. Das Verbessern von degenerierten Naturwiesen ist immer sehr schwierig und kann oft mehrere Jahre benötigen.

Tabelle 3 enthält die Entzüge und die Düngungsnormen für Stickstoff, Phosphat, Kali und Magnesium für Wiesen und Weiden nach Bewirtschaftungsintensität. Die Angaben in dieser Tabelle gelten sowohl für Naturwiesen wie auch für die Kunstwiesen. Es ist entscheidend, die Bewirtschaftungsart und -intensität

Tabelle 3. Jährliche Entzüge und Düngungsnormen für Stickstoff, Phosphat, Kali und Magnesium für Wiesen und Weiden in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsintensität

Diese Normen gelten sowohl für Naturwiesen wie auch für Kunstwiesen

richtig zu wählen. **In jung geerntetem Futter (intensive Bewirtschaftung) ist der Gehalt an Nährstoffen höher als in einem spät geernteten (extensive Bewirtschaftung). Pro Ertragseinheit entzieht eine oft genutzte, intensive Wiese also mehr Nährstoffe als eine wenig intensiv genutzte (Tab. 59). Die Düngungsnorm pro Ertragseinheit steigt mit zunehmender Intensität.** Zur Bestimmung der wichtigsten Wiesentypen bieten die Forschungsanstalten, die AGFF (Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues) sowie die Beratung verschiedene Hilfsmittel an.

Die in Tabelle 3 aufgeführten Entzüge und Düngungsnormen gelten für die jeweils angegebenen Erträge. Diese verringern sich mit zunehmender Höhenlage (kürzere Vegetationszeit). Es wurde berücksichtigt, dass bei Weidenutzung normalerweise grössere Futterrückstände zurückbleiben als nach dem Einbringen von gemähtem Futter. Wo die Bedingungen für das Pflanzenwachstum besonders günstig sind, ist es möglich, einen höheren als den angegebenen Ertrag zu erzielen, besonders mit gewissen Kuntwiesentypen. Wo aber die Sonneneinstrahlung ungenügend ist (nach Norden exponiert, Waldrand usw.) oder wo die Pflanzen regelmässig unter Trockenheit oder Nässe leiden (flachgründiger und leichter Boden, schwerer und verdichteter Boden, zu geringe oder zu hohe Niederschläge), ist der Jahresertrag kleiner. Die in Tabelle 3 angegebenen Erträge berücksichtigen keine betriebspezifischen Bedingungen. Es ist deshalb empfehlenswert, sie auf Stufe Betrieb zu überprüfen, indem man sich auf die von den Tieren verzehrte Jahresfuttermenge stützt. Bei Weidenutzung kann der verzehrte Ertrag folgendermassen geschätzt werden:

$$\text{verzehrter Ertrag dt TS/ha} = \left[\text{Besatzdichte GVE/ha} \times \text{Weidedauer Tage} \times \text{mittlerer Tagesverzehr kg TS/GVE/Tag} \right] : 100$$

Bewirtschaftungsintensität Anzahl Nutzungen pro Jahr ²	Höhenlage ¹ m ü. M.	Jahresertrag ³ dt TS/ha
--	-----------------------------------	---------------------------------------

WIESE

Intensiv^{8,9}

- 5 oder 6 Nutzungen ¹⁰	< 600	135
- 5 Nutzungen	< 700	115
- 4 Nutzungen	600-1100	100
- 3 Nutzungen	1000-1500	80
- 2 Nutzungen	> 1400	55

mittel intensiv^{8,9}

- 4 Nutzungen	< 700	100
- 3 Nutzungen	600-1100	75
- 2 Nutzungen	1000-1500	50
- 1 oder 2 Nutzungen	> 1400	35

wenig intensiv⁸ (artenreiche Heuwiese)

- 3 Nutzungen	< 700	65
- 2 Nutzungen	600-1100	50
- 1 oder 2 Nutzungen	1000-1500	35
- 1 Nutzung	> 1400	25

extensiv (Magerwiese, Streuwiese)

- 1 Nutzung	-	10-30
-------------	---	-------

ZWISCHENFRÜCHTE, ÄUGSTLEN

pro Nutzung	25
-------------	----

LEGUMINOSEN-, GRASSAMEN-PRODUKTION

Leguminosen, Reinsaat	120	360
Gräser, Reinsaat		120

WEIDE¹¹

intensiv^{13,14} (> 3 GVE/ha/Weideperiode)¹²

- 5 bis 7 Umtriebe	< 700	100
- 4 bis 6 Umtriebe	600-1100	85
- 3 bis 5 Umtriebe	1000-1500	70

mittel intensiv¹³ (2-3 GVE/ha/Weideperiode)¹²

- 4 oder 5 Umtriebe	< 700	85
- 3 oder 4 Umtriebe	600-1100	65
- 2 oder 3 Umtriebe	1000-1500	40
- 1 bis 3 Umtriebe	> 1400	30

wenig intensiv (1-2 GVE/ha/Weideperiode)¹²

- 2 bis 4 Umtriebe	< 700	50
- 2 oder 3 Umtriebe	600-1100	40
- 1 bis 3 Umtriebe	1000-1500	30
- 1 oder 2 Umtriebe	> 1400	20

extensiv (< 1,0 GVE/ha/Weideperiode)¹²

- 1 oder 2 Umtriebe	-	10-25
---------------------	---	-------

Nährstoffentzug ⁴ kg/ha				Düngungsnorm kg/dt TS bzw. kg/ha			
N	P ₂ O ₅	K ₂ O ⁵	Mg	N ⁶	P ₂ O ₅	K ₂ O ⁷	Mg
330	108	430	34	1,0-1,3	0,8	2,4	0,3
280	92	370	29	150-180	110	325	40
245	80	320	25	130-150	90	275	35
195	64	255	20	100-130	80	240	30
135	44	175	14	70-100	65	190	25
				50-70	45	130	15
				0,8-1,1	0,7	1,9	0,25
195	75	270	23	80-110	70	190	25
145	56	205	17	60-80	50	145	20
100	38	135	12	40-60	35	95	15
70	26	95	8	30-40	25	65	10
				0,4-0,7	0,6	1,5	0
105	44	145	14	25-40	40	95	0
80	34	115	11	20-30	30	75	0
55	24	80	7	15-25	20	50	0
40	17	55	5	10-20	15	35	0
				0	0	0	0
15-40	5-20	20-60	2-6	0	0	0	0
70	25	90	5	0,7-1,2	0,8	2,4	0,4
				30	20	60	10
				0,9-1,9	0,7	1,9	0,25
84	330	23	0	80	230	25	
228	90	318	26	170-230	85	225	30
270	85	355	25	1,0-1,4	0,53/0,37	1,06/0,32	0,20/0,20
230	72	300	21	100-140	55/35	105/30	20/20
190	60	250	18	80-120	45/30	90/25	15/15
				60-100	35/25	75/20	15/15
				0,7-1,0	0,48/0,33	0,80/0,24	0,15/0,15
185	68	260	20	60-75	40/30	65/20	15/15
140	52	200	15	45-60	30/20	50/15	10/10
90	32	120	9	30-45	20/15	35/10	5/5
65	24	90	7	15-30	15/10	25/5	5/5
				0	0,4	0,4	0
90	36	130	11	0	20	20	0
70	29	100	8	0	15	15	0
50	22	75	6	0	10	10	0
35	15	50	4	0	10	10	0
				0	0	0	0
15-40	5-15	25-55	2-5	0	0	0	0

¹ Die Angaben zur Höhenlage gelten für die Voralpen und Alpen; im Jura, wo das Klima rauer ist, müssen die Höhenbereiche tiefer gesetzt werden; entsprechend gelten dort: < 600, 600-900, 900-1300, > 1300 m

² Der letzte Weideumtrieb im Herbst zählt nur dann als eine Nutzung, wenn noch ein gewisser Ertrag anfällt (verzehrter Ertrag > 10 dt TS/ha)

³ Der Ertrag entspricht der Menge geernteten oder durch Weidetiere gefressenen Futters; bei den Mähwiesen sind die Feldverluste berücksichtigt, nicht aber die Lagerungsverluste (im Silo, am Heustock)

⁴ Es handelt sich um einen mittleren Entzug, basierend auf dem effektiven Ertrag und dem Median des in Tabelle 59 angegebenen Gehaltsbereiches; dieser Entzug kann in Wirklichkeit beachtlich variieren; bei einer Weide entspricht er der mittleren Nährstoffmenge, die durch die Tiere konsumiert wird

⁵ Die Kalientzüge liegen deutlich über der Düngungsnorm, da viele Betriebe zu viel Kali in ihrem internen Betriebskreislauf haben; diese unerwünschte Situation ist vor allem auf zu grosse Kaligaben in der Vergangenheit zurückzuführen

⁶ Die Düngung der Wiesen und Weiden mit Stickstoff erfolgt in gleichmässigen Gaben zu jedem Aufwuchs entsprechend den Angaben in Tabelle 31; für Luzerne- und Mattenkle-Mischungen (vom Typ L und M) gilt die angegebene Düngungsnorm nicht, denn diese erhalten normalerweise keinen Stickstoff

⁷ Kaligaben grösser als 200 kg K₂O/ha in Form von Handelsdünger sind auf zwei Gaben aufzuteilen (beispielsweise eine erste bei Vegetationsbeginn und eine zweite nach der ersten oder zweiten Nutzung)

⁸ Bei Mähweidenutzung sind von diesen Düngungsnormen pro Weidenutzung Abzüge gemäss Tabelle 4 vorzunehmen

⁹ Die Düngung von Luzerne- und Mattenkle-Mischungen (vom Typ L und M) mit Phosphat, Kali und Magnesium erfolgt nach den Normen für intensive Wiesen, obwohl die Schnitthäufigkeit im Allgemeinen eher einer mittel intensiven Nutzung entspricht

¹⁰ Diese Angaben gelten vor allem für Italienisch-Raigras-Wiesen

¹¹ Bei den Düngungsnormen für die Weiden ist der Nährstoffanfall der Weidetiere während der Weidedauer bereits berücksichtigt

¹² Die Grösse «Anzahl GVE/ha/Weideperiode» (mittlere Besatzstärke) erlaubt, die mittlere Bewirtschaftungsintensität der gesamten Weidefläche zu beurteilen, sofern im Stall gar nicht oder nur wenig beigefüttert wird; je nach Standortbedingungen kann die Bewirtschaftungsintensität von einer zur anderen Parzelle stark variieren, weshalb die Düngung jeder Situation speziell angepasst werden muss

¹³ Die Düngungsnormen für mittel intensiv und intensiv genutzte Weiden gelten für eine Teilweide und Vollweide mit Stallhaltung (erster Wert) oder eine Vollweide ohne Stallhaltung (zweiter Wert)

¹⁴ Diese Normen gelten ebenfalls für intensive Standweiden (Weide ohne Umtrieb, Kurzrasenweide)

Die Besatzdichte entspricht der Anzahl Grossvieheinheiten pro Hektare (GVE/ha), die sich gleichzeitig auf der Weide aufhält. Die Weidedauer entspricht der Summe der Weidetage auf der betreffenden Parzelle während des Jahres. Der mittlere Tagesverzehr pro GVE auf der Weide variiert je nach Futterangebot auf der Weidefläche, Umfang der Fütterung im Stall und Leistungsniveau der Tiere. Bei ausreichendem Futterangebot und genügend langer täglicher Weidedauer, kann der Tagesverzehr 16 bis 17 kg TS/GVE erreichen. Im Mittel rechnet man mit einem Verzehr von 15 kg TS pro GVE täglich.

Sollten sich die ermittelten Erträge stark von denjenigen in Tabelle 3 unterscheiden, müssen die Düngungsnormen korrigiert werden. Dazu dienen die Angaben in Tabelle 3 bezüglich Phosphat-, Kali- und Magnesiumnormdüngung pro Ertrags-einheit für die verschiedenen Wiesen- und Weidetypen.

Die Düngungsnormen für Wiesen und Weiden sind oft niedriger als die Entzüge, besonders bei:

- *Stickstoff*: Die Normen sind bedeutend niedriger als die Entzüge, weil die Pflanzen noch über andere Stickstoffquellen verfügen: biologische Stickstoff-Fixierung durch die Leguminosen, Mineralisierung organischer Substanz des Bodens, atmosphärische Ablagerungen.

- *Kalium*: Die Normen sind niedriger als die Entzüge, denn der tatsächliche Gehalt des Grünfutters (im schweizerischen Durchschnitt 30 g K/kg TS) überschreitet sehr oft den gewünschten Gehalt (maximal 20 g K/kg TS), der nötig ist, um eine ausgewogene botanische Zusammensetzung zu erhalten, ein gutes Pflanzenwachstum zu gewährleisten und die Gesundheit der Tiere zu bewahren. Die im Wiesenfutter beobachteten hohen Gehalte sind im Allgemeinen auf eine zu grosse Kaliverfügbarkeit im Boden und einen Luxuskonsum durch die Pflanzen zurückzuführen. Die Gehaltsnormen der Hofdünger für Kali basieren auf einem realistischen durchschnittlichen Kaligehalt des Wiesenfutters (30 g K/kg TS). Somit werden mit Hofdüngern oft Kalimengen ausgebracht, welche die Bedürfnisse der Wiesen und Weiden überschreiten. In solchen Situationen sollten die Hofdünger des Betriebes nach ihrem Stickstoff- und Phosphatgehalt verteilt und sollte auf kalihaltige Mineraldünger verzichtet werden.

- *Extensiv und wenig intensiv genutzte Wiesen*: Um die vielfältige botanische

Tabelle 4. Mengen an Phosphat, Kali und Magnesium, die bei Mähweidenutzung pro einzelne Weidenutzung von den Düngungsnormen abzuziehen sind

Diese Abzüge gelten für eine durchschnittliche Weidenutzung, was ungefähr 15 dt TS/ha (verzehnte Futtermenge) oder 100 GVE-Weidetagen/ha entspricht.

Zusammensetzung dieser Wiesen zu bewahren, müssen die Düngergaben klein sein, kleiner als die Nährstoffentzüge. Die fehlenden Nährstoffe werden aus den Bodenreserven entnommen.

- *Weiden*: Es werden geringere Nährstoffmengen gedüngt, als die Tiere mit dem Wiesenfutter auf der Weide aufnehmen, weil durch die Tiere während des Weidens ausgeschiedene Düngernährstoffe auf der Fläche bleiben.

In den in Tabelle 3 angegebenen Normen für die Weiden (keine Mahd) ist die Nährstoffrücklieferung durch die Tiere während der Weide berücksichtigt. Diese hängt vor allem von der täglichen Weidedauer, der Weidetechnik sowie vom auf der Weide aufgenommenen Rationenteil ab. Für die intensiven und mittel intensiven Weiden gibt die Tabelle 3 jeweils zwei Düngungsnormen an: Der erste Wert gilt für **Weidesysteme kombiniert mit Stallhaltung**, in denen die Tiere hauptsächlich zum Fressen auf der Weide sind (beispielsweise zur 50%igen Deckung des täglichen Futterbedarfes während 5 bis 6 Stunden täglicher Weidedauer oder zur fast vollständigen Deckung des täglichen Futterbedarfes auf der Weide während höchstens 12 Stunden täglicher Weidedauer). Der zweite Wert gilt bei **Weide ohne Stallhaltung** (die Tiere fressen nur auf der Weide, wo sie sich dauernd - die Melkzeiten beim Milchvieh ausgenommen - aufhalten). Bei Weidenutzung ohne Stallhaltung bleibt der grösste Teil der mit dem Weidefutter aufgenommenen Nährstoffe auf der Weidefläche; nur ein kleiner Teil wird exportiert. Die Düngungsnormen nehmen allerdings nicht proportional zur Zunahme an Nährstoffausscheidungen auf der Weide ab. Es wird berücksichtigt, dass Kuhfladen und Harnstellen unregelmässiger verteilt anfallen, wenn die Tiere nicht nur zum Fressen auf der Weide sind. Permanent beweidete Flächen, die nicht in erster Linie der Fütterung der Weidetiere dienen, müssen nicht gedüngt werden, da die in den Ausscheidungen der

Tiere enthaltene Nährstoffmenge zur Deckung des Düngbedarfes bereits ausreicht.

Für Flächen, die gelegentlich beweidet werden (Mähweiden), wird von der Düngungsnorm für Mähwiesen ein Abzug gemacht, weil die Tiere während der Weidedauer Nährstoffe ausscheiden, die für die Pflanzen verfügbar sind. Die pro Weidenutzung in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsintensität und der Weidetechnik an Phosphat, Kali und Magnesium zu berücksichtigenden Abzüge sind in Tabelle 4 enthalten. Diese Abzüge beziehen sich auf eine mittlere Weidenutzung (verzehrter Ertrag von etwa 15 dt TS/ha, was bei einem Tagesverzehr von 15 kg TS/GVE etwa 100 GVE-Weidetagen/ha entspricht).

Bewirtschaftungsintensität	Weidesystem ¹	Nährstoffabzüge pro Weidenutzung ²			
		kg/ha N ³	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
intensiv	mit Stallhaltung ohne Stallhaltung	-	5,5	27	2,0
		-	8,5	43	3,0
mittel intensiv	mit Stallhaltung ohne Stallhaltung	-	4,5	23	1,5
		-	6,5	32	2,0
wenig intensiv	alle Systeme	-	4,0	20	-

¹ Die unterschiedenen Weidesysteme sind in Kapitel 3.3 beschrieben

² Der letzte Weideumtrieb im Herbst zählt nur dann als eine Nutzung, wenn noch ein gewisser Ertrag anfällt (verzehrter Ertrag > 10 dt TS/ha)

³ Die Weideabzüge für Stickstoff sind in den Stickstoffdüngungsnormen pro Nutzung (siehe Tab. 31) bereits berücksichtigt

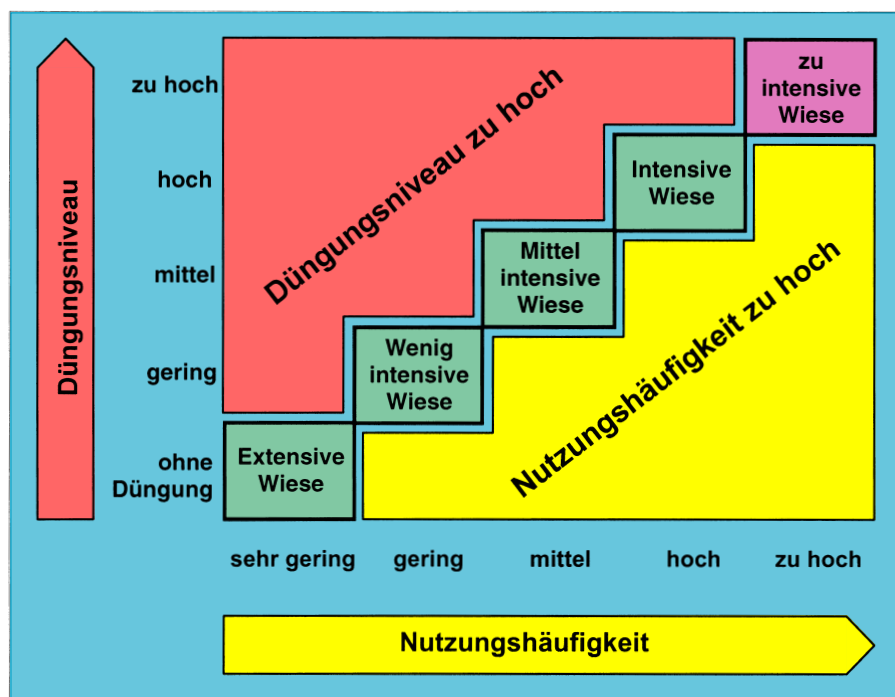


Abbildung 4. Intensitätsstufen im Futterbau je nach Nutzung und Düngung (besondere Stickstoffdüngung).

4. Eigenschaften und Nährstoffzustand des Bodens

Für eine gezielte Düngung sind neben den Nährstoffbedürfnissen der Pflanzen auch verschiedene Bodeneigenschaften zu berücksichtigen. Diese können mittels periodischer Bodenuntersuchungen (im Ackerbau alle 3-4 Jahre, im Futterbau alle 4-6 Jahre), welche der Optimierung der zukünftigen Düngung, aber auch zur Kontrolle früherer Düngungsmassnahmen dienen, erfasst werden. Unterlagen für eine korrekte Probeentnahme - welche für die Güte der Resultate entscheidend ist - können bei den zuständigen Untersuchungsstellen oder bei den landwirtschaftlichen Beratungsdiensten bezogen werden.

Die Entwicklung des Nährstoffgehaltes des Bodens über längere Zeit und besonders der Vergleich der Nährstoffgehalte im Boden mit den gedüngten und den von den Pflanzen entzogenen Nährstoffmengen ist nur aussagekräftig, wenn die Randbedingungen einer korrekten Bodenprobenahme (Ort, Zeitpunkt in der Fruchtfolge, Entnahmetiefe usw.) peinlichst genau eingehalten werden.

Die wichtigsten zurzeit von den Forschungsanstalten verwendeten Bodenuntersuchungsmethoden, welche in zahlreichen Feldversuchen während Jahrzehnten geeicht wurden, sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Für die Interpretation der Phosphat-, Kali- und Magnesiumgehalte des Bodens ist die Kationenumtauschkapazität (Nährstoffspeicherungskapazität) von entscheidender Bedeutung. Zwischen der Kationenumtauschkapazität und dem Tongehalt des Bodens besteht eine enge Beziehung. Es ist daher sinnvoll, die Phosphat-, Kali- und Magnesiumgehalte des Bodens in Abhängigkeit des geschätzten oder analytisch bestimmten Tongehaltes in der mineralischen Feinerde zu beurteilen. Damit der analytisch bestimmte Tongehalt von humosen Böden nicht überschätzt wird, werden die Kornfraktionen in Böden mit mehr als 10 % Humus auf die mineralische Feinerde bezogen (vgl. Fussnote in Tab. 5). Bei diesen Böden wird der Humusgehalt bei der Interpretation der Nährstoffgehalte ebenfalls berücksichtigt.

Die Anpassung der Normdüngung an den Nährstoffgehalt des Bodens erfolgt mit Hilfe sogenannter Korrekturfaktoren. Der allgemeine Nährstoffzustand des

Tabelle 5. Die wichtigsten Bodenuntersuchungsmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten im Hinblick auf eine optimale Gestaltung der Düngung im Feldbau

Eine ausführliche Beschreibung ist in den Referenzmethoden der Eidg. landw. Forschungsanstalten enthalten.

Bodens für Phosphat, Kali und Magnesium wird abhängig von den Korrekturfaktoren in 5 Klassen eingeteilt (Tab. 6).

Bei einigen Böden mit bestimmten Eigenschaften können die Ergebnisse der Bodenuntersuchung bezüglich Phosphat-, Kali- und/oder Magnesiumgehalt nur mangelhaft beurteilt werden. Dies betrifft besonders folgende Kombinationen von Bodeneigenschaften und Bodenuntersuchungsmethoden:

■ In Böden mit einem Tongehalt von über 40 % werden trotz erhöhter Düngung während längerer Zeit und normaler Entwicklung der Kulturen mit der CO₂-Methode oft nur sehr geringe Gehalte (Versorgungsklasse A) an Phosphat und/oder Kali ausgewiesen. Die Differenz zwischen den gedüngten und den durch die Kulturen entzogenen Nährstoffmengen steht nur in schwacher Beziehung zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung.

■ Mit dem stärkeren, sauren Extraktionsmittel Ammoniumacetat+EDTA ist die Interpretation der Ergebnisse vor allem bei kalkhaltigen und teilweise auch bei tonarmen Böden unzuverlässig, da teilweise nicht pflanzenverfügbare Nährstoffe extrahiert werden und damit ein zu hoher pflanzenverfügbarer Nährstoffgehalt des Bodens ausgewiesen wird.

In diesen Fällen ist die für die entsprechenden Bodenarten jeweils besser geeignete Extraktionsmethode zu wählen. Für gewisse Fälle ist die Wahl einer zuzätzlichen, geeigneten Untersuchungsmethode zu empfehlen, um den Phosphat- und/oder Kaligehalt des Bodens zuverlässig zu beurteilen. In der Regel dürfte es hilfreich sein, in diesen Spezialfällen mit den Landwirtschaftlichen Forschungsanstalten Kontakt aufzunehmen.

Der Gehalt des Bodens an organischer Substanz (Humus) wird in 5 Klassen eingeteilt und kann nach chemisch-physikalischen Eigenschaften (bodenkundlich) oder nach dessen Auswirkungen auf die

Probeentnahme		Probenauf- bereitung	Unter- suchungskri- terium (Nähr- element bzw. Bodeneigen- schaft)
Zeitpunkt	Tiefe		
Zeitraum zwischen Ernte der letzten Kultur und Düngung der nach- folgenden Kultur. Vor- zugsweise stets an der gleichen Stelle in der Fruchtfolge.	0-10 cm in Natur- wiesen bzw. 0- 20 cm in Kunst- wiesen und Acker- land	Trocknen bei 40 °C und auf 2 mm absieben	P
			K
			Mg
			Mn (aus- tauschbar)
			Mn (leicht reduzierbar)
			B
			H+
			CaCO ₃
			P, K, Mg
			Körnung ¹ - Ton - Schluff - Sand
			Humus ¹
			- Humus - Ton - Schluff
			Kationenum- tauschkapa- zität (KUK) in K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺
H+			
Kationenum- tauschkapa- zität (KUK) in K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺			
H+			
Basensätti- gung (BS)			
Kurz vor dem Düngetermin (Frühjahr, Mai, Juni)	0-90 cm (0-30, 30-60, 60-90)	feldfeucht (gekühlt) absieben (10 mm)	NO ₃ -N + NH ₄ -N

Extraktionsmittel bzw. Verfahren / Methode	Verhältnis Boden zu Extraktions- mittel	Schüttel- bzw. Extraktions- zeit	Massein- heit der Analysen- resultate	Definition der Masseinheit Berechnung
CO ₂ -gesättigtes Wasser	1 : 2,5	1 Std.	Testzahl	P-Test 1 = 0,0356 mg P ₂ O ₅ pro 100 g Boden
CO ₂ -gesättigtes Wasser	1 : 2,5	1 Std.	Testzahl	K-Test 1 = 1 mg K ₂ O pro 100 g Boden
0,0125 M CaCl ₂	1 : 10	2 Std.	Testzahl	Mg-Test 1 = 1 mg Mg pro 100 g Boden
1 M Ammonium- acetat	1 : 10	30 Min.	ppm	mg Mn pro kg Boden
1 M Ammonium- acetat + Hydrochinon	1 : 10	30 Min.	ppm	mg Mn pro kg Boden
Heisswasser	1 : 5	5 Min. (Rück- flusskühler)	ppm	mg B pro kg Boden
dest. Wasser	1 : 2,5	12 Std.	pH-Wert	
HCl konz., 1:1 verdünnt			%	g CaCO ₃ pro 100 g Boden
0,5 M Ammo- niumacetat + 0,5 M Essigsäure + 0,025 M EDTA	1:10	1 Std.	ppm	mg/kg Boden
Sedimentation Sedimentation Berechnung			% % %	g pro 100 g Boden g pro 100 g Boden g pro 100 g Boden
Nasse Verbrennung mit K ₂ Cr ₂ O ₇ Titration		% org. C		% Humus = % org. C x 1,72
Fühlprobe			% % %	
Böden mit pH(H ₂ O) < 6,0 0,05 M HCl + 0,0125 M H ₂ SO ₄ pH-Differenz	1 : 4 1 : 1	5 Min.	mäq mäq	KUK = mäq (H ⁺ + K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) pro 100 g Boden
Böden mit pH(H ₂ O) > 5,9 0,1 M Barium- chlorid + 2 M Triethanolamin Titration	1 : 25	15 Std. bei 45°C stehen lassen, dann 1 Std. schütteln	mäq mäq	KUK = mäq (H ⁺ + K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na ⁺) pro 100 g Boden
			%	BS = mäq (K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Na) * 100 / KUK
0,0125 M CaCl ₂	1 : 4	1 Std.	kg N pro ha	

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

Stickstoffdynamik des Bodens (agronomisch) beurteilt werden (Tab. 7).

Der Säuregrad des Bodens wird mit Hilfe des pH-Wertes beurteilt und in 6 Klassen eingeteilt (Tab. 8). Der pH-Wert dient nebst der groben Beurteilung des Kalkzustandes auch der Wahl der geeigneten Dünger (besonders Phosphatdünger). Um den Kalkzustand saurer und stark saurer Böden zuverlässig zu beurteilen, ist im Hinblick auf eine Kalkdüngung die Bestimmung der Basensättigung zu empfehlen. Die Beurteilung der Basensättigung erfolgt gemäss Tabelle 9.

In Ausnahmefällen (anspruchsvolle Kulturen, erhöhtes Mangelrisiko) wird es notwendig sein, auch den Bor- und Mangengehalt des Bodens zu bestimmen. Die Interpretation der entsprechenden Analysenwerte sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Die Bestimmung des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens (N_{\min}) dient der Optimierung der Stickstoffdüngung im Ackerbau. Die kultur- und zeitbezogene Berücksichtigung des N_{\min} -Gehaltes des Bodens bei der Bemessung der N-Gaben ist in Kapitel 7 dargestellt. Die N_{\min} -Methode kann auch zur Untersuchung ökologischer Fragestellungen gute Dienste leisten. Sie ist jedoch nicht geeignet, um nach der Düngung oder nach der Ernte einer Kultur nachträglich die Zweckmässigkeit der verabreichten Stickstoffdüngung zu beurteilen.

5. Pflanzenanalyse

Nebst den Bodenuntersuchungen kann während der Vegetationsperiode ausnahmsweise auch die Pflanzenanalyse als ergänzende Massnahme zur Lösung von Düngungsproblemen herangezogen werden.

Im Futterbau ist es oft sinnvoll, nebst den Ergebnissen der Bodenanalysen auch die Resultate der Futteranalysen sowie die botanische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes bei der Bemessung der Düngung zu berücksichtigen. Bei einer suboptimalen Kaliversorgung des Bodens (Korrekturfaktor für die Kali-Normdüngung grösser als 1) ist es empfehlenswert, auch Futteranalysen zur Bemessung der Kalidüngung zu berücksichtigen (vgl. Tab. 14): Andererseits erlauben Futteranalysen auch die Normen für die Kaliausscheidungen raufutterverzehrender Tiere (vgl. Fussnote 5 in Tab. 41) sowie den Kaligehalt der anfallenden

Tabelle 6. Allgemeine Beurteilung des Nährstoffzustandes des Bodens aufgrund der in Tabelle 13 bis Tabelle 19 ermittelten Korrekturfaktoren

Korrekturfaktor
über 1,4
1,2 - 1,4
0,9 - 1,1
0,2 - 0,8
unter 0,2

Tabelle 7. Chemisch-physikalische (bodenkundliche) und agronomische (v.a. Einfluss auf Stickstoffdynamik des Bodens) Beurteilung des Humusgehaltes des Bodens

Der Humusgehalt des Bodens entspricht dem organisch gebundenen Kohlenstoff (C) multipliziert mit 1,72.

Bodenkundliche Beurteilung bezüglich Bodenart (chem.-phys.)	
Humusgehalt in %	Bezeichnung
unter 2	humusarm
2 - 5	schwach humos
5-10	humos
10-20	humusreich
über 20	Humusboden

Tabelle 8. Beurteilung des pH-Wertes (Reaktion) und der Kalkbedürftigkeit des Bodens

pH(H_2O)	Bezeichnung
unter 5,3	stark sauer
5,3 - 5,8	sauer
5,9 - 6,7	schwach sauer
6,8 - 7,2	neutral
7,3 - 7,6	schwach alkalisch
über 7,6	alkalisch

Tabelle 9. Beurteilung des Kalkzustandes des Bodens aufgrund der Basensättigung

Basensättigung (%)	
Ackerland und Kunstwiesen	Naturwiesen
unter 40	unter 30
40 - 49	30 - 39
50 - 59	40 - 49
60 - 80	50 - 80
über 80	über 80

Tabelle 10. Beurteilung des Bor- und Mangengehaltes des Bodens

Bor	
Gehalt des Bodens (ppm)	Bezeichnung
< 0,6	arm
0,6 - 1,5	mässig
1,6 - 2,0	genügend
2,1 - 5,0	Vorrat
> 5,0	angereichert

Beurteilung	Versorgungsklasse
arm	A
mässig	B
genügend	C
Vorrat	D
angereichert	E

Agronomische Beurteilung (besonders hinsichtlich Stickstoffdynamik)			
Humusgehalt des Bodens (%)			Bezeichnung
unter 15 % Ton	15 - 30 % Ton	über 30 % Ton	
< 1,2	< 1,8	< 2,5	tief / gering
1,2 - 3,0	1,8 - 4,0	2,5 - 6,0	ausreichend / normal
3,0 - 7,0	4,0 - 8,0	6,0 - 10	erhöht
7 - 20	8 - 20	10 - 20	stark erhöht
> 20	>20	>20	sehr hoch

Salzsäureprobe	Kalkbedürftigkeit ¹
-	Kalkung erforderlich
-	Kalkung erforderlich
-	Erhaltungskalkung
+/-	Erhaltungskalkung
+	Keine Kalkung
+	Keine Kalkung

Bezeichnung des Kalkzu- standes des Bodens	Versorgungsklasse
sehr arm	A
arm	A
mässig	B
genügend	C
Vorrat	D

Mangan				
Versorgungs- klasse	Gehalt des Bodens (ppm)		Bezeichnung	Versorgungs- klasse
	aus- tausch- bar	leicht reduzier- bar		
A	< 2	< 50	arm	A
B	< 2	> 50	arm	A
C	> 2	< 50	mässig	B
D	> 2	> 50	genügend	C
E				

Hofdünger zu korrigieren (vgl. Fussnote 7 in Tab. 44).

Im *Ackerbau* kann die Pflanzenanalyse vor allem zur Lösung akuter Düngungsproblemen beitragen. Dabei ist stets zu beachten: Die Ergebnisse von Pflanzenanalysen zeigen den aktuellen Nährstoffgehalt einer Pflanze oder eines bestimmten Pflanzenteils. Die Interpretation der Resultate erfolgt mit Hilfe von Vergleichsuntersuchungen oder Referenzwerten aus der Literatur. Die Pflanzenanalyse erlaubt keine Rückschlüsse auf die Ursache von Ernährungsstörungen. Sie kann jedoch bei der Beurteilung der kurzfristigen Wirkung einer durchgeführten Düngungsmassnahme hilfreich sein.

Die Untersuchung von pflanzlichem Material (ganze Pflanze, Stängel, Blätter, Blatteile usw.) zur Beurteilung der Düngedürftigkeit hat folgende entscheidende Nachteile: Die Resultate können nur zur Überprüfung und eventuellen Korrektur bereits ausgeführter Massnahmen dienen und die Nährstoffkonzentrationen in den einzelnen Pflanzenteilen unterliegen starken Schwankungen (in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums, der Witterungs- und Wachstumsverhältnisse vor der Probenahme und teilweise sogar der Tageszeit). Die Resultate der Pflanzenanalyse können daher weder zur Düngungsplanung noch zur Bemessung der Grunddüngung verwendet werden.

6. Phosphat-, Kali- und Magnesiumdüngung

Die Bemessung der Phosphat-, Kali- und Magnesiumdüngung basiert auf dem Prinzip des Ersatzes der durch die Pflanzen entzogenen Nährstoffmengen bei optimal mit diesen Nährstoffen versorgten Böden. Bei der Festlegung der Düngungsnormen (Tab. 2 und Tab. 3) wurden nebst dem Entzug noch weitere Faktoren berücksichtigt (Kapitel 3.1 und Kapitel 3.3. Die *Anpassung der Düngungsnorm* an den Nährstoffgehalt des Bodens erfolgt mit sogenannten *Korrekturfaktoren* (Kapitel 6.1 und 6.2).

Für die Bestimmung der Phosphat-, Kali- und Magnesiumgehalte im Boden stehen künftig zwei Bodenuntersuchungssysteme für die Ermittlung der Düngedürftigkeit zur Verfügung. Einerseits können diese Nährstoffe mit dem «aggressiven» Ammoniumacetat+EDTA extrahiert werden, andererseits stehen die bis anhin verwendeten «milden» Extraktionsmittel (CO₂-gesättigtes Wasser für P und K;

Tabelle 11. Vorgehen zur Bestimmung des Korrekturfaktors für Böden mit einem Humusgehalt von mehr als 10 %
Der Humusgehalt des Bodens entspricht dem organisch gebundenen Kohlenstoff (C) multipliziert mit 1,72.

Humusgehalt des Bodens (%)	Tongehalt (%) der Feinerde des Bodens
10 - 20	unter 30
20 - 40	unter 30
über 40	-
-	über 30

Tabelle 12. Abweichung der Korrekturfaktoren, die nach der Ammoniumacetat+EDTA-Methode ermittelt wurden von denjenigen der CO₂- oder CaCl₂-Methode

Nährstoff	Böden
P	Alle Ton <10 % Ton 10-30 % Ton >30 % pH <6,8 pH 6,8-7,2 pH >7,2
K	Alle Ton <10 % Ton 10-30 % Ton >30 % pH <6,8 pH 6,8-7,2 pH >7,2
Mg	Alle Ton <10 % Ton 10-30 % Ton >30 % pH <6,8 pH 6,8-7,2 pH >7,2

Calciumchlorid für Mg) weiterhin zur Verfügung. Im ersten Fall geht man davon aus, dass die extrahierten Nährstoffe längerfristig von den Pflanzen genutzt werden können. Mit den milden Extraktionsmitteln werden vorwiegend die löslichen, den Pflanzen unmittelbar zur Verfügung stehenden Nährstoffe des Bodens erfasst. Beide Verfahren haben ihre Vor- und Nachteile. Die einzelnen Methoden eignen sich für die vielfältigen Bodentypen und -arten, die in der Schweiz vorkommen, mehr oder weniger gut als Grundlage für pflanzenbaulich und ökologisch optimale Düngungsempfehlungen.

Bei der Festlegung der Korrekturfaktoren für die Normdüngung werden sowohl der Nährstoff- und Tongehalt (Tab. 13 bis Tab. 19) als auch der Humusgehalt des Bodens (Tab. 11) berücksichtigt.

6.1. Korrektur der Phosphat-, Kali- und Magnesium-Normdüngung aufgrund der Ammoniumacetat+EDTA-Methode

Die Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen wird in der Regel anhand von mehrjährigen Feldversuchen an verschiedenen Standorten durchgeführt. Die Beziehungen zwischen den Gehalten im Boden und dem Pflanzengehalt beziehungsweise der Reaktion der Pflanzen auf die Düngung sind entscheidende Kriterien für eine zuverlässige Interpretation der Bodenuntersuchungsergebnisse. Für die Ammoniumacetat+EDTA-Methode

Korrekturfaktoren in Tabelle 13 bis Tabelle 19 benützen. Dabei sind die Kolonnen mit untenstehen dem Tongehalt des Bodens zu wählen (anstelle des effektiven Tongehaltes)
10 - 15 % Ton 5 - 10 % Ton 5 - 10 % Ton
effektiver Tongehalt des Bodens

Anzahl	Abweichung der Korrekturfaktoren der Ammoniumacetat+EDTA-Methode im Vergleich zur CO ₂ - bzw. CaCl ₂ -Methode; Anteil der Proben in %		
	grösser -0,2	0 ± 0,2	grösser +0,2
1390	14	70	16
61	22	66	12
1162	13	72	15
167	17	63	20
293	5	80	15
175	20	70	10
495	18	65	17
1390	9	80	11
61	41	59	0
1162	7	82	11
167	1	82	17
293	15	81	4
175	6	85	9
495	3	76	21
1390	22	73	5
61	22	71	7
1162	19	76	5
167	38	60	2
293	2	96	2
175	6	86	8
495	57	41	2

sind solche Untersuchungen weit fortgeschritten. Trotzdem war es nicht möglich, daraus entsprechende Korrekturfaktoren abzuleiten. Deshalb basieren die vorliegenden Korrekturfaktoren für diese Methode auf Vergleichen mit der Interpretation der CO₂-Methode (P, K) beziehungsweise der CaCl₂-Methode (Mg). Dazu wurden etwa 1300 Ackerbau- und einige wenige Futterbauschläge aus der ganzen Schweiz verwendet. Die folgenden Ausführungen beziehen sich deshalb zum weitaus grössten Teil auf den Ackerbau. Einige punktuelle Untersuchungen im Futterbau zeigen, dass die Düngeberatung aufgrund von Ergebnissen der Ammoniumacetat+EDTA-Methode mit einigen Unsicherheiten behaftet ist. Für die parzellenspezifische Düngeberatung im Futterbau wird deshalb in der Regel die Verwendung der CO₂-Methode empfohlen.

Die Übereinstimmung der Interpretation der Ergebnisse beider Methoden ist aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Extraktionsmittel stark von den Bodeneigenschaften abhängig (Tab. 12). Beim Phosphat sind die grössten Abweichungen bei den kalkhaltigen, schweren Böden (pH-Wert > 7,2, Tongehalt > 30 %) festzustellen, während beim Magnesium die stark kalkhaltigen Böden (pH > 7,6) die grössten Differenzen zwischen den beiden Extraktionsverfahren aufweisen. Auch durch eine spezielle Behandlung dieser beiden Bodengruppen konnte keine Verbesserung der Übereinstimmung erzielt werden. Die Elimination dieser Daten führt jedoch zu einer befriedigenden Übereinstimmung, das heisst in der überwiegenden Anzahl der Fälle zu einer ähnlichen Düngungsempfehlung. Falls im Einzelfall grössere Abweichungen der Düngungsempfehlung auftreten, ist bei der Bemessung der Düngung die Berücksichtigung früherer Bodenuntersuchungen sowie die Düngungspraxis der letzten Jahre empfehlenswert. Die Anpassung der Düngungsnorm an den parzellenspezifischen Nährstoffgehalt des Bodens erfolgt mit Hilfe der in Tabelle 13 bis Tabelle 15 aufgeführten Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der P-, K- beziehungsweise Mg-Gehalte sowie des Tongehaltes des Bodens. Für Böden mit einem Humusgehalt von über 10 % sind die Angaben in Tabelle 11 zu beachten.

Die jeweils ermittelten Korrekturfaktoren sind bis zur nächsten Untersuchung des Bodens bei der Düngung jeder Kultur zu berücksichtigen.

Tabelle 13. Korrekturfaktoren der Normdüngung für Phosphat in Abhängigkeit der P-Gehalte (mg P/kg, Ammoniumacetat+EDTA-Methode, AAE10-P) und des Tongehaltes des Bodens für Böden mit weniger als 10 % Humus, Böden mit weniger als 30 % Ton und kalkfreien Böden mit mehr als 30 % Ton

Für kalkhaltige Böden (pH>7,2) mit einem Tongehalt von >30 % wird die Verwendung der CO₂-Methode empfohlen. Bei wenig intensiv genutzten Wiesen ist ein Korrekturfaktor von höchstens 1,0 zu verwenden.

AAE10-P mg P/kg		
	0-4,9	5-9,9
0 - 9,9	1,5	1,5
10 - 14,9	1,5	1,5
15 - 19,9	1,5	1,4
20 - 24,9	1,4	1,4
25 - 29,9	1,4	1,4
30 - 34,9	1,4	1,3
35 - 39,9	1,3	1,3
40 - 44,9	1,3	1,3
45 - 49,9	1,3	1,2
50 - 54,9	1,2	1,2
55 - 59,9	1,2	1,2
60 - 64,9	1,2	1,0
65 - 69,9	1,0	1,0
70 - 74,9	1,0	1,0
75 - 79,9	1,0	1,0
80 - 84,9	1,0	1,0
85 - 89,9	1,0	0,8
90 - 94,9	0,8	0,8
95 - 99,9	0,8	0,6
100 - 104,9	0,6	0,6
105 - 109,9	0,6	0,4
110 - 114,9	0,4	0,4
115 - 119,9	0,4	0,2
120 - 124,9	0,2	0,2
125 - 129,9	0,2	0
≥130	0	

Tabelle 14. Korrekturfaktoren der Normdüngung für Kali in Abhängigkeit des K-Gehaltes (mg K/kg, Ammoniumacetat+EDTA-Methode, AAE10-K) und des Tongehaltes des Bodens für Böden mit weniger als 10 % Humus

Für intensive und mittelintensive Wiesen ist ein maximaler Korrekturfaktor von 1,2 und für wenig intensive Wiesen ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden. Bei mittelintensiven und intensiven Wiesen ist bei Kali-Gehalten des Futters über 25 g K/kg TS ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden.

AAE10-K mg K/kg		
	0-4,9	5-9,9
0 - 39,9	1,4	1,4
40 - 59,9	1,4	1,4
60 - 79,9	1,3	1,3
80 - 99,9	1,3	1,3
100 - 119,9	1,2	1,2
120 - 139,9	1,2	1,2
140 - 159,9	1,0	1,0
160 - 179,9	1,0	1,0
180 - 199,9	1,0	1,0
200 - 219,9	1,0	1,0
220 - 239,9	0,8	0,8
240 - 259,9	0,8	0,8
260 - 279,9	0,8	0,8
280 - 299,9	0,6	0,6
300 - 319,9	0,6	0,6
320 - 339,9	0,6	0,6
340 - 359,9	0,4	0,4
360 - 379,9	0,4	0,4
380 - 399,9	0,2	0,2
400 - 419,9	0,2	0,2
≥420	0	0

Tongehalt der Feinerde des Bodens (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2
1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6
1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4
0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,2
0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0
0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0
0,2	0,2	0,2	0,2	0	0		
0,2	0,2	0	0				
0	0						

Tongehalt der Feinerde des Bodens (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2
1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0
1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8
1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6
0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,2
0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0
0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0	
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0		
0,2	0,2	0	0	0			
0	0						

6.2. Korrektur der Phosphat- und Kali-Normdüngung aufgrund der CO₂-Methode

Die Anpassung der Düngungsnorm an den parzellenspezifischen Nährstoffgehalt des Bodens erfolgt für die CO₂-Methode mit Hilfe der in Tabelle 16 bis Tabelle 18 aufgeführten Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der P- beziehungsweise K- sowie des Tongehaltes des Bodens. Diese Korrekturfaktoren gelten für die meisten Böden des schweizerischen Mittellandes, der Voralpen und des Juras mit einem Humusgehalt unter 10 %. Für Böden mit einem Humusgehalt über 10 % sind die Angaben in Tabelle 11 zu beachten.

Schluffige Böden aus Bündner-Schiefer-Verwitterung sowie saure, sandige Böden im Kanton Tessin benötigen für Phosphat eine spezielle Beurteilung. Die

Tabelle 15. Korrekturfaktoren der Normdüngung für Magnesium in Abhängigkeit des Mg-Gehaltes (mg Mg/kg, Ammoniumacetat+EDTA-Methode, AAE10-Mg) und des Tongehaltes des Bodens für Böden mit weniger als 10 % Humus und einem pH-Wert $\leq 7,6$
Für Böden mit einem pH-Wert von mehr als 7,6 wird die CaCl₂-Methode empfohlen.

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

entsprechenden Korrekturfaktoren für die Phosphatdüngung sind in Tabelle 17 enthalten.

Die ermittelten Korrekturfaktoren sind bis zur nächsten Untersuchung des Bodens bei der Düngung jeder Kultur zu berücksichtigen.

Tabelle 17. Korrekturfaktoren der Normdüngung für Phosphat (P-Test, CO₂-Methode) im Acker- und Futterbau für schluffige Böden aus Bündner-Schiefer-Verwitterung sowie für sandige, saure Böden im Kanton Tessin.

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

Tabelle 16. Korrekturfaktoren der Normdüngung für Phosphat im Acker- und Futterbau in Abhängigkeit der Phosphat-Testzahl (P-Test, CO₂-Methode) und des Tongehaltes des Bodens für Böden mit weniger als 10 % Humus.

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

Phosphat-Testzahl (P-Test)	Korrekturfaktor
Schluffige Böden aus Bündner-Schiefer-Verwitterung mit einem Tongehalt der Feinerde unter 25 % und einem Schluffgehalt der Feinerde über 40 %	Sandige, saure Böden im Kanton Tessin mit einem Tongehalt der Feinerde unter 10 %, einem Sandgehalt der Feinerde über 50 % und einem pH-Wert unter 5,9
0 - 2,9	0 - 2,1 1,5
3,0 - 4,9	2,2 - 2,5 1,4
5,0 - 6,9	2,6 - 2,9 1,3
7,0 - 8,9	3,0 - 3,3 1,3
9,0 - 10,4	3,4 - 3,7 1,2
10,5 - 11,4	3,8 - 4,1 1,2
11,5 - 12,4	4,2 - 4,5 1,1
12,5 - 13,4	4,6 - 4,9 1,1
13,5 - 14,4	5,0 - 5,3 1,0
14,5 - 15,4	5,4 - 5,7 1,0
15,5 - 16,7	5,8 - 6,4 1,0
16,8 - 18,3	6,5 - 7,4 0,9
18,4 - 19,9	7,5 - 8,4 0,8
20,0 - 21,5	8,5 - 9,4 0,7
21,6 - 23,1	9,5 - 10,4 0,6
23,2 - 24,7	10,5 - 11,4 0,5
24,8 - 26,3	11,5 - 12,4 0,4
26,4 - 27,9	12,5 - 13,4 0,3
28,0 - 29,5	13,5 - 14,4 0,2
29,6 - 30,4	14,5 - 15,4 0,2
über 30,4	über 15,4 0

AAE10-Mg mg Mg/kg	0-4,9	5-9,9
0 - 49,9	1,2	1,2
50 - 74,9	1,0	1,0
75 - 99,9	1,0	1,0
100 - 124,9	0,8	0,8
125 - 149,9	0,8	0,8
150 - 174,9	0,4	0,4
175 - 199,9	0,4	0,4
200 - 224,9	0,2	0,2
225 - 249,9	0,2	0,2
250 - 274,9	0	0
275 - 299,9		
300 - 324,9		
325 - 349,9		
350 - 374,9		
375 - 399,9		
400 - 424,9		
425 - 449,9		
450 - 474,9		
475 - 499,9		
500 - 524,9		
525 - 549,9		
≥550		

P-Test	0-4,9	5-9,9
0 - 1,9	1,5	1,5
2 - 2,9	1,5	1,5
3 - 3,9	1,5	1,5
4 - 4,9	1,5	1,5
5 - 5,9	1,5	1,4
6 - 6,9	1,4	1,3
7 - 7,9	1,3	1,2
8 - 8,9	1,2	1,1
9 - 9,9	1,1	1,0
10 - 10,9	1,0	1,0
11 - 11,9	1,0	1,0
12 - 12,9	1,0	1,0
13 - 13,9	1,0	1,0
14 - 14,9	1,0	1,0
15 - 15,9	1,0	0,9
16 - 16,9	1,0	0,9
17 - 17,9	0,9	0,9
18 - 18,9	0,9	0,8
19 - 19,9	0,9	0,8
20 - 20,9	0,8	0,7
21 - 21,9	0,8	0,7
22 - 22,9	0,8	0,7
23 - 23,9	0,7	0,6
24 - 24,9	0,7	0,6
25 - 25,9	0,7	0,6
26 - 26,9	0,6	0,5
27 - 27,9	0,6	0,5
28 - 28,9	0,6	0,5
29 - 29,9	0,5	0,4
30 - 30,9	0,5	0,4
31 - 31,9	0,5	0,4
32 - 32,9	0,4	0,3
33 - 33,9	0,4	0,3
34 - 34,9	0,4	0,3
35 - 35,9	0,3	0,2
36 - 36,9	0,3	0,2
37 - 37,9	0,3	0,0
38 - 38,9	0,2	
39 - 39,9	0,2	
40 - 40,9	0,2	
≥41	0,0	

Tongehalt der Feinerde des Bodens (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6
1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6
1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4
1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4
1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4
0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2
0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0
0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0
0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8
0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8
0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6
	0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6
		0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
			0	0,2	0,2	0,2	0,4
				0	0,2	0,2	0,2
					0	0,2	0,2
						0	0,2
							0

Tongehalt der Feinerde des Bodens (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2
1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7
1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6
1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
0,9	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,0
0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,0	
0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2		
0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0,0		
0,7	0,6	0,5	0,3	0,2			
0,6	0,5	0,4	0,3	0,0			
0,6	0,5	0,4	0,2				
0,6	0,5	0,4	0,2				
0,5	0,4	0,3	0,0				
0,5	0,4	0,3					
0,5	0,4	0,2					
0,4	0,3	0,0					
0,4	0,3						
0,4	0,2						
0,3	0,0						
0,3							
0,2							
0,2							
0,0							

6.3. Korrektur der Magnesium-Normdüngung aufgrund der CaCl₂-Methode

Die Interpretation der Analysenergebnisse beziehungsweise die Korrektur der Normdüngung ist ähnlich wie beim Kali vom Tongehalt des Bodens abhängig. Aufgrund der Eigenschaften des Extraktionsmittels (Austauschlösung) steigt die optimale Versorgung der Böden (Korrekturfaktor 1,0) mit zunehmendem Tongehalt an.

6.4. Spezielle Hinweise zum Einsatz von Phosphat-, Kali- und Magnesiumdüngern

Mineralische Phosphatdünger werden in der Regel vor der Grundboden- oder vor der Saatbettbereitung ausgebracht. Bezüglich Wahl der Phosphatform sind die Angaben in Tabelle 55 und Tabelle 58 zu beachten.

Um Kali-Luxuskonsum durch einige Futterpflanzen zu verhindern, der meist den Magnesiumgehalt in der Pflanze verringert, sind *mineralische Kaligaben* von mehr als etwa 200 kg K₂O/ha in zwei Teilgaben auszubringen (z.B. bei Vegetationsbeginn und nach der 2. Nutzung). Im Ackerbau sind mögliche Salzschiiden bei empfindlichen Kulturpflanzen zu verhindern, indem man Kaligaben in mineralischer Form auf 300 kg K₂O/ha beschränkt. Höhere Kaligaben sind mit Vorteil teilweise in Form von Hofdünger oder zu einer Gründüngung zu verabreichen. Auf sandigen Böden ist die Kalidüngung im Spätwinter oder Frühjahr durchzuführen; dadurch können nennenswerte Kaliverlagerungen in tiefere, nicht durchwurzelbare Bodenschichten verhindert werden. Bei der Wahl der mineralischen Dünger sind deren Eigenschaften (Tab. 55 und Tab. 58) zu beachten. Magnesium ist im Boden relativ gut beweglich. Daher ist folgendes zu beachten, um Auswaschungsverluste zu vermeiden: Wasserlösliche *Magnesiumdünger* (Magnesiumsulfat) sind ähnlich wie Stickstoffdünger, kurz vor einem grösseren Bedarf der Kulturen, einzusetzen. Zur Verbesserung der mittel- und langfristigen Magnesiumversorgung des Bodens sind mindestens teilweise weniger lösliche Magnesiumformen (Tab. 55) wie Magnesiumoxid (MgO) oder Magnesiumumkarbonat (MgCO₃ in Dolomitkalk) zu wählen. Bei Korrekturfaktoren unter 0,8 können Hofdünger, welche beim Einsatz von be-

Tabelle 18. Korrekturfaktoren der Normdüngung für Kali im Acker- und Futterbau in Abhängigkeit der Kali-Testzahl (K-Test, CO₂-Methode) und des Tongehaltes des Bodens für Böden mit weniger als 10 % Humus.

Für intensive und mittelintensive Wiesen ist ein maximaler Korrekturfaktor von 1,2 und für wenig intensive Wiesen ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden. Bei mittelintensiven und intensiven Wiesen ist bei Kali-Gehalten des Futters über 25 g K/kg TS ein maximaler Korrekturfaktor von 1,0 zu verwenden.

K-Test	Tongehalt des Bodens	
	0-4,9	5-9,9
0 - 0,49	1,5	1,5
0,50 - 0,74	1,5	1,5
0,75 - 0,99	1,5	1,5
1,00 - 1,24	1,5	1,5
1,25 - 1,49	1,5	1,5
1,50 - 1,74	1,5	1,4
1,75 - 1,99	1,5	1,4
2,00 - 2,24	1,4	1,3
2,25 - 2,49	1,3	1,2
2,50 - 2,74	1,2	1,1
2,75 - 2,99	1,1	1,0
3,00 - 3,24	1,0	1,0
3,25 - 3,49	1,0	1,0
3,50 - 3,74	1,0	1,0
3,75 - 3,99	1,0	1,0
4,00 - 4,24	1,0	0,9
4,25 - 4,49	0,9	0,9
4,50 - 4,74	0,9	0,8
4,75 - 4,99	0,9	0,8
5,00 - 5,24	0,8	0,7
5,25 - 5,49	0,8	0,7
5,50 - 5,74	0,8	0,7
5,75 - 5,99	0,7	0,6
6,00 - 6,24	0,7	0,6
6,25 - 6,49	0,7	0,6
6,50 - 6,74	0,6	0,5
6,75 - 6,99	0,6	0,5
7,00 - 7,24	0,6	0,5
7,25 - 7,49	0,5	0,4
7,50 - 7,74	0,5	0,4
7,75 - 7,99	0,5	0,4
8,00 - 8,24	0,4	0,3
8,25 - 8,49	0,4	0,3
8,50 - 8,74	0,4	0,3
8,75 - 8,99	0,3	0,2
9,00 - 9,24	0,3	0,2
9,25 - 9,49	0,3	0,0
9,50 - 9,74	0,2	
9,75 - 9,99	0,2	
10,00 - 10,24	0,2	
≥10,25	0,0	

Tabelle 19. Korrekturfaktoren der Normdüngung für Magnesium im Acker- und Futterbau in Abhängigkeit der Magnesium-Testzahl (Mg-Test, CaCl₂-Methode) und des Tongehaltes des Bodens für Böden mit weniger als 10 % Humus.

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

Mg-Test	Tongehalt des Bodens	
	0-4,9	5-9,9
0 - 1,9	1,4	1,4
2 - 2,9	1,2	1,4
3 - 3,9	1,2	1,2
4 - 4,9	1,0	1,2
5 - 5,9	1,0	1,0
6 - 6,9	1,0	1,0
7 - 7,9	0,8	1,0
8 - 8,9	0,8	1,0
9 - 9,9	0,6	0,8
10 - 10,9	0,6	0,6
11 - 11,9	0,4	0,6
12 - 12,9	0,2	0,4
13 - 13,9	0,0	0,4
14 - 14,9		0,2
15 - 15,9		0,0
16 - 16,9		
17 - 17,9		
18 - 18,9		
19 - 19,9		
20 - 20,9		
21 - 21,9		
22 - 22,9		
23 - 23,9		
24 - 24,9		
25 - 25,9		
26 - 26,9		
27 - 27,9		
28 - 28,9		
≥29		

triebseigenem Futter anfallen, auch ausgebracht werden, wenn im Boden bereits grössere Nährstoffvorräte vorhanden sind (Korrekturfaktoren unter 0,8). Die ausgebrachten Nährstoffmengen sollten in diesen Fällen jedoch 80 % der Normdüngung (Korrekturfaktor 0,8) nicht übersteigen. Anfallende Nährstoffe in Hofdüngern aus betriebsfremden Futtermitteln sowie betriebsfremde Dünger sollten aus der Sicht einer optimalen Ernährung der Pflanzen und aus ökologischen Gründen nur in Mengen ausgebracht werden, welche der aufgrund des Bodengehaltes korrigierten Normdüngung entsprechen.

Tongehalt der Feinerde des Bodens (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1
1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8
1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2
1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,0
1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,0	
0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2		
0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,0		
0,8	0,8	0,7	0,5	0,3			
0,8	0,7	0,6	0,4	0,2			
0,7	0,7	0,6	0,3	0,0			
0,7	0,6	0,5	0,3				
0,6	0,6	0,4	0,2				
0,6	0,5	0,4	0,0				
0,6	0,5	0,3					
0,5	0,4	0,3					
0,5	0,4	0,2					
0,5	0,3	0,0					
0,4	0,3						
0,4	0,2						
0,4	0,2						
0,3	0,0						
0,3							
0,2							
0,2							
0,0							

Tongehalt der Feinerde des Bodens (%)							
10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-29,9	30-34,9	35-39,9	40-44,9	≥45
1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
1,0	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6
1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,4	1,6
1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,4
0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4
0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2
0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0
0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0
	0,0	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0
		0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8
			0,0	0,4	0,6	0,6	0,6
				0,2	0,4	0,6	0,6
				0,0	0,4	0,6	0,6
					0,2	0,4	0,6
					0,0	0,4	0,4
						0,2	0,4
						0,0	0,2
							0,2
							0,0

7. Stickstoffdüngung

7.1. Ackerbau

Die Optimierung der Stickstoffdüngung ist wesentlich heikler und komplexer als diejenige anderer Nährstoffe, da verschiedene Einflussfaktoren stets grösseren witterungsbedingten und damit weder voraussehbaren noch genau kalkulierbaren Schwankungen unterliegen. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind die *Stickstoffmineralisierung* des Bodens (abhängig von der Witterung, vom Humusgehalt des Bodens, der Vorfrucht, der Bodenbearbeitung, der Bodenstruktur, der Nachwirkung organischer Dünger wie Hofdünger, Ernterückstände, Gründünger), der *zeitliche und mengenmässige Bedarf der Kulturpflanzen* (abhängig von den herrschenden Wachstumsbedingungen), der stark *schwankende Gehalt und der unsichere Mineralisierungszeitpunkt (Wirkungszeitpunkt) organischer Dünger* wie Mist, Gülle, Gründünger, Kompost und Klärschlamm sowie das Ausmass von *Stickstoffverlusten* durch Nitratauswaschung, Ammoniakverflüchtigung und Denitrifikation. Da es zurzeit kein absolut sicheres Verfahren gibt, diese Einflussfaktoren zuverlässig zu beurteilen, werden hier zwei verschiedene Ansätze zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Ackerbau beschrieben. Während der erste Ansatz auf langjährig erarbeiteten Schätzungen der einzelnen Einflussfaktoren basiert (Schätzmethode oder Methode korrigierter Normen), wird beim zweiten Ansatz das Ergebnis aller stickstoffdynamischen Prozesse mit Hilfe einer relativ aufwändigen Bodenuntersuchung zu definierten Zeitpunkten analytisch bestimmt (Messmethode oder N_{\min} -Methode). Aufgrund der Kenntnisse, der Erfahrungen sowie der Möglichkeit, Bodenproben zur Bestimmung des Gehaltes an Mineralstickstoff (N_{\min}) zu entnehmen und untersuchen zu lassen, wird das eine oder andere der beschriebenen Verfahren gewählt. Dabei ist zu beachten, dass die Schätzmethode vor allem in Gebieten mit geringeren Niederschlägen und einfacheren Fruchtfolgen zu guten Ergebnissen führen kann, während die Messmethode unter feuchterem Klima und vielfältigen Fruchtfolgen Vorteile aufweist.

Unabhängig von der gewählten Methode sind die in Tabelle 20 enthaltenen Angaben bezüglich Aufteilung, Zeitpunkt und Höchstmenge der einzelnen Stickstoffgaben zu den verschiedenen Kulturen zu beachten. Dabei sind insbesondere die

Tabelle 20. Optimaler Zeitpunkt und Höchstmenge einzelner Stickstoffgaben zu verschiedenen Kulturen in Abhängigkeit von Niederschlags- und Bodenverhältnissen

Bei einem ausgewiesenen höheren N-Bedarf sind die aufgeführten maximalen N-Gaben zu den definierten Zeitpunkten nicht zu erhöhen. Es kann jedoch zum Zeitpunkt des erhöhten Bedarfs eine zusätzliche Gabe von maximal 40 kg N/ha verabreicht werden.

angegebenen maximalen N-Gaben bei Vegetationsbeginn der Winterkulturen (Wintergetreide, Raps) sowie diejenigen zur Saat bzw. Pflanzung der Sommerkulturen (Sommergetreide, Hackfrüchte) nicht zu überschreiten, um das Risiko von Nitratauswaschungsverlusten möglichst klein zu halten.

Kultur bzw. Gruppe von Kulturen	
Getreide und Mais Wintergetreide	
Sommergetreide	
Körner- und Silomais	
Grünmais	
Knollen- und Wurzelfrüchte Kartoffeln für Speisezwecke und techn. Verarbeitung	
Frühkartoffeln	
Saatkartoffeln	
Zucker- und Futterrüben	
Öl- und Faserpflanzen Winterraps	
Sommerraps	
Sonnenblumen	
Ölhanf	
Faserhanf	
Öllein	
Faserlein	
Chinaschilf	
Kenaf	
Körnerleguminosen	
Feldgemüse Kabis, Einschnaide-	
Rosenkohl	
Endivie	
Karotten, Lager-	
Erbsen, Bohnen (Verarbeitung)	
Zwiebeln, gesteckt	
Spinat	
Gründüngung	
Übrige Kulturen Tabak (Burley)	

Trockenere Gebiete ¹ oder tiefgründigere Böden ²		Feuchtere Gebiete ³ oder flachgründigere Böden ⁴	
Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	Max. N-Gabe (kg N/ha)	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	Max. N-Gabe (kg N/ha)
Herbst (vor/nach der Saat)	0	Herbst (vor/nach der Saat)	0
Ende Winter - Vegetationsbeginn	60	Vegetationsbeginn	60
Beginn Schossen - 1 Knoten	80	1 Knoten	70
2 Knoten - Öffnen der Blattscheide	40	Erscheinen letztes Blatt - Beginn Ährenschieben	50
Saat	40	Saat	30
Bestockung - Beginn Schossen	80	3 Blätter - Beginn Bestockung	50
2 Knoten - Öffnen der Blattscheide	40	1 Knoten	40
		Erscheinen letztes Blatt - Beginn Ährenschieben	40
Saat	80	Saat	40
6 - 8 Blätter	80	4 - 6 Blätter	40
		6 - 8 Blätter	80
Saat	60	Saat	50
4-6 Blätter	40	4-6 Blätter	50
Pflanzung	80	Pflanzung	40
Auflaufen - Stauden 10 cm	80	Stauden 10 - 15 cm	80
		Kurz vor dem Schliessen der Stauden in der Reihe	40
Pflanzung	60	Pflanzung	40
Auflaufen - Stauden 10 cm	60	Stauden 5 - 10 cm	80
Pflanzung	50	Pflanzung	40
Auflaufen - Stauden 10 cm	50	Stauden 5 - 10 cm	60
Saat	80	Saat	40
4 - 6 Blätter	80	4 - 6 Blätter	60
		6 - 8 Blätter	60
Saat	40	Saat	40
Ende Winter - Vegetationsbeginn	80	Vegetationsbeginn	80
Beginn Streckung	60	Streckung (Pflanzenhöhe ca. 30-40 cm)	60
Saat	50	Saat	30
Rosettenbildung bis	80	Rosettenstadium	60
Beginn Streckung		Streckung (Pflanzenhöhe ca. 30-40 cm)	40
Saat	80	Saat	40
		6 - 8 Blätter	40
Saat	40	Saat	40
Pflanzenhöhe 15-20 cm	40	Pflanzenhöhe 15-20 cm	30
Saat	50	Saat	40
Pflanzenhöhe 15-20 cm	70	Pflanzenhöhe 15-20 cm	80
Saat	50	Saat	30
Pflanzenhöhe 15-20 cm	40	Pflanzenhöhe 15-20 cm	40
Saat	30	Saat	20
Pflanzenhöhe 15-20 cm	30	Pflanzenhöhe 15-20 cm	40
Vegetationsbeginn	40	Vegetationsbeginn	40
Saat	50	Saat	30
Pflanzenhöhe 15-20 cm	50	Pflanzenhöhe 15-20 cm	60
	0		0
Pflanzung	50	Pflanzung	30
Kulturwoche 4	80	Kulturwoche 4	70
		Kulturwoche 6	30
Pflanzung	40	Pflanzung	30
Kulturwoche 4	70	Kulturwoche 4	50
		Kulturwoche 6	30
Saat	30	Saat	30
Saat	40	Saat	30
Kulturwoche 4	60	Kulturwoche 4	60
	0		0
Pflanzung	20	Pflanzung	20
Kulturwoche 4	60	Kulturwoche 4	50
Saat	40	Saat	30
Kulturwoche 4	60	Kulturwoche 4	60
Saat	40	Saat	40
Pflanzung	100	Pflanzung	80
4 - 6 Blätter	80	4 - 6 Blätter	100

¹ Niederschlagssumme von Januar bis Juni unter 450 mm; ² Speichervermögen an leicht verfügbarem Wasser über 70 mm

³ Niederschlagssumme von Januar bis Juni über 450 mm; ⁴ Speichervermögen an leicht verfügbarem Wasser unter 70 mm

7.1.1. Methode der korrigierten Normen (Schätzmethode)

7.1.1.1. Grundsätze zur Methode der korrigierten Normen

Die Stickstoff-Normdüngung der einzelnen Kulturen (Tab. 21) basiert nicht auf dem Stickstoffentzug durch die Kulturpflanzen, wie dies bei Phosphat, Kali und Magnesium der Fall ist. Sie ist ein Mittelwert, welcher in einer grossen Anzahl von Feldversuchen während mehreren Jahren an verschiedenen Standorten empirisch ermittelt worden ist. Sie ist demnach unter durchschnittlichen Standorts- und Witterungsbedingungen gültig.

Das Ertragsniveau der verschiedenen Kulturen wird in erster Linie durch die Standort- und Witterungsbedingungen bestimmt. Günstiges Wetter (Temperatur und Niederschlagsverteilung) und günstige Bodenbedingungen (Wasser- und Lufthaushalt) erlauben den Pflanzen ein intensiveres Wachstum als ungünstige Bedingungen. Auch die Mikroorganismen des Bodens reagieren auf günstiges Wetter und günstige Bodenbedingungen mit einer erhöhten Aktivität (Stickstoffmineralisierung). In diesem Sinne verlaufen das standort- und witterungsspezifische Wachstum der Pflanzen und die Stickstoffmineralisierung des Bodens synchron und führen ohne Stickstoffdüngung zu sehr unterschiedlichen Erträgen. Der Mehrertrag durch die Stickstoffdüngung ist bei zeitlich und mengenmässig optimiertem Einsatz der Dünger praktisch unabhängig vom Ertrag ohne Stickstoffdüngung (Abb. 5). Sie bedarf daher in der Regel keiner ertragsabhängigen Korrektur.

Die Aufteilung der N-Gaben ist in einzelnen Fällen speziellen Anbautechniken (Streifenfrässaat, Direktsaat) oder Sorteneigenschaften (besonders bei Kartoffeln) anzupassen. Diese eventuell notwendigen Besonderheiten sind kulturspezifischen Empfehlungen und Anleitungen der landwirtschaftlichen Beratung zu entnehmen.

Tabelle 21. Stickstoffdüngungsnormen für den Ackerbau

Diese Normen gelten für die aufgeführten Durchschnittserträge. Bei regelmässig höheren Erträgen sind keine Korrekturen vorzunehmen. Bei regelmässig geringeren Erträgen von mehr als 20 % ist die Normdüngung im gleichen Ausmass wie die Ertragsreduktion zu korrigieren. Dies gilt vor allem für Randgebiete des Ackerbaus.

Beispiel: Für ein durchschnittliches Ertragsniveau von 60 dt/ha Winterweizen beträgt die Stickstoffnormdüngung 140 kg N/ha. Für ein mittleres Ertragsniveau von 75 dt/ha beträgt die Stickstoffnormdüngung ebenfalls 140 kg N/ha. Für ein mittleres Ertragsniveau von 45 dt/ha beträgt die lineare Reduktion der Stickstoffnormdüngung 25 % von 140 kg N/ha. Die korrigierte Stickstoffnormdüngung beträgt in diesem Fall 105 kg N/ha. Diese Normen sind für die praktische Bemessung der N-Gaben nur unter Berücksichtigung der in Tabelle 22 bis Tabelle 27 aufgeführten Korrekturen zu verwenden.

Kultur

Getreide und Mais

Winterweizen
Sommerweizen
Wintergerste
Sommergerste
Winter- und Sommerhafer
Winterroggen
Korn (Dinkel)
Wintertriticale
Sommertriticale
Einkorn, Emmer
Körnermais
Silomais
Grünmais

Knollen- und Wurzelfrüchte

Kartoffeln (für Speisezwecke und technische Verarbeitung)
Frühkartoffeln, Saatkartoffeln
Zuckerrüben
Futterrüben

Öl- und Faserpflanzen

Winterraps
Sommerraps
Sonnenblumen
Ölhanf
Faserhanf
Öllein
Faserlein (Flachs)
Chinaschilf
Kenaf

Körner- und Eiweissleguminosen

Feldgemüse

Kabis, Einschneide-
Rosenkohl
Chicorée, Wurzelanbau
Karotten, Lager/Verarbeitung
Erbsen, Bohnen (technische Verarbeitung)
Zwiebeln, gesteckt
Spinat, 1 Schnitt

Gründüngung

Gründüngung (Leguminosen)
Gründüngung (Nichtleguminosen)

Übrige Kulturen

Tabak Burley
Tabak Virginie
Nicht aufgeführte Kulturen (Nichtleguminosen)

Ertrag ¹		Norm
Produkt	dt/ha	(kg N/ha)
Körner	60	140
Körner	50	120
Körner	60	110
Körner	45	90
Körner	55	90
Körner	55	90
Körner	50	100
Körner	60	110
Körner	55	100
Körner	25	40
Körner	80	110
Ganzpflanze ²	160	110
Ganzpflanze ²	60	70
Knollen	450	120
Knollen	250	100
Rüben	600	100
Rüben ²	160	100
Körner	35	140
Körner	25	120
Körner	30	60
Körner	13	60
Stängel ²	100	50
Körner	20	70
Stängel	45	60
Ganzpflanze ²	200	30
Ganzpflanze ²	50	70
		0
Köpfe	800	200
Rosetten	120	160
Wurzeln	400	0
Wurzeln	600	120
		0
Ganzpflanze ³	500	100
Blätter	120	140
		0
–	–	30
Blätter	25	170
Blätter	25	0
		80

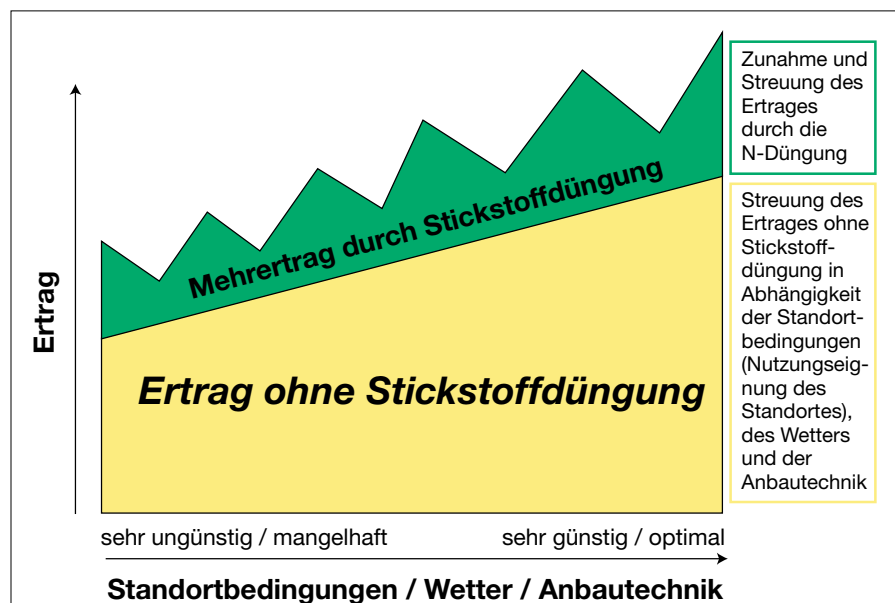


Abbildung 5. Schematische Darstellung der Streuung des Ertrages in Abhängigkeit der Standortbedingungen, des Wetters, der Anbautechnik und der Stickstoffdüngung.

¹ Mit einem bei der Ernte üblichen Wassergehalt

² TS-Ertrag

³ Nach Trocknung auf dem Feld, Ganzpflanze abgeführt

Das Prinzip der Methode der korrigierten Normen für die Optimierung der Stickstoffdüngung im Ackerbau ist schematisch in Abbildung 6 dargestellt.

Die Angaben in Tabelle 22 bis Tabelle 27 bilden zusammen mit der Stickstoff-Normdüngung (Tab. 21) eine Einheit. Für die Berechnung der korrigierten N-Norm ist grundsätzlich für jede Kultur und Parzelle ein Wert aus jeder Tabelle zu entnehmen. Da die Korrekturwerte Mittelwerte aus einer grossen Anzahl von Versuchen sind, können die Einflüsse der einzelnen Faktoren im Einzelfall von den angegebenen Werten abweichen.

7.1.1.2. Vorgehen zur Bestimmung der korrigierten Norm

Ausgehend von den Normen in Tabelle 21 ist die parzellenspezifische Stickstoffdüngung gemäss den Angaben in Tabelle 22 bis Tabelle 27 zu korrigieren. Dabei ist zu beachten, dass aus jeder Tabelle ein Wert entnommen wird. Die berechnete Gesamtgabe ist so auf die einzelnen Gaben zu verteilen, dass die in Tabelle 20 enthaltenen maximalen N-Gaben zu den verschiedenen Zeitpunkten und Entwicklungsstadien nicht überschritten werden. Umfangreiche Untersuchungen unter den bodenkundlich-klimatischen Bedingungen der Deutschschweiz zeigten, dass besonders bei den Hackfrüchten die einfache Addition aller Korrekturen der Tabelle 22 bis Tabelle 27 nicht selten zu erhöhten Abweichungen von der optimalen Stickstoffgabe führte. Um grobe Düngungsfehler zu verhindern, ist für diese Region die Summe der Korrekturen zu halbieren und dann zur Normdüngung zu addieren.

Angaben über die Korrektur der Stickstoff-Normdüngung in je nach Ton- und Humusgehalt des Bodens sind in Tabelle 22, diejenigen zur Korrektur in Abhängigkeit der Vorkultur in Tabelle 23 enthalten.

Tabelle 22. Korrektur der Stickstoff-Normdüngung in Abhängigkeit des Ton- und Humusgehaltes des Bodens
Der Humusgehalt des Bodens entspricht dem organisch gebundenen Kohlenstoff (C) multipliziert mit 1,72.

Tabelle 23. Korrektur der Stickstoff-Normdüngung in Abhängigkeit der Vorkultur

Norm

kg N/ha

Tabelle 21

+

Humusgehalt des Bodens in %
< 15 % Ton
unter 3
3 - 5
5 - 7
7 - 12
12 - 20
> 20

Vorkultur
Natur- oder Kunstwiese, Klee gras (älter als 3 Jahre oder älter) Kunstwiese, Klee gras (2 Jahre) Kunstwiese, Klee gras (1 Jahr) Reiner Grasbestand (mehr als 90 % Gräser) Natur- oder Kunstwiese, Klee gras (3 Jahre oder älter) als Vor-Vorkultur ¹
Kunstwiese mit vor Ris penschieben gemulchtem Aufwuchs Kunstwiese mit bei Gräserblüte gemulchtem Aufwuchs
Getreide (Stroh geerntet) <i>Getreide oder Mais (Stroh eingearbeitet) vor</i> - im Herbst gesäte Kulturen - im Frühjahr (Februar/März) gesäte bzw. gepflanzte Kulturen - im Frühjahr (März/April) gesäte bzw. gepflanzte Kulturen Getreide gefolgt von Getreide
Silomais Kartoffeln, Feldgemüse Raps, Sonnenblumen (Stroh eingearbeitet) Tabak Körnerleguminosen (Eiweisserbsen, Ackerbohnen, Sojabohnen)
Rüben (Kraut geerntet) Rüben (Kraut eingearbeitet)
Gründüngung mit nicht winterharten Kulturen (Phacelia, Gelbsenf usw.) Gründüngung mit winterharten Kreuzblütlern (Raps, Rübsen usw.), mindestens 20 cm hoch Gründüngung mit Ackerbohnen (vor der Blüte), Landsbergergeme nge (Beginn Blüte), Wickhafer (mindestens 20 cm hoch) Gründüngung mit Getreide (Beginn Schossen), Sonnenblumen (vor Blüte) Zwischenfutterbau

Korrekturwerte

1. Ton- und Humusgehalt des Bodens: Tabelle 22
2. Vorfrucht; Tabelle 23
3. Nachwirkung von Hofdüngern: Tabelle 24
4. Winterniederschläge; Tabelle 25
5. Hacken nach dem Auflaufen der Kultur: Tabelle 26
6. N-Mineralisierungspotenzial des Bodens; Tabelle 27

=

zu
düngende
Stickstoff-
menge

kg N/ha

Abbildung 6. Schematische Darstellung der Methode der korrigierten Normen (Schätzmethode).

		Korrekturwert (kg N/ha)
15 - 30 % Ton	> 30 % Ton	
unter 4	unter 6	0
4 - 6	6 - 8	-20
6 - 8	8 - 10	-30
8 - 13	10 - 15	-50
13 - 20	15 - 20	-80
> 20	> 20	-120

Korrekturwert für Folgekultur (kg N/ha)	
Umbruch / Einarbeitung	
Herbst	Frühling
-20	-35
-15	-25
-10	-15
0	0
-10	-10
-	-30 bis -60 ²
-	-20 bis -40 ²
0	
+20	
+10	
0	
0	
0	
0	
0	
-30	-20
0	
-20	
-10	0
-10	-20
-	-30
-	-30
0	

¹ Diese Korrektur kann zu einer zweiten Korrektur dieser Tabelle addiert werden

² Kleinerer Wert: Bei geringem Kleeanteil; größerer Wert: Bei hohem Kleeanteil

Der Stickstoff in den Hofdüngern ist weder vollständig noch unmittelbar verfügbar für die Pflanzen. Während in Tabelle 46 der im Anwendungsjahr verfügbare Anteil aufgeführt ist (vornehmlich $\text{NH}_4\text{-N}$), erlauben die Angaben in Tabelle 24 die Nachwirkung aus dem organischen Stickstoffanteil im zweiten Jahr nach dem Hofdüngereinsatz abzuschätzen. Je nach Art der Hofdünger kann die Stickstoffmineralisierung länger dauern und verläuft im Laufe der Zeit immer langsamer, da die nach jedem Jahr übrigbleibende organische Substanz immer schwerer abbaubar ist; mit zunehmendem Anteil an organisch gebundenem Stickstoff in den Hofdüngern wird die verfügbare Stickstoffmenge pro Jahr immer kleiner und die Nachwirkung dauert länger an (z.B. Stallmist). Zur Vereinfachung wird die Stickstoff-Nachwirkung der Hofdünger auf ein Jahr beschränkt. Die Stickstoffwirkung der Hofdünger ist bei regelmäßigem Einsatz (alle 2 bis 3 Jahre) mässiger Mengen (15-25 t/ha) deutlich besser als bei einmaligem oder unregelmässigem Einsatz grösserer Mengen.

Die Angaben in Tabelle 25 basieren auf der Annahme, dass die Winter- und Frühljahrsniederschläge nicht nur die Auswaschung von Nitratstickstoff beeinflussen, sondern infolge mehr oder weniger häufiger Wassersättigung der Böden auch die mikrobielle Mineralisierung und die Denitrifikation von Stickstoff vermindert beziehungsweise gefördert werden.

Mehrmaliges Hacken der Kulturen nach dem Auflaufen kann die Stickstoffmineralisierung des Bodens fördern. Dabei ist die zusätzlich mineralisierbare N-Menge in erster Linie vom Humusgehalt des Bodens abhängig (Tab. 26).

Das Stickstoffmineralisierungspotenzial des Bodens ist in erster Linie abhängig vom Gehalt an organischem Stickstoff (Humus) sowie von der Durchlüftung (Struktur, Tonanteil) des Bodens. Die Angaben in Tabelle 27 lassen einen gewissen Spielraum, um eigene Erfahrungen bezüglich Stickstoffdynamik der Böden miteinzubeziehen. Allgemeine Informationen über den N_{\min} -Gehalt der Böden in verschiedenen Regionen können ebenfalls mit Hilfe dieser Tabelle berücksichtigt werden.

Für Wintergetreide ist an Stelle der Verwendung der Korrekturen in Tabelle 27 auch folgendes Vorgehen möglich: Die

Tabelle 24. Korrektur der Stickstoff-Normdüngung infolge Nachwirkung organischer Dünger

Die Stickstoffwirkung der Hof- und Abfalldünger im Anwendungsjahr ist in Tabelle 46 enthalten.

aufgrund der Angaben in Tabelle 21 bis Tabelle 25 ermittelte korrigierte Normdüngung wird um 40 kg N/ha reduziert. Die verbleibende N-Menge wird in zwei Gaben (Vegetationsbeginn und 1-Knoten-Stadium) ausgebracht. Über den Einsatz der restlichen 40 kg N/ha kann ab dem 2-Knoten-Stadium bis spätestens kurz vor Beginn des Ährenschiebens mit Hilfe eines Düngefensters oder eines Schnelltests (siehe Kapitel 7.1.3) während des Wachstums entschieden werden.

Tabelle 25. Korrektur der Stickstoff-Normdüngung in Abhängigkeit der Winter- und Frühljahrsniederschläge

Tabelle 26. Zusätzliche N-Nachlieferung des Bodens durch mehrmaliges Hacken nach dem Auflaufen der Kultur in Abhängigkeit des Humusgehalt des Bodens

Für ein einmaliges Hacken von Rüben, Kartoffeln und Mais sind diese Korrekturen nicht zu verwenden, da die meisten Versuche dieser Kulturen, welche den N-Normen zugrunde liegen, einmal gehackt wurden.

Tabelle 27. Korrektur der Stickstoff-Normdüngung in Abhängigkeit des geschätzten Stickstoffmineralisierungspotenzial des Bodens sowie allgemeiner Kenntnisse über jahres- und regionalspezifische N_{\min} -Gehalte des Bodens

Dünger
Vollgülle, Rindvieh Gülle kotarm
Stapelmist Laufstallmist Rottemist Mistkompost
Pferdemist Schaf- und Ziegenmist
Schweinegülle Schweinemist
Hennenkot (Kotband) Hennenmist (Bodenhaltung) Geflügelmist (Mast), Poulet, Truten
Klärschlamm (flüssig) Klärschlamm (entwässert) Klärschlamm (entwässert und gekalkt) Klärschlamm (getrocknet und granuliert)
Kompost
Ricokalk
Kultur bzw. Gruppe von Kulturen
Raps Wintergetreide Sommergetreide Frühkartoffeln, Feldgemüse Saatkartoffeln Rüben, Mais, Kartoffeln für Speisezwecke und technische Verarbeitung
Humusgehalt des Bodens (%)
unter 5 5-10 über 10
Geschätzter N_{\min} -Gehalt und/oder Stickstoff-Mineralisierungspotenzial des Bodens
hoch / sehr gut ¹ erhöht / gut mittel gering ²

	Anteil (%) des ausgebrachten Gesamtstickstoffs, welcher im 2. Jahr nach der Ausbringung pflanzenverfügbar wird und von der Normdüngung abzuziehen ist
	-5 -5
	-10 -10 -15 -20
	-5 -10
	-10 -10
	-10 -10 -5
	-10 -10 -5 -5
	0
	-10

	Korrekturwert (kg N/ha)			
	Niederschlagsperioden und -intensität			
	November und Dezember		März und April	
	gering ¹	hoch ²	gering ¹	hoch ²
	-10	+10	0	0
	-20	+20	0	0
	-20	0	-10	+10
	-20	+10	-10	+30
	0	+10	-10	+30
	0	+10	-10	+30

¹ gering: weniger als 120 mm während der zwei Monate

² hoch: mehr als 180 mm während der zwei Monate

	Korrekturwert (kg N/ha)
	-10 -15 -20

	Korrekturwert (kg N/ha)
	-40 -20 0 +20

¹ warmes Frühjahr, ungestörter Wasserhaushalt des Bodens, gute Bodenstruktur

² kaltes Frühjahr, gestörter Wasserhaushalt des Bodens (vernässt), schlechte Bodenstruktur

7.1.2. Bestimmung des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens (N_{min}-Methode)

Eine auf Messwerten basierende Methode ist in der Regel Schätzverfahren überlegen. Dabei ist jedoch der Informationsgewinn durch die Messung den dafür erforderlichen Aufwendungen gegenüber zu stellen. Im Falle der N_{min}-Methode sind dies besonders die beträchtliche Arbeit für die Probenahme, der Transport der Proben ins Labor und die Kosten der Analyse.

Die Untersuchung des Bodens auf den Mineralstickstoffgehalt (N_{min}) umfasst die Bestimmung des Nitrat- und Ammoniumgehaltes in getrennten Proben aus verschiedenen Bodenschichten. Eine Beschränkung auf die analytische Bestimmung des Nitratgehaltes des Bodens kann zu einer Fehlinterpretation des Ergebnisses und als Folge davon zu überhöhten Stickstoffgaben führen. Eine Schätzung des Ammoniumgehaltes des Bodens ist nicht möglich.

Für einen zuverlässigen Einsatz der N_{min}-Methode gilt es folgenden Punkten spezielle Beachtung zu schenken. Der Zeitpunkt und die Tiefe der Probenahme (Tab. 28) sind genau einzuhalten. Um eine repräsentative Probe einer Parzelle zu erhalten, sind mindestens 10-12 Einstiche notwendig. Dabei sind eventuelle Unregelmäßigkeiten der Bodeneigenschaften zu berücksichtigen. Der Skelettgehalt des Bodens ist bei der Probenahme auf dem Feld korrekt zu schätzen. Die Proben sind in einer Kühltasche vor Erwärmung geschützt, am Tag der Probenahme ins Labor zu bringen oder einzufrieren.

Der Einsatz zuverlässiger und geprüfter Schnellmethoden zur Bestimmung des N_{min}-Gehaltes des Bodens ist für die meisten Kulturen des Ackerbaus aufgrund der reduzierten Messgenauigkeit nicht zu empfehlen. Im Feldgemüsebau können sie jedoch vor allem für Kulturen mit kurzer Vegetationszeit und bei mehrmaliger Untersuchung der gleichen Parzelle während der Vegetationsperiode als Entscheidungshilfe mit ausreichender Genauigkeit gute Dienste leisten.

Die Bestimmung der optimalen N-Gaben aufgrund einer schlagspezifischen N_{min}-Untersuchung erfolgt mit Hilfe langjährig und kulturspezifisch erarbeiteten Sollwerten zu einem bestimmten Termin oder Entwicklungsstadium der entsprechenden Kultur (Tab. 29 und Tab. 30). Dabei ist zu beachten, dass die pflanzenbauliche Beurteilung des N_{min}-Ergebnisses für Böden mit einem Humusgehalt

Tabelle 28. Zeitpunkt für die Entnahme von N_{min}-Proben im Hinblick auf die Optimierung der Stickstoffdüngung

Tabelle 29. Bemessung der Stickstoffdüngung im Getreidebau aufgrund des N_{min}-Gehaltes des Bodens

Die Angaben bezüglich Aufteilung der N-Gaben und Höchstmenge pro Einzeldüngung in Tabelle 20 sind zu beachten. Ist die aufgrund des N_{min}-Gehaltes des Bodens berechnete 1. N-Gabe höher als die in Tabelle 20 angegebene Menge, ist die 2. N-Gabe um die bei der 1. Gabe nicht verabreichte N-Menge zu erhöhen. Ergibt die Formel der 1. N-Gabe negative Werte, sind diese bei der 2. und eventuell 3. N-Gabe zu berücksichtigen.

Tabelle 30. Bemessung der Stickstoffdüngung zu Hackfrüchten und Feldgemüse aufgrund des N_{min}-Gehaltes des Bodens.

Die Angaben bezüglich Aufteilung der N-Gaben und Höchstmenge pro Einzeldüngung in Tabelle 20 sind zu beachten. Die 1. N-Gabe erfolgt in der Regel zur Saat oder Pflanzung. Die 2. Gabe wird rasch nach der N_{min}-Probenahme (Termin: siehe Tab. 28) aufgrund der Untersuchungsergebnisse verabreicht.

über 20 % erschwert und für Standorte mit hohem oder wechselndem Grundwasserstand nicht möglich ist.

Kultur
Wintergetreide, Raps Sommergetreide Rüben ¹ Mais ¹ Kartoffeln ^{1,2} Feldgemüse ¹

Kultur
Winterweizen Sommerweizen, Korn (Dinkel) Wintergerste Wintertriticale Sommergerste, Winterroggen, Sommertriticale Hafer
Korrekturgrund
Vorfrucht mehrjährige Kunstwiese oder Naturwiese Humusgehalt des Bodens 5-20 % Pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens unter 70 cm oder geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes (Grenzlagen des Ackerbaus)
Genereller Verzicht auf Wachstumsregler

Kultur
Mais
Zucker- und Futterrüben Kartoffeln für Speisezwecke und technische Verarbeitung Früh- und Saatkartoffeln Raps
Kabis, Einschnaide- Rosenkohl Chicorée, Wurzelanbau Karotten, Lager/Verarbeitung Zwiebeln, gesteckt Spinat, 1 Schnitt Spinat, 2 Schnitte
Korrekturgrund
Humusgehalt des Bodens 5-20 % Geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes

Zeitpunkt der Probenahme	Probenahmetiefe (cm)
Kurz vor Vegetationsbeginn	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
Saat bis 3-Blatt-Stadium	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
4- bis 6-Blatt-Stadium	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
5- bis 6-Blatt-Stadium (nur voll entwickelte Blätter zählen!)	0 - 30, 30 - 60, 60 - 90
Stauden ungefähr 10 cm hoch	0 - 30, 30 - 60
4. Kulturwoche	0 - 30, 30 - 60

¹ Die N_{\min} -Methode liefert nur bei geringer N-Düngung (höchstens 40 kg N/ha) kurz vor oder zur Saat beziehungsweise Pflanzung zuverlässige Ergebnisse.

² Probenahme in der Mitte des ausgeebneten Furchendammes.

	1. N-Gabe (kg N/ha)	2. N-Gabe ¹ (kg N/ha)	3. N-Gabe ^{1,2} (kg N/ha)
	120 minus N_{\min}	30	40
	110 minus N_{\min}	30	40
	80 minus N_{\min}	30	40
	90 minus N_{\min}	30	40
	80 minus N_{\min}	30	30
	100 minus N_{\min}	30	30

¹ In Abhängigkeit der allgemeinen Wachstumsbedingungen und der Entwicklung der Kulturen können diese N-Gaben um 10 kg N/ha reduziert oder erhöht werden.

² bei stärkerem Krankheitsbefall ist auf die 3. N-Gabe zu verzichten

³ Gerste, Triticale, Roggen

⁴ Weizen, Korn (Dinkel), Hafer

Die oben stehenden Empfehlungen gelten in erster Linie unter folgenden Voraussetzungen:

- Ertragspotenzial des Standortes:

Den Angaben in Tabelle 21 entsprechend oder höher

- Risiko der Lagerung minimal (eventuell Einsatz von Wachstumsreglern)

- Ertragsausfälle durch Krankheiten und Schädlinge minimal (Sortenwahl, Anbautechnik, Fruchtfolge, eventuell Einsatz von Pflanzenschutzmitteln)

- Humusgehalt des Bodens unter 5 %, pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens über 70 cm

Bei folgenden Gründen sind nachstehende Korrekturen vorzunehmen

(Die Korrekturen sind nicht additiv. Die maximale Korrektur pro Gabe beträgt 30 kg N/ha):

	1. N-Gabe (kg N/ha)	2. N-Gabe (kg N/ha)	3. N-Gabe (kg N/ha)
	-20	-10	-20
	-10	-20	-20
	-10	-10	-20
	-10 ³ bis -20 ⁴	-10	0

	1. N-Gabe (kg N/ha)	2. N-Gabe (kg N/ha) ¹
	0 - 30	$N_{\min} > 120$: 200 minus N_{\min} $N_{\min} < 120$: 180 minus N_{\min}
	0 - 30	180 minus N_{\min}
	0 - 30	200 minus N_{\min}
	0 - 30	180 minus N_{\min}
	0 - 40 (im Herbst)	140 minus N_{\min}
	0-30	200 minus N_{\min}
	0-30	170 minus N_{\min}
	0	50 minus N_{\min}
	0-30	150 minus N_{\min}
	0-30	120 minus N_{\min}
	0-30	150 minus N_{\min}
	0-30	150 minus N_{\min}

¹ Eine Aufteilung in 2 Teilgaben ist besonders auf Böden mit einer pflanzennutzbaren Gründigkeit von weniger als 70 cm sowie in Gebieten mit höheren Niederschlägen (mehr als 260 mm in der Periode April bis Juni) zu empfehlen. Je nach Witterung und Wachstumsverhältnissen sind die Teilgaben im Abstand von 2 bis 4 Wochen auszubringen.

	Korrekturen der obengenannten Formeln sind für folgende Gründe vorzunehmen:	
	0 bis -30	-20 bis -40
	0	-20 bis -40
	Für eine eventuelle N-Nachwirkung von Zwischenkulturen (Gründüngung, Zwischenfutter usw.) oder Hofdünger sind keine Korrekturen vorzunehmen; eine eventuelle N-Wirkung wird bei der Bestimmung des N_{\min} -Gehaltes des Bodens grösstenteils erfasst.	

7.1.3. Ergänzende und andere Methoden

In Ergänzung oder an Stelle der zwei beschriebenen Verfahren können auch andere Methoden zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Ackerbau hilfreich sein. Als Entscheidungs- und Kontrollinstrument können ein oder mehrere Düngefenster (markierte Fläche von etwa einer Are) mit reduzierter N-Düngung (-20 bis -40 kg N/ha) gute Dienste leisten. Dabei ist für jede Einzelgabe ein neues Fenster anzulegen. Der Vergleich zwischen den Beständen inner- und ausserhalb des Düngefensters gibt besonders im Getreidebau Hinweise zur Optimierung der folgenden N-Gabe.

Die *Pflanzenanalyse* basiert auf der Untersuchung bestimmter Pflanzenteile nach einem festgelegten Schema. Die Ergebnisse werden mit bekannten Referenzwerten verglichen. Aus diesem Vergleich wird eine Düngeempfehlung abgeleitet. Die Pflanzenanalyse kann in bestimmten Fällen, unter Berücksichtigung der in Kapitel 5 beschriebenen Einschränkungen, gute Dienste zur Lösung von Problemfällen leisten.

Die *Pflanzensaftanalyse* mit Hilfe von Schnelltestgeräten (Nitrachek, Jubil® oder andere), mit welchen im Getreidebau zu bestimmten Zeitpunkten der Nitratgehalt des Pflanzensaftes an der Halmbasis gemessen wird, können nach kulturspezifischer Eichung sowohl bei der Methode der korrigierten Normen (anstelle der Korrekturfaktoren in Tab. 27) als auch bei der N_{min} -Methode (besonders 3. N-Gabe) wertvolle Hinweise zur Bemessung der N-Gaben zu bestimmten Entwicklungsstadien geben.

Bei Schnelltestgeräten, welche die *Farbintensität der Blätter* messen, ist eine aufwendige sortenspezifische Eichung unabdingbar. Die Farbe der Blätter wird aber auch durch andere Faktoren als die Stickstoffversorgung (Krankheiten, Wachstumsstörungen infolge Mangel oder Überangebot an andern Nährstoffen oder Wasser, Wachstumsintensität in Abhängigkeit des Wetters usw.) beeinflusst. Dies erschwert eine zuverlässige Interpretation der Messwerte.

7.2. Futterbau

Im Futterbau übersteigt die Stickstoffdüngungsnorm selten 50 Prozent der mit dem Futter entzogenen Stickstoffmenge, da der Pflanzenbestand noch über andere Stickstoffquellen verfügt: Abbau organischer Substanz des Bodens, Nachwirkung regelmässiger Hofdüngergaben,

Tabelle 31. Stickstoffdüngungsnormen für Wiesen in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsintensität und der Nutzungsart

biologische Stickstoff-Fixierung durch Leguminosen, N-Depositionen. In Tabelle 31 sind die Stickstoffdüngungsnormen in Abhängigkeit des Wiesentyps, der Nutzungsintensität und der Nutzungsart (Mahd oder Weide) enthalten. Sie sind angegeben als Menge pro Aufwuchs, weil die N-Düngung verteilt auf mehrere Gaben während der Vegetationsperiode erfolgen soll. Ausser in Anlagen mit Mischungen für Fromental-, Goldhafer- und Trespenwiesen (Standardmischungen 450, 451, 455), ist in allen Neuansaat mit Standardmischungen zum Auflaufen eine Gabe von 30 kg N/ha zu empfehlen.

Die in Tabelle 31 angegebenen Mengen gelten für eine normale Anzahl jährlicher Nutzungen, welche den Angaben in Tabelle 3 entspricht. Für eine Mähwiese wird als mittlerer Ertrag pro Nutzung 25 dt TS/ha angenommen. Für eine intensive Weide hingegen beträgt der mittlere Ertrag pro Nutzung lediglich 15 dt TS/ha. Sofern die effektive Anzahl Nutzungen grösser ist, soll entweder nicht zu jedem Aufwuchs gedüngt werden oder die Menge pro Gabe ist so zu reduzieren, dass die Summe aller Gaben die pro Jahr empfohlene Stickstoffmenge (= Anzahl Nutzungen x Norm gemäss Tab. 31) nicht übersteigt.

Die zu den Aufwüchsen empfohlenen Stickstoffgaben zielen vor allem darauf ab, eine ausgewogene botanische Zusammensetzung zu erhalten: 50 bis 70 % Gräser, 10 bis 30 % Leguminosen (in Kunstwiesen-Ansaaten mit L- oder M-Mischungen bis 70 %) und in Naturwiesen 10 bis 30 % Kräuter (höchstens 40 % in Mähwiesen höherer Lagen). Durch Verabreichen kleinerer Stickstoffmengen pro Gabe werden die Leguminosen gefördert; durch grössere Gaben werden die Gräser oder in weniger futterwüchsigen Lagen vor allem die Kräuter begünstigt. Pro Gabe sollten nicht mehr als 50 kg N/ha ausgebracht werden. Für das Berggebiet wird davon abgeraten, die empfohlenen Gaben zu überschreiten, da hier das Risiko einer Entartung des Pflanzenbestandes grösser ist.

Obwohl die empfohlene Menge pro Gabe bei Weidenutzung um 10 kg kleiner ist als

Wiesentyp
Naturwiesen
intensiv
mittel intensiv
wenig intensiv
extensiv
Kunstwiesen
<i>ein- und zweijährige Mischungen, basierend auf</i> - Italienisch-Raigras und/oder Westerwoldisch-Raigras
<i>drei- und mehrjährige Mischungen</i> - Luzerne-Gras (L-Mischung) - Mattenkle-Gras (M-Mischung) - Gras-Weissklee (G-, G*-Mischung)
- Fromental-, Goldhafer-, Trespenwiese (Standardmischungen 450, 451, 455)
Zwischenfrüchte, Äugstlen
- eine Nutzung
- mehrere Nutzungen
Leguminosen-, Grassamen-Produktion
- Leguminosen, Reinbestand
- Gras, Reinbestand

bei Schnittnutzung, sind die in beiden Fällen jährlich zu verabreichenden Stickstoffmengen vergleichbar, da Weiden öfter genutzt werden. Dies bedeutet allerdings nicht, dass der auf der Weide ausgeschiedene Stickstoff für die Pflanze nicht verfügbar wird; weil er sehr ungleichmässig verteilt anfällt, können die Ausscheidungen aber nur von einem Teil des Pflanzenbestandes aufgenommen werden. Zudem wird angenommen, dass der Stickstoffbedarf pro Ertragseinheit (dt/TS) für eine Weide höher liegt als für eine Wiese, da die Pflanzen in der Regel in jüngeren Stadien genutzt werden und der Kleeanteil kleiner ist. Der etwas höhere Stickstoffbedarf wird kompensiert durch die partielle Wirkung des durch die Tiere während des Weidens ausgeschiedenen Stickstoffs.

Nutzungsart	Empfohlene Gabe pro Aufwuchs (kg N/ha)
- Schnitt - Weide - Schnitt - Weide - Schnitt - Weide - Schnitt - Weide	30 ¹ 20 ¹ 25 15 15 ² 0 ³ 0 0
- Schnitt - Weide	30 ^{1,4} 0 ^{4,5,6} 0 ^{4,5} 30 ^{1,4} 20 ^{1,4} 15 ^{2,7}
	30 ⁴ 30 ⁴
- Dreschaufwuchs - Futteraufwuchs	0 ⁴ 50-100 ^{4,8} 50

¹ Für intensive Wiesen, Naturwiesen oder Kunstwiesen (ein- und zweijährige Mischungen, drei- und mehrjährige G- oder G*-Mischungen), kann die Stickstoffgabe pro Aufwuchs erhöht werden, sofern die natürlichen Wachstumsbedingungen günstig sind und sofern man den Grasanteil erhöhen und den Kleeanteil erniedrigen will (höchstens 50 kg N/ha pro Gabe verabreichen)

² In Form von verrottetem Mist, eventuell in Form stark verdünnter Gülle nach dem ersten Aufwuchs; von regelmässigen Gaben an Gülle oder mineralischem Stickstoff wird abgeraten

³ Die Stickstoffmenge, verabreicht durch die Gabe von Mist zur Deckung des P₂O₅- und K₂O-Bedarfes (siehe Tab. 3) ist akzeptabel

⁴ 30 kg N/ha zum Auflaufen sind empfehlenswert; diese Gabe entspricht der Gabe zum ersten Aufwuchs; handelt es sich um eine überwinternde Zwischenfrucht die erst im folgenden Frühjahr genutzt wird, muss die N-Gabe auf dieses Frühjahr verlegt werden

⁵ Bei geringem Kleeanteil können diese Mischungen wie Gras-Weissklee-Mischungen gedüngt werden

⁶ Ein einmalige Gabe von 30 kg N/ha im Frühjahr ist empfohlen

⁷ Diese Mischungen erhalten keinen Stickstoff zum Auflaufen

⁸ 50 kg N/ha bei Wachstumsbeginn im Frühjahr und eventuell eine zusätzliche Gabe (von höchstens 50 kg N/ha je nach Entwicklung) bei beginnendem Schossen der Gräser

Mähwiese	Anzahl Nutzungen = $\frac{\text{Jahresertrag (dt TS/ha)}}{25 \text{ (dt TS/ha)}}$
Intensive Weide	Anzahl Nutzungen = $\frac{\text{Jahresertrag (dt TS/ha)}}{15 \text{ (dt TS/ha)}}$