# Stickstoffdüngung





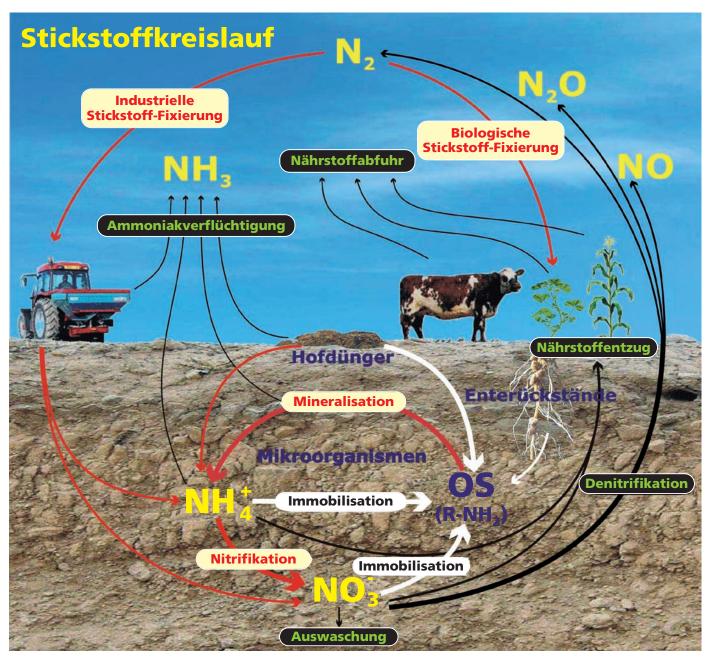
#### 7.1. **Ackerbau**

Die wichtigsten Einflussfaktoren bei der Optimierung der Stickstoffdüngung sind (i) der zeitliche und mengenmässige Bedarf der Kulturen, (ii) der Verlauf der Mineralisierung von organischer Substanz aus dem Boden und dem zugeführten organischen Material (Mist, Gülle, Gründüngung und Recyclingdünger), sowie (iii) das Ausmass von Stickstoffverlusten durch Auswaschung, Ammmoniakverflüchtigung und Denitrifikation (Abbildung 4).

Da es zurzeit kein absolut sicheres Verfahren gibt, diese Einflussfaktoren zuverlässig zu beurteilen, werden hier drei verschiedene Ansätze zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Ackerbau beschrieben:

- 1. Die Schätzmethode (Methode der korrigierten Normen). Sie basiert auf langjährig erarbeiteten Schätzungen der einzelnen Einflussfaktoren.
- 2. Bestimmung des N-Gehaltes im Boden (N<sub>min</sub>-Methode). Beurteilung der stickstoffdynamischen Prozesse im Boden durch analytische Bestimmung der mineralischen N-Gehalte im Boden zu definierten Zeitpunkten.
- 3. Sensor- und pflanzenbasierte Steuerung der Stickstoffdüngung. Sie basiert auf destruktiven oder nicht-destruktiven Pflanzenanalysen und der Beobachtung der Kulturen während der Vegetationszeit.

Abbildung 4. Stickstoffkreislauf auf Parzellenebene



Durch die Fixierung, Mineralisation und Nitrifikation wird der im Boden pflanzenverfügbare Stickstoff erhöht, während die Denitrifikation, die Ammoniakverflüchtigung, die Immobilisierung, die Auswaschung und der Entzug durch die Pflanzen zu einem temporären oder definitiven Verlust von pflanzenverfügbarem Stickstoff in der durchwurzelbaren Bodenschicht führen.

Bei der **N-Fixierung** wird Luftstickstoff ( $N_2$ ) in eine von den Pflanzen aufnehmbare N-Form überführt. Dies kann industriell (Herstellung von Mineraldüngern) oder biologisch (N-Fixierung durch Leguminosen) erfolgen. N-fixierende Pflanzen bevorzugen jedoch die Aufnahme von mineralischem Stickstoff aus dem Boden, da für die Fixierung von Luftstickstoff Energie, Enzyme und Mineralstoffe benötigt werden.

$$N_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow R-NH_2$$
Luftstickstoff Ammoniak Organischer Stickstoff

Die **Mineralisierung** ist der Prozess, bei dem organischer Stickstoff durch Mikroorganismen zu anorganischem Stickstoff abgebaut wird. Die biologische Mineralisationsleistung hängt von vielen Faktoren wie dem Gehalt und der Qualität der organischen Substanz des Bodens, der Vorkultur, der Nachwirkung von organischen Düngern (Hofdünger, Ernterückstände, Gründüngung), des Klimas (Temperatur, Feuchtigkeit) und dem Vorhandensein von Sauerstoff im Boden (Durchlüftung) ab.

Die **Nitrifikation** ist der Prozess, bei dem Mikroorganismen (Nitrosomonas und Nitrobacter) zur Energiegewinnung Ammonium in Nitrit und nachfolgend in Nitrat umwandeln. Nitrat ist die für Pflanzen am besten verfügbare Stickstoffform im Boden, gleichzeitig aber aufgrund seiner Mobilität auch die gefährdetste bezüglich Auswaschungsverlusten.

$$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$$
  
Ammonium Nitrit Nitrat

Die **Denitrifikation** ist das Resultat der Umwandlungen von Nitrat in gasförmige N-Verbindungen wie das Stickstoffmonoxid (NO), das Lachgas ( $N_2O$ ) und den molekularen Stickstoff ( $N_2$ ). Da die Denitrifikation unter anaeroben Bedingungen abläuft, treten Emissionen von Lachgas vor allem in schweren, verdichteten oder schlecht drainierten Böden sowie in stau- oder grundwasserbeeinflussten Böden auf.

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$
  
Nitrat Nitrit Stickstoffmonoxid Lachgas Molekularer Stickstoff

**Ammoniakverflüchtigung** tritt hauptsächlich nach der oberflächlichen Ausbringung von ammoniumhaltigen Düngern auf. Dieses Phänomen betrifft vor allem Hofdünger mit einem hohen Gehalt an NH<sub>4</sub>+. Dadurch kann die Stickstoffwirksamkeit dieser Dünger stark reduziert werden. Die Wetterbedingungen und die Ausbringtechnik haben einen grossen Einfluss auf die gasförmigen N-Verluste. Eine Einarbeitung während oder kurz nach der Ausbringung ist eine einfache und gute Methode um Ammoniakverluste zu vermeiden.

$$NH_4^+ \leftrightarrow NH_3 + H^+$$
  
Ammonium Ammoniak

**Immobilisierung** ist der gegenläufige Prozess zur Mineralisation. Es wird anorganischer N in organische N-Formen (häufig via mikrobielle Biomasse) überführt, was eine Reduktion des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden zur Folge hat.

$$NH_4^+ / NH_3 \rightarrow R-NH_2$$
Ammonium / Ammoniak Organischer Stickstoff

Auswaschung von Nährstoffen aus dem Boden tritt dann auf, wenn mehr Wasser (Niederschläge, Bewässerung) in den Boden gelangt, als dieser fähig ist aufzunehmen. Das überflüssige Wasser erreicht zusammen mit dem leicht wasserlöslichen Nitrat das unterirdische Entwässerungssystem und damit das Grundwasser oder Flüsse. Dieser Vorgang kommt hautsächlich in leichten Böden mit einem geringen Wasserspeichervermögen oder in bereits wassergesättigten Böden auf. Nitrathaltige Stickstoffdünger unterliegen der potenziellen Auswaschungsgefahr ab dem Zeitpunkt der Ausbringung. Die Verlagerungstiefe des Nitrats hängt von der Menge des Sickerwassers, vom Feuchtigkeitszustand des Bodens vor dem Regen und vom Bodentyp ab. Ammonium wird im Boden besser adsorbiert als Nitrat. Ammoniumverluste durch Auswaschung können bei intensiven Niederschlägen in sehr sandigen Böden mit schwachem Adsorptionsvermögen auftreten.

# 7.1 / 7.1.1

**Aufnahme durch die Pflanzen:** Eine effiziente Ausnützung des Stickstoffs durch die Pflanzen ist das hauptsächliche Ziel bei der Planung und Durchführung der N-Düngung. Dabei gilt es, die spezifischen Eigenschaften mineralischer und organischer Düngemittel zu beachten.

Um eine möglichst hohe Stickstoffeffizienz zu erreichen und unerwünschte Verluste in die Umwelt sowie die daraus folgenden ökonomischen Verluste zu vermeiden, sind die folgenden drei Punkte zu beachten: (i) Stickstoffmenge (viele Versuche zeigen, dass beim Überschreiten des optimalen Düngungsniveaus die N-Effizienz bei verschiedenen Kulturen stark ab- und das Risiko von Stickstoffverlusten zunimmt), (ii) Anwendungszeitpunkt (Tabelle 26) und (iii) Bodenzustand (die meisten Umwandlungsprozesse der verschiedenen Stickstoffformen sind von der biologischen Aktivität des Bodens abhängig).

Zustand und biologische Aktivität des Bodens werden von den klimatischen Verhältnissen und dem physikalisch-chemischen Zustand des Bodens beeinflusst. Eine gute Struktur und Wasserführung des Bodens ist Voraussetzung für eine hohe Wirksamkeit der N-Dünger.

#### 7.1.1. Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des Ertrages

Unter gewissen Voraussetzungen kann durch eine Düngung über der Norm ein Mehrertrag erzielt werden. Resultate aus Feldversuchen der Forschungsanstalten ART und ACW unter verschiedensten Boden- und Klimabedingungen des schweizerischen Ackerbaugebietes zeigten, dass eine erhöhte Stickstoffdüngung sinnvoll sein kann, wenn die Erträge über den Durchschnittserträgen, auf denen die Düngungsnorm basiert (vgl. **Tabelle 1**), liegen. Werden regelmässig (z. B. in 3 von 5 Jahren) höhere Erträge erreicht und wenn die Normdüngung der hauptsächliche limitierende Faktor zu sein scheint, dann kann eine Korrektur der Normdüngung in Abhängigkeit des Ertrages in Betracht gezogen werden. Solche Voraussetzungen sind meist in den besten Ackerbaugebieten und auf viehlosen Betrieben mit tiefgründigen Böden mit mittleren oder tiefen Humusgehalten anzutreffen.

Sind die Erträge regelmässig tiefer als die angegebenen Durchschnittserträge, ist die Normdüngung zu reduzieren. Dies gilt vor allem in Randgebieten des Ackerbaus oder bei extensiven Anbausystemen (Bio, Extenso).

Bei Kulturen, die auf die beschriebenen Standort- und Produktionsbedingungen reagieren, ist die ertragsabhängige Erhöhung bzw. Reduktion der Normdüngung gemäss **Tabelle 17** vorzunehmen.

Tabelle 17. Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit des Mehr- bzw. Minderertrages im Vergleich zum Durchschnittsertrag (Referenzertrag in Tabelle 1)

Kultur	Korrektur der N-Düngung in Abhängigkeit des Ertrages (kg N/dt Körner)	Maximaler Ertrag für die Korrektur (dt Körner/ha)
Winterweizen (Brotgetreide)	1,0	80
Winterweizen (Futtergetreide)	1,0	95
Winterraps	4,0	40
Wintergerste	0,7	90
Winterroggen (Populationssorten)	0,8	80
Winterroggen (Hybridsorten)	1,2	90
Wintertriticale	0,3	95
Winterraps	4,0	40

Für die nicht in **Tabelle 17** aufgeführten Kulturen kann aufgrund von aktuellen Versuchen keine Anpassung der Stuckstoffdüngung bei höheren Erträgen empfohlen werden. Demgegenüber ist bei tieferen Erträgen die N-Norm linear proportional zu reduzieren. Allerdings ist zu beachten, dass Hackfrüchte wie Rüben, Mais oder Kartoffeln stark auf unterschiedliche Boden-, Klima- und Bewirtschaftungsverhältnisse reagieren und eine Korrektur der Normdüngung vor allem aufgrund dieser Einflussfaktoren **(Tabelle 18 bis Tabelle 22)** vorzunehmen ist.

Bei Kartoffeln kann zur Erreichung optimaler Erträge von guter Qualität eine sortenabhängige Korrektur der Stickstoffdüngung angezeigt sein. Bei den Sorten Agria, Derby, Naturella, Nicola, Pamela und Panda kann dies in der Regel mit 40 kg N/ha weniger als der Normdüngung, bei Charlotte, Lady Claire und Lady Rosetta mit 30 kg N/ha mehr erreicht werden.

#### 7.1.2. Methode der korrigierten Normen (Schätzmethode)

Die Methode der korrigierten Normen basiert einerseits auf der N-Düngungsnorm und anderseits auf Korrekturen, die eine Anpassung der Düngung an die Produktionsziele sowie an bodenkundliche und klimatische Standortbedingungen erlauben. Die Vorgehensweise bei der Anwendung dieser Methode zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Ackerbau ist in **Abbildung 5** schematisch dargestellt.

Abbildung 5.
Schematische Darstellung
der Methode der korrigierten
Normen (Schätzmethode)

# Dügungsnorm (kg N/ha; Tabelle 1),

korrigiert nach Ertrag (Tabelle 17)

## Korrekturwerte

- 1. N-Mineralisierungspotenzial des Bodens: Tabelle 18
- 2. Vorfrucht: Tabelle 19.
- 3. Nachwirkung von organischen Düngern: Tabelle 20
- 4. Winterniederschläge: Tabelle 21
- 5. Hacken nach dem Auflaufen der Kultur: Tabelle 22

zu düngende Stickstoffmenge (kg N/ha)

Tabelle 18. Korrektur der N-Düngung in Abhängigkeit des Stickstoffmineralisierungspotenzials des Bodens (Schätzung des  $N_{min}$ ; siehe Kapitel 7.1.3)

Stickstoff- mineralisierungs-	Humus	Korrekturwert			
potenzial	Ton < 15%	Ton < 15% Ton 15-30% Ton > 30%			
schwach bis mittel mittel mittel bis hoch hoch bis sehr hoch sehr hoch	< 1,2 1,2-3,0 3,0-7,0 7,0-20,0 > 20,0	< 1,8 1,8-4,0 4,0-8,0 8,0-20,0 > 20,0	< 2,5 2,5-6,0 6,0-10,0 10,0-20,0 > 20,0	0 bis +40 0 0 bis -40 -40 bis -80 -80 bis -120	

Tabelle 19. Korrektur der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit der Vorkultur

	Korrektur der Fol	Korrektur der Folgekultur (kg N/ha)		
Vorkultur	Umbruch / Einarbeitung			
	Herbst	Frühling		
Natur- oder Kunstwiese, Kleegras (3 Jahre oder älter) Kunstwiese, Kleegras (2 Jahre) Kunstwiese, Kleegras (1 Jahr) Natur- oder Kunstwiese, Kleegras (3 Jahre oder älter) als Vor-Vorkultur <sup>1</sup>	-30 -20 -10 -10	-40 -30 -20 -10		
Kunstwiese mit vor Rispenschieben gemulchtem Aufwuchs Kunstwiese mit bei Gräserblüte gemulchtem Aufwuchs	30 bis -60 <sup>2</sup> 20 bis -40 <sup>2</sup>			
Getreide oder Mais (Stroh eingearbeitet) vor – im Herbst gesäten Kulturen – im Frühjahr gesäten bzw. gepflanzten Kulturen	+20 +10			
Körnerleguminosen (Eiweisserbsen, Ackerbohnen, Sojabohnen) vor – im Herbst gesäten Kulturen – im Frühjahr gesäten bzw. gepflanzten Kulturen	-20 -10			
Rüben (Kraut eingearbeitet)	-20			
Gründüngung mit nicht winterharten Kulturen (Phacelia, Gelbsenf usw.) Gründüngung mit nicht winterharten Kulturen (Leguminosen) Gründüngung mit winterharten Kulturen (Raps, Rübsen usw.) Gründüngung mit winterharten Kulturen (Leguminosen)	-10 0 -20 -10 0 -20 0 -30			
Faserhanf	-10			
Kartoffeln	-10			
Andere Vorkulturen <sup>3</sup>	0			

- 1 Diese Korrektur kann zu einer zweiten Korrektur dieser Tabelle addiert werden
- 2 Kleinerer Wert: Bei geringem Kleeanteil; grösserer Wert: Bei hohem Kleeanteil
- Getreide (abgeführtes Stroh), Silomais, Raps, Sonnenblumen, Soja, Tabak, etc.

Ausgehend von den Normen in **Tabelle 1** ist die parzellenspezifische Stickstoffdüngung gemäss den Angaben in **Tabelle 18 bis Tabelle 22** zu korrigieren. Die zu düngende Stickstoffmenge wird gemäss dem Schema in **Abbildung 5** berechnet. Die standortspezifischen Korrekturen betreffen das Mineralisierungspotenzial des Bodens, den Einfluss der Vorfrucht sowie die Nachwirkung organischer Dünger, die Klimaverhältnisse und Auswirkungen von Hacken nach dem Auflaufen der Kultur.

Tabelle 20. Korrektur der Stickstoff-Normdüngung infolge Nachwirkung organischer Dünger

Die Stickstoffwirkung der Hof- und Recyclingdünger im Anwendungsjahr ist in Tabelle 40 enthalten.

Organischer Dünger	Anteil (%) des ausgebrachten Gesamtstickstoffs, welcher im 2. Jahr nach der Ausbringung pflanzenverfügbar wird und von der Normdüngung abzuziehen ist
Vollgülle und Gülle kotarm (Rindvieh)	-5
Stapelmist, Laufstallmist	-10
Rottemist	-15
Mistkompost	-20
Pferdemist	-5
Schaf- und Ziegenmist	-10
Schweinegülle, Schweinemist	-10
Hennenkot (Kotband)	-10
Hennenmist (Bodenhaltung)	-10
Geflügelmist (Mast), Poulet, Truten	-5
Kompost	0
Ricokalk	-10

Tabelle 21. Korrektur der Stickstoff-Normdüngung in Abhängigkeit der Winter- und Frühjahrs-Niederschläge

	Korrekturwert (kg N/ha)				
	Niederschlagsperioden und -intensität				
Kultur bzw. Gruppe von Kulturen	Winterruhe (November-Januar)		Vegetationsbeginn/Saat (März-Mai)		
	gering (< 60 mm / Monat)	hoch (> 90 mm / Monat)	gering (< 60 mm / Monat)	hoch (> 90 mm / Monat)	
Raps	-10	+10	0	0	
Wintergetreide	-20	+20	0	0	
Sommergetreide	-20	0	-10	+10	
Frühkartoffeln, Feldgemüse	-20	+10	-10	+30	
Saatkartoffeln, Kartoffeln (für Speisezwecke und technische Verarbeitung), Rüben, Mais	0	+10	-10	+30	

# Tabelle 22. Zusätzliche N-Nachlieferung des Bodens durch mehrmaliges Hacken nach dem Auflaufen der Kultur in Abhängigkeit des Humusgehaltes 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.

Humusgehalt des Bodens (%)	Korrekturwert (kg N/ha)	
unter 8	-10	
8 bis 20	-15	
über 20	-20	

# **7**.1.3

## 7.1.3. Bestimmung des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens (N<sub>min</sub>-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  $N_{\text{min}}$ -Methode sind dies insbesondere die 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 verschiedener Bodenschichten. Für einen zuverlässigen Einsatz der  $N_{min}$ -Methode gilt es folgenden Punkten spezielle Beachtung zu schenken. Der Zeitpunkt und die Tiefe der Probenahme (**Tabelle 23**) 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 zu schätzen. Die Proben sind, in einer Kühltasche vor Erwärmung geschützt, am Tag der Probenahme ins Labor zu bringen oder einzufrieren.

Tabelle 23. Zeitpunkt und Probenahmetiefe für die Entnahme von  $N_{\min}$ -Proben im Hinblick auf die Optimierung der Stickstoffdüngung verschiedener Kulturen

Kultur	Zeitpunkt der Probenahme	Probenahmetiefe (cm) <sup>1</sup>
Wintergetreide, Raps	Kurz vor Vegetationsbeginn	0-30, 30-60, 60-90
Sommergetreide	Saat bis 3-Blatt-Stadium	0-30, 30-60, 60-90
Rüben <sup>2</sup>	4- bis 6-Blatt-Stadium	0-30, 30-60, 60-90
Mais <sup>2</sup>	5- bis 6-Blatt-Stadium (nur voll entwickelte Blätter zählen!)	0-30, 30-60, 60-90
Kartoffeln <sup>2,3</sup>	Stauden ungefähr 10 cm hoch	0-30, 30-60

- 1 In der Praxis wird die Beprobung z. T. nur noch bis auf 60 cm Bodentiefe vorgenommen. Dabei sind an diese Probenahmetiefe angepasste Sollwerte für die Bestimmung der N-Gaben zu verwenden. Diese sind bei den entsprechenden Beratungsdiensten oder Bodenlabors erhältlich.
- 2 Die N<sub>min</sub>-Methode liefert nur bei geringer N-Düngung (höchstens 40 kg N/ha) kurz vor oder zur Saat beziehungsweise Pflanzung zuverlässige Ergebnisse.
- 3 Probenahme in der Mitte des ausgeebneten Furchendammes.

Der Einsatz von Schnellmethoden zur Bestimmung des  $N_{min}$ -Gehaltes des Bodens ist für die meisten Kulturen des Ackerbaus aufgrund der reduzierten Messgenauigkeit nicht zu empfehlen.

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 (**Tabelle 24 und Tabelle 25**). Dabei ist zu beachten, dass die pflanzenbauliche Beurteilung des  $N_{min}$ -Ergebnisses für Böden mit einem Humusgehalt über 20 % erschwert und für Standorte mit hohem oder wechselndem Grundwasserstand nicht möglich ist.

# Tabelle 24. Bemessung der Stickstoffdüngung im Getreidebau aufgrund des N<sub>min</sub>-Gehaltes des Bodens (Probenahmetiefe 0-90 cm)

Die Angaben bezüglich Aufteilung der N-Gaben und Höchstmenge pro Einzelgabe in Tabelle 26 sind zu beachten. Ist die aufgrund des  $N_{min}$ -Gehaltes des Bodens berechnete 1. N-Gabe höher als die in Tabelle 26 angegebene empfohlene Maximalmenge pro Einzelgabe, 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.

Bei verschiedenen Getreidearten kann eine schossbetonte Düngung Ertragsvorteile bringen; gemäss den spezifischen Ansprüchen der Arten und Sorten kann in diesen Fällen die 2. N-Gabe auf Kosten der ersten, mittels  $N_{\min}$  bestimmten N-Gabe erhöht werden.

Kultur	1. N-Gabe (kg N/ha)	2. N-Gabe <sup>1</sup> (kg N/ha)	3. N-Gabe <sup>1, 2</sup> (kg N/ha)
Winterweizen	120 minus N <sub>min</sub>	30	40
Sommerweizen, Korn (Dinkel)	110 minus N <sub>min</sub>	30	40
Wintergerste	80 minus N <sub>min</sub>	30	40
Wintertriticale	90 minus N <sub>min</sub>	30	40
Sommergerste, Winterroggen, Sommertriticale	80 minus N <sub>min</sub>	30	30
Hafer	100 minus N <sub>min</sub>	30	30

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

- Ertragspotenzial des Standortes: Den Angaben in Tabelle 1 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 Abzüge vorzunehmen (Die Abzüge sind nicht additiv; der maximale Abzug pro Gabe beträgt 30 kg N/ha):

Korrekturgrund	1. N-Gabe (kg N/ha)	2. N-Gabe <sup>1</sup> (kg N/ha)	3. N-Gabe <sup>1, 2</sup> (kg N/ha)
Vorfrucht mehrjährige Kunstwiese oder Naturwiese	-20	-10	-20
Humusgehalt des Bodens 5-20%	-10	-20	-20
Pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens unter 70 cm oder geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes (Grenzlagen des Ackerbaus)	-10	-10	-20
Genereller Verzicht auf Wachstumsregler	-10 <sup>3</sup> bis -20 <sup>4</sup>	-10	0

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

Teilgaben im Abstand von 2 bis 4 Wochen auszubringen.

# Tabelle 25. Bemessung der Stickstoffdüngung zu Hackfrüchten aufgrund des N<sub>min</sub>-Gehaltes des Bodens (Probenahmetiefe 0-90 cm)

Die Angaben bezüglich Aufteilung der N-Gaben und Höchstmenge pro Einzelgabe in Tabelle 26 sind zu beachten. Die 1. N-Gabe erfolgt in der Regel zur Saat oder Pflanzung; sie kann jedoch bei hoher N-Nachlieferung durch die Vorkultur und/oder bei generell hohem N-Mineralisierungspotenzial des Standorts auch weggelassen werden. Die 2. Gabe wird rasch nach der N<sub>min</sub>-Probenahme (Termin und Höchstmengen: vgl. Tabelle 26) aufgrund der Untersuchungsergebnisse verabreicht.

Kultur	1. N-Gabe (kg N/ha)	2. N-Gabe (kg N/ha) <sup>1</sup>		
Mais	0-30	$N_{min}$ > 120: 200 minus $N_{min}$ $N_{min}$ < 120: 180 minus $N_{min}$		
Zucker- und Futterrüben	0-30	200 minus N <sub>min</sub>		
Kartoffeln (für Speisezwecke und technische Verarbeitung)	0-30	200 minus N <sub>min</sub>		
Früh- und Saatkartoffeln	0-30	180 minus N <sub>min</sub>		
Raps	0-40 (im Herbst)	160 minus N <sub>min</sub>		
Korrekturen für erhöhte Humusgehalte und niedriges Ertragspotenzial des Standortes:				
Korrekturgrund				
Humusgehalt des Bodens 5-20%	0 bis -30	-20 bis -40		
Geringes bis mittleres Ertragspotenzial des Standortes	0	-20 bis -40		
Für eine eventuelle N-Nachwirkung von Zwischenkulturen (Gründüngung, Zwischenfutter usw.) oder Hofdünger sind keine Korrekturen vorzunehmen; eine eventuelle N-Wirkung wird bei der Bestimmung des N <sub>min</sub> -Gehaltes des Bodens grösstenteils erfasst.				

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

<sup>3</sup> Gerste, Triticale, Roggen

<sup>2</sup> Bei stärkerem Krankheitsbefall oder extensivem Anbau ist auf die 3. N-Gabe zu verzichten

<sup>4</sup> Weizen, Korn (Dinkel), Hafer

## 7.1.4. Ergänzende und andere Methoden

In Ergänzung oder an Stelle der Bodenuntersuchung ist es auch möglich, die Entwicklung der Pflanzen nach unterschiedlicher Düngung zu beobachten oder die Pflanzen während der Vegetationszeit zu untersuchen. Diese Techniken können zur Optimierung der Stickstoffdüngung oder zur Erkennung von Ernährungsstörungen herangezogen werden.

**Düngungsfenster:** Düngungsfenster (markierte Fläche von etwa einer Are) mit reduzierter N-Düngung (-20 bis -40 N/ha) oder keiner N-Düngung können als Entscheidungsund Kontrollinstrument gute Dienste leisten. Dabei ist für jede Einzelgabe ein neues Fenster anzulegen. Der Vergleich zwischen den Beständen inner- und ausserhalb des Düngefensters gibt insbesondere im Getreidebau Hinweise zur Optimierung der folgenden N-Gabe. Solange der Bestand nicht aufhellt, liefert der Boden noch genügend Stickstoff nach. Bei Aufhellen des Bestandes muss der Bestand nachgedüngt werden.

Ein etwas modifiziertes Konzept wird für Sonnenblumen angewendet: der *Héliotest*. Ein zur Saat gedüngter Streifen wird mit der übrigen, ungedüngten Parzellenfläche verglichen. Vom 6- bis zum 14-Blatt Stadium werden die unterschiedlich gedüngten Pflanzen beobachtet (Farbe, Pflanzenhöhe, Bestandesdichte). Das Stadium, bei dem Unterschiede auftreten, erlaubt es, den Versorgungszustand der Pflanzen und die Nachlieferung des Bodens abzuschätzen. Je früher die visuellen Unterschiede auftreten, desto grösser wird der Stickstoffmangel sein. Aufgrund des Nachlieferungsvermögens des Bodens und des Bedarfs der Kultur (45 kg von den Pflanzen aufgenommenen Stickstoff pro Tonne produzierter Körner) kann nach der Schätzmethode (Kapitel 7.1.2) die Stickstoffmenge berechnet werden, abhängig vom Stadium, bei dem die visuellen Unterschiede aufgetreten sind, und der Ertragserwartung (Pellet und Grosjean 2007).

**Die Pflanzensaftanalyse:** Mit Hilfe von Schnelltestgeräten (Nitrachek, Jubil® oder andere) wird im Getreidebau zu bestimmten Zeitpunkten der Nitratgehalt des Pflanzensaftes an der Halmbasis gemessen. Nach kultur- und sortenspezifischer Eichung können diese Resultate wertvolle Hinweise zur Bemessung der N-Gaben zu bestimmten Entwicklungsstadien geben (Pellet 2000a & b).

Chlorophyllmessungen: Bei Schnelltestgeräten, welche die Farbintensität der Blätter messen (N-Tester; Yara 2008), ist eine aufwändige 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.

**Doppelte Saatdichte:** Diese Methode, welche vor allem im Getreidebau eingesetzt wird, basiert auf dem Vergleich mit einer Testparzelle mit doppelter Saatdichte. Man geht davon aus, dass in der Testparzelle mit doppelter Saatdichte im gleichen Zeitraum mehr Stickstoff aufgenommen wird als bei der üblichen Saatdichte und, falls nicht nachgedüngt wird, der Bodenvorrat schneller erschöpft ist. Dies führt dazu, dass auf der Testparzelle N-Mangel (Gelbfärbung der Blätter) früher auftritt. Zu diesem Zeitpunkt wird die erste N-Gabe verabreicht. Bei gleich hoher N-Gabe in der Normal-Saat und der doppelt gesäten Testparzelle nimmt man an, dass auf letzterer der Stickstoffmangel erneut früher eintritt. Dadurch kann der Zeitpunkt für die zweite N-Gabe festgelegt werden (Limaux *et al.* 1999).

## 7.1.5. Aufteilung der Stickstoffdüngung und Höchstmengen

Unabhängig von der gewählten Methode zur Bemessung der Stickstoffdüngung sind die in **Tabelle 26** enthaltenen Angaben bezüglich Aufteilung, Zeitpunkt und Höchstmenge der einzelnen Stickstoffgaben zu den verschiedenen Kulturen zu beachten. Dabei sind insbesondere die 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.

Auch 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. Die Summe der maximalen N-Gaben zu den definierten Zeitpunkten entspricht nicht der Düngungsnorm für die jeweilige Kultur. Die Düngungsnormen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

## **7**.1.5 Tabelle 26. Optimaler Zeitpunkt und Höchstmenge einzelner Stickstoffgaben zu verschiedenen Kulturen in Abhängigkeit von Niederschlags- und Bodenverhältnissen

Kultur	Trockenere Gebiete <sup>1</sup> oder tiefgründige	ere Böden <sup>2</sup>	Feuchtere Gebiete <sup>3</sup> oder flachgründigere B	öden <sup>4</sup>
bzw. Gruppe von Kulturen	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	Max. N-Gabe (kg N/ha)	Zeitpunkt bzw. Entwicklungsstadium der Kultur	Max. N-Gabe (kg N/ha)
Getreide und Mais				
Wintergetreide	Herbst (vor/nach der Saat) Ende Winter – Vegetationsbeginn Beginn Schossen – 1 Knoten 2 Knoten – Öffnen der Blattscheide	0 60 80 40	Herbst (vor/nach der Saat) Vegetationsbeginn 1 Knoten Erscheinen letztes Blatt – Beginn Ährenschieben	0 60 70 50
Sommergetreide	Saat Bestockung – Beginn Schossen 2 Knoten – Öffnen der Blattscheide	40 80 40	Saat 3 Blätter – Beginn Bestockung 1 Knoten Erscheinen letztes Blatt – Beginn Ährenschieben	30 50 40 40
Körner- und Silomais, CCM (Maiskolbensilage)	Saat 6-8 Blätter	80 80	Saat 4-6 Blätter 6-8 Blätter	40 40 80
Grünmais	Saat	60	Saat	50
Knollen- und Wurzelf	rüchte			
Kartoffeln (für Speisezwecke und techn. Verarbeitung)	Pflanzung Auflaufen – Stauden 10 cm	80 80	Pflanzung Stauden 10-15 cm Kurz vor dem Schliessen der Stauden in der Reihe	40 80 40
Frühkartoffeln	Pflanzung Auflaufen – Stauden 10 cm	60 60	Pflanzung Stauden 5-10 cm	40 80
Saatkartoffeln	Pflanzung Auflaufen – Stauden 10 cm	50 50	Pflanzung Stauden 5-10 cm	40 60
Zucker- und Futterrüben	Saat 4-6 Blätter	80 80	Saat 4-6 Blätter 6-8 Blätter	40 60 60
Öl- und Faserpflanze	n			
Winterraps	Saat Ende Winter – Vegetationsbeginn Beginn Streckung	0 80 60	Saat Vegetationsbeginn Streckung (Pflanzenhöhe ca. 30-40 cm)	0 80 60
Sommerraps	Saat Rosettenbildung bis Beginn Streckung	50 80	Saat Rosettenstadium Streckung (Pflanzenhöhe ca. 30-40 cm)	30 60 40
Sonnenblumen	Saat	80	Saat 6-8 Blätter	60 20
Ölhanf	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	40 40	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	40 30
Faserhanf	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	50 70	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	40 80
Öllein	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	50 30	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	20 40
Faserlein	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	30 30	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	20 40
Chinaschilf	Vegetationsbeginn	40	Vegetationsbeginn	40
Kenaf	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	50 50	Saat Pflanzenhöhe 15-20 cm	30 60
Übrige Kulturen				
Körnerleguminosen		0		0
Gründüngung	Saat	40	Saat	40
Tabak (Burley)	Pflanzung 4-6 Blätter	100 80	Pflanzung 4-6 Blätter	80 100

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

Niederschlagssumme von Januar bis Juni über 450 mmSpeichervermögen an leicht verfügbarem Wasser unter 70 mm

Im Futterbau übersteigt die korrigierte Stickstoffdüngungsnorm selten 50 Prozent der mit dem Futter entzogenen Stickstoffmenge, da der Pflanzenbestand noch über andere Stickstoffquellen verfügt: Symbiontische Stickstoff-Fixierung durch Leguminosen, Abbau organischer Substanz des Bodens, Nachwirkung regelmässiger Hofdüngergaben, N-Deposition. In **Tabelle 27** sind die korrigierten 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), die zum Auflaufen nicht mit Stickstoff gedüngt werden sollten, ist in allen Neuansaaten mit Standardmischungen zum Auflaufen eine Gabe von 20 bis 30 kg N/ha zu empfehlen.

Tabelle 27. Korrigierte Stickstoffdüngungsnormen für Wiesen in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsintensität und der Nutzungsart

Wiesentyp	Nutzungsart	Empfohlene Gabe pro Aufwuchs (kg N/ha)
Naturwiesen		
intensiv	- Schnitt - Weide	30¹ 20¹
mittel intensiv	<ul><li>Schnitt</li><li>Weide</li></ul>	25 15
wenig intensiv	<ul><li>Schnitt</li><li>Weide</li></ul>	15 <sup>2</sup> 0 <sup>3</sup>
extensiv	<ul><li>Schnitt</li><li>Weide</li></ul>	0 0
Kunstwiesen		
ein- und zweijährige Mischungen, basierend auf  Italienisch-Raigras und/oder Westerwoldisch-Raigras drei- und mehrjährige Mischungen  Luzerne-Gras (L-Mischung)  Mattenklee-Gras (M-Mischung)  Gras-Weissklee (G-, G*-Mischung)  Fromental-, Goldhafer-, Trespenwiese (Standardmischungen 450, 451, 455)	- Schnitt - Weide	30 <sup>1, 4</sup> 0 <sup>4, 5, 6</sup> 0 <sup>4, 5</sup> 30 <sup>1, 4</sup> 20 <sup>1, 4</sup> 15 <sup>2, 7</sup>
Zwischenfrüchte, Äugstlen		
<ul><li>eine Nutzung</li><li>mehrere Nutzungen</li></ul>		30 <sup>4</sup> 30 <sup>4</sup>
Leguminosen-, Grassamen-Produktion		
<ul><li>Leguminosen, Reinbestand</li><li>Gras, Reinbestand</li></ul>	- Dreschaufwuchs - Futteraufwuchs	0 <sup>4</sup> 50-100 <sup>4, 8</sup> 50

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> Die Stickstoffmenge, verabreicht durch die Gabe von Mist zur Deckung des P- und K-Bedarfes (vgl. Tabelle 3), ist akzeptabel

<sup>4 20</sup> bis 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

<sup>5</sup> Bei geringem Kleeanteil können diese Mischungen wie Gras-Weissklee-Mischungen gedüngt werden

Eine einmalige Gabe von 30 kg N/ha im Frühling ist empfohlen

Diese Mischungen erhalten keinen Stickstoff zum Auflaufen

<sup>8 50</sup> 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

# **7**.2

Die in **Tabelle 27** angegebenen Stickstoffmengen 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 ungefähr 15 dt TS/ha.

Berechnung der für die Ermittlung der korrigierten Düngungsnorm zu berücksichtigende Anzahl Nutzungen

Mähwiese: Übliche Anzahl Nutzungen = -

Jahresertrag (dt TS/ha)

25 (dt TS/ha)

Intensive Weide: Übliche Anzahl Nutzungen =

Jahresertrag (dt TS/ha)

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 (= übliche Anzahl Nutzungen gemäss **Tabelle 3** × korrigierte Düngungsnorm gemäss **Tabelle 27**) 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 empfohlene Menge pro Gaben zu überschreiten, da hier das Risiko einer Entartung des Pflanzenbestandes grösser ist. In auf Vollweide basierenden Produktionssystemen kann eine leichte Abweichung vom Prinzip der gleichmässigen N-Gaben zu jedem Aufwuchs interessant sein, um den Futterzuwachse innerhalb der Wachstumsperiode zu beeinflussen. Gegenüber einer gleichmässigen N-Düngung zu jedem Aufwuchs, bewirkt eine von Mai bis September auf fünf Gaben verteilte Düngung der gleichen totalen N-Menge eine Verschiebung des Futterwachstums vom Frühjahr auf den Spätsommer und Herbst im Umfang von ca. 10% des Gesamtjahresertrages, ohne diesen negativ zu beeinflussen (Thomet et al. 2007). Eine starke Düngung im Herbst erhöht aber das Nitratauswaschungsrisiko während der Wintermonate.

Obwohl die empfohlene Menge pro Gabe bei Weidenutzung um 10 kg N kleiner ist als 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 durch die Tiere 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.

## 8. Kalkdüngung

Der Kalkzustand des Bodens ist ein wichtiger Faktor für die nachhaltige landwirtschaftliche Landnutzung. Er wird entscheidend durch das Muttergestein, aus dem der Boden entstanden ist, durch die Niederschlagsverhältnisse sowie durch die Bewirtschaftungsweise beeinflusst. Kalkverluste treten vor allem durch Auswaschung, den Neutralisationsbedarf im Boden sowie den Entzug an Calcium durch die Kulturen statt. Die jährlichen Kalkverluste können einige bis mehrere Hundert kg CaCO<sub>3</sub> pro Hektare betragen und werden meist durch den Einsatz von Hof- und Recyclingdüngern, kalkhaltigen Mineraldüngern oder sporadischen kleinen Kalkgaben kompensiert (Erhaltungskalkung). Zur Verbesserung des Kalkzustandes mehr oder weniger saurer Böden ist eine gezielte Kalkdüngung notwendig (Meliorationskalkung). Die Höhe und Häufigkeit der Kalkgaben ist vom pH-Wert, der Basensättigung und der Bodenart abhängig. Es ist zu beachten, dass durch Kalkgaben der pH-Wert des Bodens erhöht wird und damit die Verfügbarkeit von Nährstoffen verändert werden kann.

Kalkdünger sind basisch wirksame Stoffe, welche sowohl die Konzentration der Wasserstoff-lonen (H+) verringern und damit den pH-Wert erhöhen als auch die Sorption der Ca<sup>2+-</sup> bzw. Mg<sup>2+-</sup>lonen erhöhen. Diese Eigenschaften besitzen Calciumoxide (CaO), -hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) oder Calcium- bzw. Magnesiumkarbonate (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>). Die Kalkmengen sind gemäss internationaler Usanz in der Form CaO (Calciumoxid) angegeben. Die neutralisierende Wirkung erfolgt durch die Verbindungen Calciumkarbonat [CaCO<sub>3</sub>] und Calciumhydroxid [Ca(OH)<sub>2</sub>], welches im Boden aus CaO entstehen kann.

Summenformeln für die Neutralisationswirkung von Kalkdüngern:

$$CaCO_3 + 2H^+ \rightarrow Ca^{2+} + CO_2 + H_2O$$
  
 $CaO + H_2O + 2H^+ \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H^+ \rightarrow Ca^{2+} + H_2O$ 

Beim Gips ( $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$ ) handelt es sich nicht um einen Kalkdünger, da er den pH-Wert des Bodens nicht verändert, sondern um einen Calcium-/Schwefeldünger).

Wird eine Verbesserung des Kalkzustandes angestrebt, kann eine grobe Bemessung der notwendigen Kalkgabe aufgrund des pH<sub>(H2O)</sub>-Wertes des Bodens vorgenommen werden (Tabelle 28). Es ist zu beachten, dass der Kalkbedarf mit steigendem Tongehalt zunimmt, mit steigendem Humusgehalt hingegen abnimmt.

Tabelle 28. Grobe Bemessung von Kalkgaben aufgrund des pH-Wertes und des Tongehaltes des Bodens sowie der Bodennutzung

		Meliorations	Erhaltungs- kalkung		
Ton-, Humusgehalt	pH <sub>(H2O)</sub> des Bodens	Kalkgabe (dt CaO/ha)  Kalkgabe (dt CaO/ha)  Alle 4-5 Jah			
		Ackerland und Kunstwiesen	Naturwiesen	Naturwiesen	
< 10 % Ton	< 5,3 5,3-5,8 5,9-6,2 > 6,2	20 15 10 0	10 7,5 <sup>2</sup> 5 <sup>2</sup> 0	- 5-7 <sup>3</sup> 5-7 <sup>3</sup>	
10-30 % Ton	< 5,3 5,3-5,8 5,9-6,2 > 6,2	30 25 20 0	15 12,5 <sup>2</sup> 10 <sup>2</sup> 0	8-10 <sup>3</sup> 8-10 <sup>3</sup> -	
> 30 % Ton	< 5,3 5,3-5,8 5,9-6,7 > 6,7	35 30 25 0	20 17,5 <sup>2</sup> 15 <sup>2</sup> 0	- 9-12 <sup>3</sup> 9-12 <sup>3</sup> -	
> 10 % Humus		0	0	-	

<sup>1</sup> Im Futterbau sind Pflanzenbestand und an den Standort angepasste Pflanzenarten zu berücksichtigen.

<sup>2</sup> In der Regel genügt eine Erhaltungskalkung alle 4-5 Jahre.

<sup>3</sup> Die Erhaltungskalkung wird empfohlen, falls eine fortschreitende Versauerung beobachtet wird.

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

E (kg CaO) = 
$$1.0 \times \text{CaO} + 1.4 \times \text{MgO} + 0.6 \times \text{K}_2\text{O} + 0.9 \times \text{Na}_2\text{O} - 0.4 \times \text{P}_2\text{O}_5$$
  
-  $0.7 \times \text{SO}_3 - 0.8 \times \text{CI} - \text{n} \times \text{N}$   
(n =  $0.8$  für Wiesen und  $1.0$  für Ackerland)

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

Für eine wesentlich gezieltere Bemessung dient die Kationenaustauschkapazität bzw. die daraus errechnete Basensättigung des Bodens als Grundlage. In **Tabelle 29 und Tabelle 30** sind die Beurteilung der Basensättigung und die empfohlenen Kalkgaben in Abhängigkeit der Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung des Bodens sowie der Bewirtschaftung aufgeführt. Es ist darauf hinzuweisen, dass bei futterbaulicher Nutzung des Bodens in der Regel bei einer Basensättigung unter 50% eine Kalkdüngung notwendig sein kann. Im Ackerbau liegt der entsprechende Wert bei 60%.

Tabelle 29. Beurteilung des Kalkzustandes des Bodens aufgrund der Basensättigung

Basensätt	igung (%)	Bezeichnung	Versorgungs- klasse	
Ackerland und Kunstwiesen	Naturwiesen	des Kalkzustandes des Bodens		
< 40	< 30	sehr arm	Α	
40-49	30-39	arm	A	
50-59	40-49	mässig	В	
60-80	50-80	genügend	С	
> 80	> 80	Vorrat	D	

Tabelle 30. Bemessung von Kalkgaben aufgrund der Basensättigung und der Kationenaustauschkapazität des Bodens

Die Gaben wurden für die Bodenschicht von 0 bis 20 cm Tiefe berechnet. Die Umrechnungsfaktoren für verschiedene Kalkformen sind in Tabelle 62 enthalten.

Basensättigung (%)		Kalkgabe (dt CaO/ha) je nach Kationenaustausch- kapazität (mäq/100 g Boden)					
Ackerland und Kunstwiesen	Naturwiesen	< 10	10-15	15-20	> 20		
> 60	> 50	0	0	0	0		
50-60	40-50	7,3	12,5	15,5	20,01		
40-49	30-39	10,0	19,0	21,5¹	28,0 <sup>1</sup>		
< 40	< 30	13,0	24,5 <sup>1</sup>	27,5 <sup>1</sup>	36,01		

<sup>1</sup> Aufteilung auf 2 bis 3 Gaben im Abstand von 2 bis 4 Jahren. Vor dem Ausbringen der zweiten bzw. dritten Gabe ist eine erneute Bestimmung des pH-Wertes des Bodens empfehlenswert.

# 8.1/8.2

#### 8.1. Ackerbau

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

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

#### 8.2. Futterbau

Die optimalen pH-Werte liegen für die Naturwiesen meist unter denjenigen für den Ackerbau. Die meisten futterbaulich wertvollen Wiesenpflanzen gedeihen am besten bei schwach saurer bis saurer Bodenreaktion (pH<sub>(H2O)</sub> 5,5 - 6,7). In diesem pH-Bereich sind auch die meisten Nährstoffe gut pflanzenverfügbar. Unter unseren Klimabedingungen neigen jedoch auch die Böden unter Graslandbewirtschaftung zu einer langsam fortschreitenden Versauerung. Die Geschwindigkeit dieser Versauerung hängt von den Standortverhältnissen sowie von der Art der Düngung ab. Sinkt der Boden-pH unter 5,5, nimmt das Wachstum der Leguminosen und ihre symbiontische Stickstoff-Fixierung ab, was zu einer Ertragsreduktion führen kann (für die Luzerne bereits unter einem pH-Wert von 6,5). Um dieser natürlichen Versauerung entgegenzuwirken, ist der regelmässige Einsatz kalkhaltiger bzw. basisch wirkender Stickstoff-, Phosphor- und/oder Magnesiumdünger oder sind regelmässige kleine Kalkgaben (Erhaltungskalkung) empfehlenswert (Tabelle 28).

Bei pH-Werten unter 5,3 und einer nicht optimalen botanischen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes (z. B. schlechtes Wachstum der Leguminosen) ist unter Berücksichtigung der Basensättigung eine gezielte Aufkalkung ins Auge zu fassen (**Tabelle 29 und Tabelle 30**). Wenn die botanische Zusammensetzung ausgewogen ist, ist keine Aufkalkung notwendig. Allgemein ist darauf zu achten, dass Kalkmengen von mehr als 15 dt CaO/ha auf mehrere Gaben im Abstand von jeweils zwei Jahren aufgeteilt werden. Der Calciumgehalt im Futter erlaubt keine gesicherte Aussage über den Säuregrad des Bodens oder den Kalkbedarf, da der Calciumgehalt des Futters sehr stark von der botanischen Zusammensetzung beeinflusst wird.

Verschiedene Versuchsreihen haben gezeigt, dass bei pH-Werten über 5,0 bis 5,5 oft kein deutlich positiver Effekt der Kalkdüngung auf den Ertrag der Wiesen beobachtet werden kann (Schechtner, 1993; Fabre und Kockmann, 2006). Zu hohe Kalkmengen führen sogar zu einer Verschlechterung der Nährstoffverfügbarkeit (ab einem pH von ca. 7,0).

Die Korrektur des Boden-pH kann zwar eine positive Wirkung auf den Anteil an Leguminosen und/oder an futterbaulich wertvollen Gräsern haben. Die häufig nutzbaren, ertragreichen und nährstoffliebenden Gräser gedeihen dennoch nur in den milden Lagen. In weniger futterwüchsigen Lagen, wo die intensiv nutzbaren Gräser fehlen, wird das Wachstum durch die Temperatur, Niederschlagsmenge, Vegetationsdauer und die Dauer der Schneedeckung stärker eingeschränkt. Gräser, die unter weniger günstigen Bedingungen noch vorkommen sind weniger intensiv nutzbar, ertragsschwächer und haben deshalb einen kleineren Nährstoffbedarf. Je schlechter die klimatischen Voraussetzungen für das Wachstum sind, desto kritischer sind Massnahmen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit im Futterbau zu beurteilen. Degenerierte Pflanzenbestände als Folge von Nährstoffüberschüssen, nicht standortgerechter Nutzung oder Bodenverdichtungen können mit Kalk nicht verbessert werden. Auf Alpböden, die von Natur aus sauer sind, kann eine Kalkung negative Auswirkungen auf die botanische Zusammensetzung der an diese Standortverhältnisse angepassten, natürlichen Vegetation haben.

9

# 9. Düngung mit Schwefel und Spurenelementen

Eine regelmässige Düngung mit Spurenelementen ist unter schweizerischen Verhältnissen in der Regel nicht notwendig. Die meisten Böden enthalten aufgrund der Zusammensetzung des Muttergesteins ausreichende Mengen an Spurenelementen, um optimale Erträge von einwandfreier Qualität zu erzielen. Trotzdem sind die spezifischen Bedürfnisse einzelner Kulturen an Schwefel und Spurenelementen zu beachten; beispielsweise Schwefel bei Kreuzblütlern, Bor bei Zuckerrüben, Mangan bei Zuckerrüben und Sonnenblumen, usw.

# 9.1/9.1.1

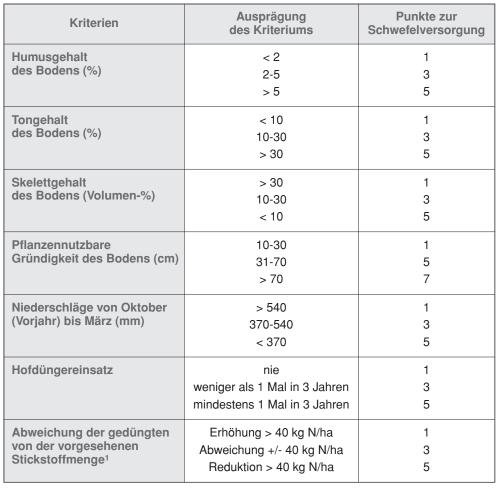
## 9.1. Schwefel

Der Schwefelbedarf der Kulturen wird heute hauptsächlich durch Ernterückstände, Hofund Recyclingdünger sowie Mineraldünger gedeckt. In den Jahrzehnten vor 1980 erfolgte zusätzlich ein wesentlicher Schwefeleintrag durch die Niederschläge als Folge der Verbrennung von Kohle und Erdölprodukten. Er erreichte Werte in der Grössenordnung von 30-50 kg S/ha und Jahr, in der Nähe von Ballungsgebieten waren Einträge bis zu 100 kg S/ha und Jahr zu verzeichnen. Dadurch wurde auch die Schwefelversorgung anspruchsvoller Kulturen (Tabelle 32) gesichert. Der Ersatz der Kohle durch Erdöl und vor allem der Beginn der Entschwefelung der Erdölprodukte in den 80er-Jahren führten zu einer starken Reduktion des Schwefeleintrages durch den Regen. Als Folge davon ist Schwefelmangel heute bei bedürftigen Kulturen nicht selten zu beobachten.



Der weitaus grösste Teil des Schwefelvorrates im Boden liegt in organischer Form vor (Humus, organische Dünger). Dessen Mineralisierung läuft parallel zur Stickstoffmineralisierung. Das dabei entstehende Sulfat ( $\mathrm{SO_4^{2-}}$ ) verhält sich im Boden sehr ähnlich dem Nitrat.











# 9.1.1/9.1.2/9.2

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

Tabelle 32. Schwefelentzug einiger Kulturen sowie Bemessung der Schwefeldüngung

Kultur Schwefel- entzug (kg S/ha)		Bemessung der Schwefeldüngung nach Angebotspunkten (Tabelle 31) (kg S/ha)				
Stark bedürftige Kulturen	< 15 Punkte	15-23 Punkte	> 23 Punkte			
Raps 80		60	35	0		
Mittel bedürftige Kulturen		< 14 Punkte	14-20 Punkte	> 20 Punkte		
Futtergräser Zucker- und Futterrüben Luzerne Mais	35 35 30 30	25 25 20 20	15 15 15 15	0 0 0 0		
Wenig bedürftige Kulturen	< 13 Punkte	13-18 Punkte	> 18 Punkte			
Weizen Gerste Kartoffeln Intensive Wiesen Übrige Kulturen	25 20 20 20-35 < 20	20 10 10 15-20 0	10 0 0 0 0	0 0 0 0		

Als Alternative zu  $S_{min}$  kann durch die die Kombination von Eigenschaften verschiedener Einflussfaktoren des Standorts und der Bewirtschaftung oft eine ausreichende Beurteilung des Potenzials zur Deckung des Schwefelbedarfs der Kulturpflanzen ermittelt werden. Als Grundlage dienen dabei der Humus-, Ton- und Skelettgehalt sowie die Gründigkeit des Bodens, die Winter- und Frühjahrsniederschläge, die Häufigkeit des Hofdüngereinsatzes und die gedüngte Stickstoffmenge (Tabelle 31). Durch Vergleich des Schwefelangebots (Tabelle 31) mit dem Schwefelbedarf der Kulturen (Tabelle 32; Pellet  $et\ al.\ 2003a\ und\ 2003b)$  lässt sich der Schwefeldüngebedarf abschätzen.

#### 9.1.2. Form und Zeitpunkt der Schwefeldüngung

Da sich das von den Pflanzen aufnehmbare Sulfat im Boden sehr ähnlich dem Nitrat verhält, ist eine gezielte Schwefeldüngung nach den Regeln der mineralischen Stickstoffdüngung durchzuführen. Die Grundversorgung des Bodens erfolgt oft durch die Hofdünger (1 Tonne Stallmist oder 1 m³ unverdünnte Rindervollgülle enthält etwa 0,3-0,4 kg S). Eine gezielte kulturspezifische Schwefeldüngung erfolgt am sichersten durch die Verwendung schwefelhaltiger Stickstoffdünger (Tabelle 58). Im Frühjahr ausgebrachte mineralische Kalium-, Magnesium- oder Mehrnährstoffdünger mit ausreichendem Schwefelanteil (Tabelle 58) sind ebenfalls gut geeignet. Bei bereits sichtbaren Mangelsymptomen kann eventuell eine Blattdüngung mit Magnesiumsulfat (Bittersalz) kurzfristig den Schwefelbedarf der Pflanzen teilweise decken.

### 9.2. Bor, Mangan und andere Mikronährstoffe

Unter speziellen Bedingungen ist eine Düngung mit Bor oder Mangan notwendig. Insbesondere in alkalischen Böden ist eine Bordüngung zu borbedürftigen Kulturen (Rüben, Raps, Sonnenblumen) in der Grössenordnung von 1,5 bis 2 kg Bor pro Hektare empfehlenswert. Die Manganverfügbarkeit ist in alkalischen, humusreichen Böden eingeschränkt. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass unsachgemässe Kalkgaben zu ernsthaften Schwierigkeiten bezüglich Bor- und Manganversorgung der Pflanzen führen können. Über die Interpretation der Bodenuntersuchungsergebnisse und die Bemessung allfälliger Bor- oder Mangangaben aufgrund einer Bodenanalyse in Abhängigkeit des Humusgehaltes, der Bodenreaktion und Bedürftigkeit der Kulturen gibt **Tabelle 33** Auskunft.

			Bezeich- nung	Versorgungsklasse	Humusgehalt des Bodens < 10 %		Humusgehalt des Bodens > 10 %			
Nähr- stoff							Saure und schwach saure Böden		Neutrale und alkalische Böden	
Stoll				Versorgu	Wenig bedürftige Kulturen	Bedürf- tige Kulturen <sup>1</sup>	Wenig bedürftige Kulturen	Bedürf- tige Kulturen <sup>1</sup>	Wenig bedürftige Kulturen	Bedürf- tige Kulturen <sup>1</sup>
Bor	0,6-1,5 1,6-2,0 2,1-5,0 > 5,0		Arm	Α	1,5-2,0 kg B/ha²	2,5-3,0 kg B/ha²	1,5-2,0 kg B/ha²	2,5-3,0 kg B/ha²	1,5-2,0 kg B/ha²	2,5-3,0 kg B/ha <sup>2</sup>
			Mässig	В	_	1,5-2,0 kg B/ha²	_	2,0-2,5 kg B/ha <sup>2</sup>	_	2,0-2,5 kg B/ha <sup>2</sup>
			Genügend Vorrat Angereichert	C D E	-	-	_	_	_	-
Mangan	Aus- tauschbar	Leicht reduzierbar								
	< 2		Arm	Α	20-40 kg Mn/ha <sup>2</sup>	30-50 kg Mn/ha²	30-50 kg Mn/ha²	40-60 kg Mn/ha <sup>2</sup>	10-15 kg/ha Mangansulfat <sup>3</sup>	
	> 2	< 50	Mässig	В	20-40 kg Mn/ha <sup>2</sup>	20-40 kg Mn/ha²	20-40 kg Mn/ha <sup>2</sup>	20-40 kg Mn/ha²	10-15 Mangar	
	> 2	> 50	Genügend	С	_	_	_	_	_	_

- 1 Bor: Rüben, Raps, Sonnenblumen. Mangan: Getreide, Leguminosen, Rüben
- 2 Bodendüngung: Bor kann als Borax gestreut, als Borsäure gespritzt (auf den Boden!) oder in Form von ausreichend borhaltigen Mehrnährstoffdüngern ausgebracht werden
- 3 Eine Bodendüngung ist unter diesen Bodenverhältnissen meistens wirkungslos → Blattdüngung (in 600 bis 1000 Liter Wasser). Oft ist eine mehrmalige Anwendung dieser Mengen notwendig. Anstelle von Mangansulfat können auch andere für die Blattdüngung geeignete Mangandünger eingesetzt werden (Gehalte und Anwendungsvorschriften beachten).

Nebst Bor und Mangan ist eine Düngung mit Spurenelementen nur unter ganz speziellen Standort- oder Produktionsbedingungen notwendig. Die Untersuchung des Bodens auf weitere Spurenelemente ist nur ausnahmsweise nach Rücksprache mit dem Beratungsdienst oder den Forschungsanstalten angezeigt.

## 10. Ernterückstände

Die Düngungsnormen enthalten stets den Nährstoffbedarf der üblicherweise erntbaren Haupt- und der anfallenden Nebenprodukte (Tabelle 1). Wenn die Nebenprodukte (Stroh, Stauden, Stängel, Kraut usw.) bei der Ernte auf dem Feld verbleiben, sind die in ihnen enthaltenen Phosphor-, Kalium- und Magnesiummengen (Tabelle 1) von der Düngung der nachfolgenden Kultur abzuziehen. Wie bei den Hofdüngern sind die gesamten in den abgeführten Nebenprodukten enthaltenen Phosphor-, Kalium- und Magnesiummengen (Tabelle 1) von der korrigierten Normdüngung der Folgekultur abzuziehen. Bei teilweiser Abfuhr der Nebenprodukte kann der auf dem Feld verbleibende Anteil geschätzt werden.



10