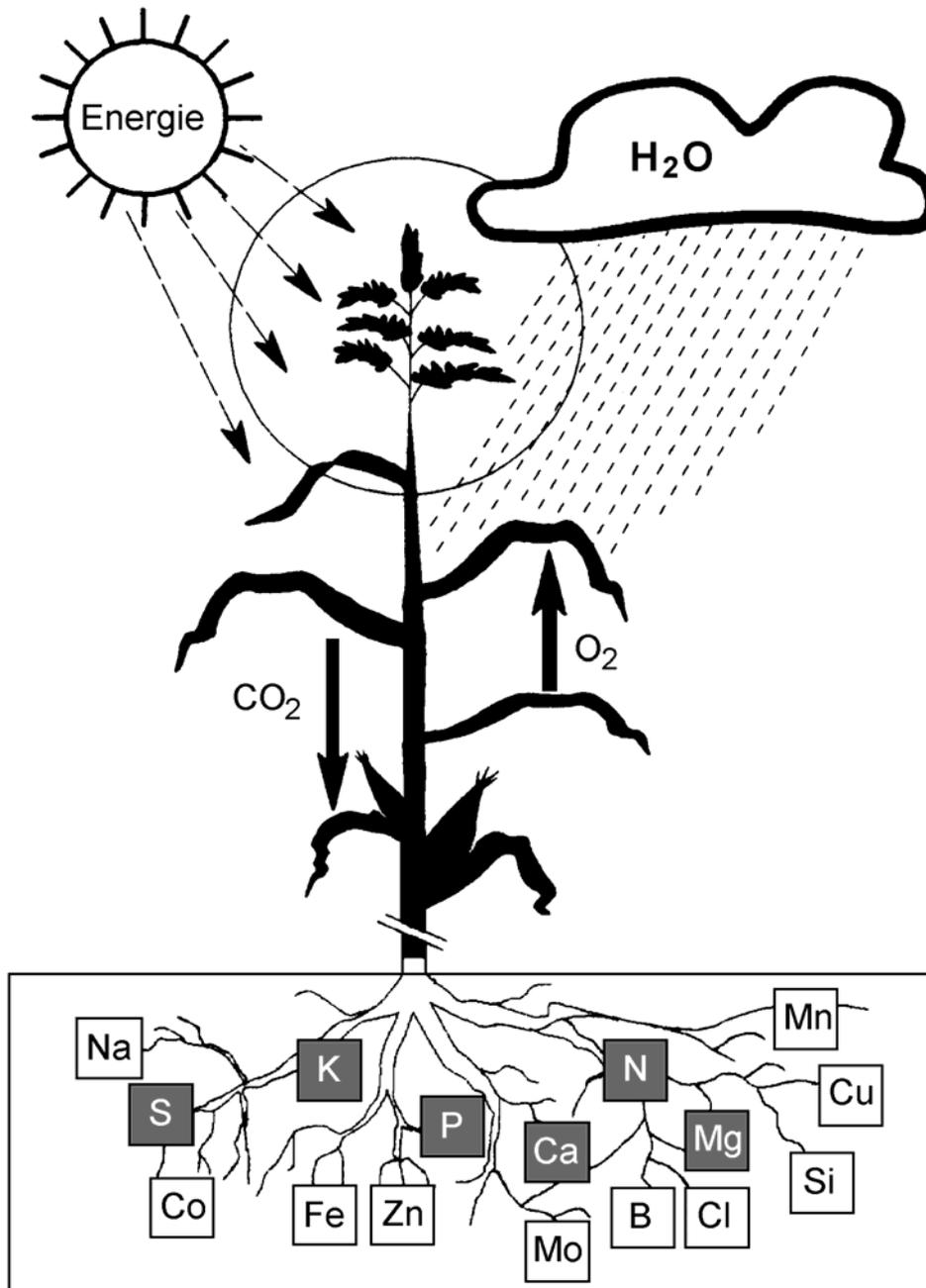


# INFORMATIONEN ZUR DÜNGUNG

- Ausgabe Hessen / Rheinland-Pfalz / Saarland -  
überarbeitete Auflage



## Inhaltsverzeichnis

### Abkürzungen und Umrechnungsfaktoren

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	1
<b>2. Begriffsbestimmung</b>	2
<b>3. Bodenuntersuchung</b>	4
<b>4. Abhandlung der einzelnen Nährstoffe</b>	7
4.1 Stickstoff	7
4.1.1 Ermittlung der N-Nachlieferung des Bodens	7
4.1.2 Ermittlung des N-Düngebedarfs im Grünland	12
4.1.3 Düngebedarfsermittlung bei Dauerkulturen (Obst, Reben, Beerenobst)	12
4.1.4 Wirkung des Stickstoffs in organischen Düngern	13
4.1.5 Wirkungsweise mineralischer N-Formen	14
4.1.6 Kalkstickstoff	15
4.2 Phosphat	16
4.2.1 Phosphat im Boden	16
4.2.2 Phosphat in der Pflanze	17
4.2.3 Phosphaternährung und -düngung im Pflanzenbau	18
4.2.4 Wirkung der Phosphatdüngung auf die Qualität verschiedener Kulturen	20
4.2.5 Phosphatdüngemittel	21
4.2.6 Phosphat in organischen Düngern	22
4.3 Kali	23
4.3.1 Kali in der Pflanze	23
4.3.2 Kali im Boden	24
4.3.3 Düngebedarf	25
4.3.4 Düngeverfahren	26
4.3.5 Kaliformen	27

4.4	Kalk	28
4.4.1	Düngebedarf	29
4.4.2	Düngungsempfehlungen	29
4.4.3	pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit	31
4.4.4	Kalkformen und -wirkung	32
4.4.5	Kalkausbringung	33
4.5	Magnesium	34
4.5.1	Magnesium in Boden und Pflanze	34
4.5.2	Magnesiumbedarf	35
4.5.3	Magnesiumformen	35
4.5.4	Empfehlungen zur Magnesiumdüngung	36
4.6	Schwefel	39
4.6.1	Schwefel im Boden	39
4.6.2	Schwefel in der Pflanze	40
4.6.3	Schwefelformen	42
4.6.4	Schwefelbedarf	43
4.7	Natrium	44
4.7.1	Natrium im Pflanzenbau	44
4.7.2	Natrium in der Tierernährung	44
4.8	Spurennährstoffe	46
<b>5.</b>	<b>Düngeverordnung (DVO)</b>	<b>50</b>
<b>6.</b>	<b>Anhang</b>	<b>54</b>

Nachdruck nur nach schriftlicher Genehmigung durch den LAD Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland. Kostenlose Bestellung der Broschüre bei allen LAD-Mitgliedern.

## Gebräuchliche Abkürzungen

AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
ASS	Ammonsulfatsalpeter
AZ	Ackerzahl (Bodenpunkt)
BU	Bodenuntersuchung
CaO	Calciumoxid (= Branntkalk)
CAL	Calcium-Acetat-Lactat
CaCl <sub>2</sub>	Calciumchlorid
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
dt/ha	Dezitonnen pro Hektar
DVO	Düngeverordnung
HST	Harnstoff
KAS	Kalkammonsalpeter
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
MJME	Megajoule Metabolisierte Energie
K bzw. K <sub>2</sub> O	Kalium bzw. Kaliumoxid
LUFA	Landw. Untersuchungs- u. Forschungsanstalt
Mg bzw. MgO	Magnesium bzw. Magnesiumoxid
mg	Milligramm
ml	Milliliter
N	Stickstoff
Na bzw. Na <sub>2</sub> O	Natrium, bzw. Natriumoxid
NH <sub>4</sub> -N	Ammonium-Stickstoff
NO <sub>3</sub> -N	Nitrat-Stickstoff
N <sub>org</sub>	organisch gebundener Stickstoff

P bzw. $P_2O_5$	Phosphor bzw. Phosphat
S	Schwefel
SSA	Schwefelsaures Ammoniak
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz

### Umrechnungsfaktoren

<p><b>Calcium</b></p> <p>Ca x 1,40 = CaO</p> <p>CaO x 1,78 = CaCO<sub>3</sub></p> <p>CaCO<sub>3</sub> x 0,56 = CaO</p> <p>CaO x 0,71 = Ca</p>	<p><b>Magnesium</b></p> <p>Mg x 1,66 = MgO</p> <p>MgO x 2,09 = MgCO<sub>3</sub></p> <p>MgCO<sub>3</sub> x 0,48 = MgO</p> <p>MgO x 0,60 = Mg</p> <p>MgSO<sub>4</sub> x 0,34 = MgO</p>
<p><b>Phosphor</b></p> <p>P x 2,29 = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></p> <p>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> x 0,44 = P</p>	<p><b>Kalium</b></p> <p>K x 1,20 = K<sub>2</sub>O</p> <p>K<sub>2</sub>O x 0,83 = K</p> <p>KCl x 0,63 = K<sub>2</sub>O</p> <p>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> x 0,54 = K<sub>2</sub>O</p>
<p><b>Schwefel</b></p> <p>S x 3,00 = SO<sub>4</sub></p> <p>SO<sub>4</sub> x 0,33 = S</p>	
<p><b>Natrium</b></p> <p>Na x 2,54 = NaCl</p> <p>NaCl x 0,39 = Na</p>	<p><b>Stickstoff</b></p> <p>N x 4,43 = NO<sub>3</sub></p> <p>NO<sub>3</sub> x 0,23 = N</p> <p>N x 1,29 = NH<sub>4</sub></p> <p>NH<sub>4</sub> x 0,78 = N</p>

## 1. Einleitung

Erfolgreicher Pflanzenbau ist nur möglich, wenn den Pflanzen während der gesamten Vegetationszeit eine optimale Nährstoffversorgung geboten wird. Ein exakt gesteuertes Stickstoffangebot und ein stets ausreichender Vorrat an Grund- und Spurennährstoffen auf der Basis einer optimalen Kalkversorgung sind Grundvoraussetzung dafür, daß moderne Sorten ihr Leistungspotential voll ausschöpfen können.

Im Auftrag des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) wurde 1996 eine Umfrage zum Beratungsanspruch von Landwirten durchgeführt. Danach nehmen zwar nur 40 % der befragten Betriebsleiter eine Düngemittelberatung regelmäßig in Anspruch, aber fast 75 % aller Befragten richten sich bei der Düngung nach Empfehlungen von Beratungseinrichtungen und Berufskollegen.

Die Umfrage unterstreicht u.a. auch die heute sehr bedeutsame Position von Handel und Genossenschaften als Beratungspartner der Landwirtschaft in Düngungsfragen. Insbesondere junge Betriebsleiter im Haupterwerb sind auch auf die Beratung durch ihre Handelspartner angewiesen, um das erlernte Schulwissen in die Praxis umzusetzen.

Diese Broschüre des LAD Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland gibt Ihnen kurzgefaßt Auskunft zu allen Fragen der Düngung und den gängigsten Düngemitteln. Im Tabellenanhang finden Sie in übersichtlicher Form alle wesentlichen Daten, die zum Erstellen einer Düngeempfehlung benötigt werden.

Für weitergehende Fragen stehen Ihnen die Mitglieder des LAD jederzeit zur Verfügung. Die Anschriften finden Sie auf dem Umschlagblatt.

Ihr LAD Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland

## 2. Begriffsbestimmungen

Man unterscheidet folgende Begriffe:

**Nährstoffbedarf** ist die Menge an Nährstoffen, welche von den Pflanzen für eine optimale Ertragsbildung und beste Qualität benötigt wird. Diese liegt höher als der Gesamtentzug bei der Ernte, da abfallende Blätter und Pflanzenteile beim Gesamtentzug nicht berücksichtigt werden.

**Gesamtentzug** entspricht einem Teil des Nährstoffbedarfs und ist die gesamte Menge an Nährstoffen, die im Ernteprodukt und den Ernterückständen gefunden wird.

**Nährstoffabfuhr** (Nettoentzug) ist die Nährstoffmenge, die über die Ernteprodukte das Feld verläßt. Ernterückstände sind darin nicht enthalten, sie verbleiben auf dem Feld.

**Düngebedarf** ist die Nährstoffmenge, die ergänzend zu den verfügbaren Nährstoffen aus dem Bodenvorrat und den Ernterückständen gedüngt werden muß. Der Düngebedarf ist u.a. von Standortfaktoren, Witterung, Bewirtschaftungsintensität und genetischer Veranlagung der Sorte abhängig. Verluste durch Ausgasung, Auswaschung und Festlegung müssen berücksichtigt werden. Bei Phosphat, Kali und Magnesium ist dabei die Gehaltsklasse C sicherzustellen.

**Nährstoffaufnahme** beschreibt den Vorgang der Nährstoffaneignung durch die Pflanzen und beinhaltet den zeitlichen Verlauf des Nährstoffbedarfs während der einzelnen Vegetationsabschnitte.

**Erhaltungsdüngung** umfaßt die Nährstoffmenge, die eine optimale Pflanzenernährung sicherstellt, ökonomisch sinnvoll ist, und langfristig die Bodenfruchtbarkeit, d.h. die Ertragsfähigkeit des Standorts erhält.

**Erhaltungskalkung** ist die Kalkmenge, die regelmäßig ausgebracht werden muß, um Kalkverluste auszugleichen und damit den optimalen Kalkzustand des Bodens zu erhalten.

**Gesundungskalkung** ist die Kalkmenge, die zusätzlich zur Erhaltungskalkung ausgebracht werden muß, um einen Boden mit zu niedrigem pH-Wert bis in einen optimalen pH-Bereich aufzukalken.

**Fruchtfolgedüngung** umfaßt die Nährstoffmenge, die - bei guter Nährstoffversorgung des Bodens - mindestens den Nettoentzug einer gesamten Fruchtfolge so abdeckt, daß die Bodenfruchtbarkeit nicht leidet. Diese Düngergabe erfolgt in der Regel zur Blattfrucht.

### 3. Bodenuntersuchung

Die Kenntnis des Nährstoffgehaltes im Boden ist erforderlich, um kostensparend zu düngen, den Pflanzen die für ihr Wachstum nötigen Nährstoffmengen anzubieten und Umweltbelastungen durch Überdüngung zu vermeiden. Die Bodenuntersuchung gibt Auskunft über die Nährstoffgehalte der Böden und liefert somit brauchbare Anhaltspunkte zur Düngebedarfsermittlung.

Die Anforderungen an die Bodenuntersuchung sind im Laufe der Jahre mit zunehmender Verbesserung der Nährstoffvorräte im Boden deutlich gestiegen. Bei der Bemessung von Düngergaben hinterfragt die landwirtschaftliche Praxis heute viel präziser, wo das Düngeoptimum mit dem maximalen Gewinn liegt (Erhaltungsdüngung), und welche Nährstoffgehalte für einen bestimmten Standort anzustreben sind (Versorgungsstufe C).

Häufig jedoch stehen die mit der Bodenuntersuchung festgestellten Nährstoffgehalte und die durch Düngung erzielten Mehrerträge nicht in enger Beziehung zueinander. Die Ursachen hierfür liegen meistens in Standorteigenschaften (Boden, Witterung) oder in pflanzenspezifischen Eigenheiten begründet. Die Höhe der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen wird nämlich nicht nur von den vorhandenen Nährstoffen, sondern auch von deren Verfügbarkeit und dem Aneignungsvermögen der Pflanzen bestimmt. Die Nährstoffverfügbarkeit wiederum ist abhängig von zahlreichen Faktoren wie Wassergehalt, Bodenart, Bodenstruktur, Durchwurzelbarkeit, Humusgehalt, pH-Wert, Festlegung usw..

Trotzdem gibt es aber derzeit in der Praxis kein besseres Instrument zur Düngebedarfsermittlung als die Bodenuntersuchung, sie ist somit unverzichtbarer Bestandteil der Düngeplanung und stellt eine wichtige Orientierungshilfe für den Praktiker dar. Auch andere Methoden zur Düngebedarfsermittlung wie die Pflanzenanalyse und die Nährstoffbilanzierung haben ihre Schwächen. Reines Bilanzdenken, d.h. nur der Vergleich von Nährstoffzufuhr und Nährstoffabfuhr, erlaubt keine korrekte Ermittlung des Düngebedarfs, da wesentliche Umwelt- und Standortfaktoren nicht berücksichtigt werden.

Im übrigen sollte das letzte Milligramm hin oder her nicht entscheidend sein, vor allem im Grenzbereich der Versorgungsstufen (Tabelle 1). Viel zu selten nämlich

ist die mit einer Bodenprobe erfaßte Fläche völlig homogen, d. h. die Nährstoffgehalte sogar innerhalb eines Schlages können einer erheblichen Streuung unterliegen. Die vielfältige Abhängigkeit der über die Bodenuntersuchung ermittelten Nährstoffgehalte von spezifischen Standortfaktoren rechtfertigt ohne weiteres Zu- oder Abschläge, gegebenenfalls sogar über die in Tabelle 1 genannten Düngungsziele in den einzelnen Gehaltsklassen hinaus.

*Tabelle 1: Versorgungsbereiche der Bodennährstoffe und allgemeine Düngungsempfehlungen*

<b>Gehaltsklasse</b>	<b>Düngung</b>
A = sehr niedrig	stark erhöhte Düngung
B = niedrig	mäßig erhöhte Düngung
C = anzustreben (optimal)	Erhaltungsdüngung
D = hoch	verringerte Düngung
E = sehr hoch	vorübergehend keine Düngung

### **Bodenuntersuchungs-Methoden**

Die Bodenuntersuchung ermittelt den Düngebedarf mit Hilfe langjährig erprobter Standardmethoden. Die wichtigsten sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Wichtige Bodenuntersuchungsmethoden

Name	Bestimmung von
CAL-Methode (Calcium-Acetat-Lactat)	P, K
DL-Methode (Doppel-Lactat)	P, K
CaCl <sub>2</sub> -Methode (0,01 M) (Calciumchlorid)	pH-Wert, Mg
N <sub>min</sub> -Methode	NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N

Fehlerquellen bei der Bodenuntersuchung sind oftmals eine unsachgemäße Probenahme und Probenaufbereitung bzw. -aufbewahrung.

Die Nährstoffgehalte für Mineralböden werden in mg/100 g lufttrockenem Feinboden (< 2 mm) angegeben. Lediglich auf Moorböden werden die Nährstoffe auf das Bodenvolumen bezogen (mg/100 ml), weshalb hier die ermittelten Nährstoffgehalte je nach Humusanteil/Raumgewicht zur richtigen Interpretation mindestens halbiert werden müssen.

Die Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse von Mineralböden unterstellt ein Krümmengewicht von 4,2 Millionen kg/ha (Raumgewicht 1,4 g/cm<sup>3</sup>, 30 cm Krümmertiefe, Steinfreiheit). Flachgründige Böden oder Böden mit hohem Steinanteil sollten wegen des eingeschränkten Wurzelraumes bei gleicher Ertragserwartung etwa um 5-10 mg höhere Nährstoffgehalte aufweisen.

### **Bodenreaktion (pH-Wert)**

Unter der Bodenreaktion versteht man die Konzentration der freien und austauschbaren Wasserstoff-Ionen (H<sup>+</sup>). Die Meßgröße dafür ist der pH-Wert. Die Messung des pH-Wertes erfolgt in einer Bodensuspension (Aufschlammung) mit einer Meßelektrode. Als Suspensionsmittel wird eine 0,01 molare CaCl<sub>2</sub>-Lösung verwendet. Gut geeignet ist auch der Schnelltest vor Ort mit dem „Hellige-pH-Meter“.

## 4. Abhandlung der einzelnen Nährstoffe

### 4.1 Stickstoff

Ziel der Stickstoffdüngung ist es, möglichst genau die Differenz zwischen Pflanzenbedarf und N-Angebot aus dem Boden auszugleichen. Entscheidend für einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen N-Einsatz ist sowohl die absolute Höhe der N-Gaben als auch die sachgerechte Mengenverteilung während der Vegetation.

Ein Pflanzenbestand deckt seinen N-Bedarf im wesentlichen

- aus dem zu Vegetationsbeginn in der Wurzelzone vorhandenen mineralischen Stickstoff ( $N_{\min}$ )
- aus dem während der Vegetationsperiode durch Abbau organischer Stoffe (Humus) freiwerdenden Stickstoff (N-Nachlieferung)
- aus dem mit Wirtschaftsdüngern/Sekundärrohstoffen und mineralischen Düngemitteln zugeführten Stickstoff

Leguminosen nutzen außerdem den durch Knöllchenbakterien gebundenen Luftstickstoff.

#### 4.1.1 Ermittlung der N-Nachlieferung des Bodens

Vor der Düngung sollten  $N_{\min}$ -Werte bzw. die von den Landwirtschaftskammern veröffentlichten Analysedaten zur Ermittlung des N-Gehaltes des Bodens genutzt werden. Dabei haben die Ergebnisse der eigenen Proben grundsätzlich die höchste Aussagekraft.

Sofern keine  $N_{\min}$ -Analysen zum Zeitpunkt der N-Düngung vorliegen, wird als N-Angebot des Bodens bis zum Zeitpunkt der  $N_{\min}$ -Untersuchung angenommen:

Tabelle 3: Im Mittel anrechenbare  $N_{\min}$ -Werte in Abhängigkeit von der Bodengüte und der Kultur (nach LK Rheinland und Westfalen-Lippe)

S, IS, sU, flachgr. S	ssL, IU	sL, uL, L, utL, tL, T
Winterweizen		
40	50	60
Wintergerste, Winterroggen, Triticale		
30	40	50
Winterraps		
25	35	45
Zuckerrüben		
50	60	70
Mais, Kartoffeln		
40	50	60

Der tatsächliche N-Düngerbedarf richtet sich nach einer möglichen N-Nachlieferung, der Ertragserwartung, dem N-Bedarf der Kulturen sowie dem N-Sollwert. Der N-Sollwert beschreibt das erstrebte Stickstoffangebot zu Vegetationsbeginn. Die Differenz zwischen dem  $N_{\min}$ -Wert und dem N-Soll-Wert ist mit mineralischem Stickstoff zu düngen. Dabei müssen Zu- und Abschläge beachtet werden.

Tabelle 4: N-Sollwerte und Korrekturfaktoren für Wintergetreide  
(nach LK Rheinland und Westfalen-Lippe)

Getreideart	N-Sollwert (kg/ha) ohne Spätdüngung
Wintergerste	130
Winterroggen	120
Triticale	130
Winterweizen	140
Sommerweizen	140
Sommergerste	120
Hafer	100
Sollwertkorrektur	Korrekturwert (kg/ha)
• nach Standort	
kalte, untätige Böden (utL, tL, T)	+ 20
humusarme, leichte Sandböden (S)	+ 20
• nach Viehbesatz	
je GV/ha	-10
• nach Vorfrucht	
Winterweizen nach Getreide	+ 20
sonstiges Getreide nach Rüben, Gemüse Raps, Grünbrache	-20
Die Summe der Zu- und Abschläge sollte 40 kg/ha nicht übersteigen!	
<u>Beispiel:</u> Wintergerste auf Sandboden, Vorfrucht Getreide, Viehbesatz 2 GV/ha	
Sollwert Wintergerste	130 kg/ha N
Zuschlag für Sandboden	+ 20 kg/ha N
Abzug für Viehbesatz	- 25 kg/ha N
= korrigierter Sollwert	= 125 kg/ha N
gemessener N <sub>min</sub> -Gehalt	<u>- 36 kg/ha N</u>
Frühjahrs N-Gabe bis einschließlich Schossen	89 kg/ha N

Um die N-Nachlieferung abzuschätzen, bieten sich folgende Methoden an:

- Anlage eines Düngefensters
- Nitrat-Schnelltest (nach Wollring und Wehrmann)
- Hydro N-Tester und Hydro N-Sensor (optische Messung der Grünfärbung)

- EDV – Düngeplanungsprogramme (z.B.: DungExpert, Hydro-Plan)

Sollte die beschriebene Methode nicht zur Verfügung stehen, sind die in Tabelle 5 aufgeführten Angaben als Richtwerte zu nutzen.

*Tabelle 5 : Empfehlungen für die Spätdüngung von Getreide in kg/ha  
(nach LK Rheinland und Westfalen-Lippe)*

<i>Ertrags- erwartung in dt/ha</i>	<i>Backweizen</i>	<i>Futterweizen</i>	<i>Triticale Roggen</i>	<i>Wintergerste Sommerweizen</i>
<i>Ackerbaubetriebe</i>				
60	70 (2 x 35)	55	50	50
70				
80	80 (2 x 40)	65	60	60
90				
100	90 (2 x 45)	75	70	
<i>viehstarke Betriebe</i>				
60	50	35	30	30
70				
80	60	45	40	40
90				
100	70 (2 x 35)	55	50	

Verteilung der N-Gesamtmenge in der Praxis, zum Beispiel von Getreide:

- Zu Vegetationsbeginn etwa  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{2}$  des gesamten N-Bedarfs oder Düngung nach  $N_{\min}$ -Sollwert
- während der Vegetationszeit die Restmenge auf 1 - 2 Termine verteilt

Tabelle 6: N-Sollwerte für die N-Düngungsempfehlung nach der  $N_{\min}$ -Methode für ackerbauliche Kulturen  
(nach Leitfaden der LK Rheinland und Westfalen-Lippe 1996)

Pflanzenart	Probenahme		N-Sollwert* (ohne Spätgabe) kg N/ha
	Zeitpunkt	Tiefe cm	
Winterraps	Februar	0 - 90	200
Faser-/Öllein	März	0 - 90	70
Sonnenblumen	März	0 - 90	100
Zuckerrüben	März	0 - 90	180 <sup>1)</sup>
Runkelrüben	März	0 - 90	200
Speisekartoffeln	vor Pflanzung	0 - 60	180 <sup>2)</sup>
Veredelungskartoffeln	vor Pflanzung	0 - 60	220 <sup>2)</sup>
Körnermais, CCM, Silomais	Ende Mai, Anfang Juni	0 - 90	180-200 <sup>3)</sup>

Bemerkung: <sup>1)</sup> Auf tiefgründigem Löß bis zu 20 kg weniger

<sup>2)</sup> Auf feinerdearmen Standorten 20 kg weniger

<sup>3)</sup> Die mit der Unterfußdüngung plazierte N-Gabe anrechnen

#### 4.1.2 Ermittlung des N-Düngebedarfs im Grünland

An zwei Beispielen soll gezeigt werden, wie der N-Düngebedarf auf Grünland bei unterschiedlicher Intensität ermittelt wird. Bei abweichender Intensität sind die verwendeten Werte entsprechend zu korrigieren.

*Tabelle 7: N-Düngebedarf auf Grünland bei unterschiedlicher Intensität*

	<b>Beispiel 1</b>	<b>Beispiel 2</b>
	(4 Nutzungen 100 dt/ha TM x 2,9)	(3 Nutzungen 80 dt/ha TM x 2,6)
N-Entzug	290 kg N/ha	210 kg N/ha
abzgl. N-Bindung durch Legum. 5 %*	- 20 kg N/ha	- 20 kg N/ha
<b>noch zu deckender Düngebedarf</b>	<b>270 kg N/ha</b>	<b>190 kg N/ha</b>

\*angenommen wird in beiden Beispielen ein Leguminosenanteil von 5 %

Der beispielsweise errechnete Düngebedarf kann sowohl mineralisch als auch mit Wirtschaftsdüngern (nach Vorgaben der DVO) gedeckt werden.

(siehe Anhangstabelle 3)

#### 4.1.3 Düngebedarfsermittlung bei Dauerkulturen (Obst, Reben, Beerenobst)

Das bisher erläuterte Prinzip ist bei Dauerkulturen wie Obst, Reben usw. nur sehr schwer zu verwirklichen, da als Nettoentzug mit den genutzten Früchten oftmals nur wenig Stickstoff endgültig entzogen wird. Andererseits ist aber der jährliche Bedarf der Pflanzen zur Bildung von Blättern, Holz usw. recht hoch. Vielfach verbleiben große Mengen der jährlich nachwachsenden Pflanzenteile infolge Mulchwirtschaft auf der Fläche und bewirken sehr hohe N-Lieferungen des Bodens.

Für die Bemessung der N-Düngung gibt es daher zwei Möglichkeiten:

1. Kalkulation der N-Lieferung aufgrund von Erfahrungswerten. Entscheidende Einflußgrößen sind dafür der Humusgehalt, das Alter der Anlage, die Tiefgründigkeit der Böden und der Witterungsverlauf.
2. Die Analyse des Bodens auf den Gehalt an löslichem Stickstoff ( $N_{\min}$ ) und Ergänzung mit Mineraldünger auf bestimmte Sollwerte. Bei Dauerkulturen haben sich z.T. zwei Termine für die  $N_{\min}$ -Methode als vorteilhaft erwiesen (Austrieb, Blüte).

#### 4.1.4 Wirkung des Stickstoffs in organischen Düngern

Alle zur Vegetation angewendeten organischen Dünger (Festmist, Gülle, Jauche, Klärschlamm) sind bezüglich ihrer Wirkung wie folgt zu berücksichtigen:

der lösliche, meist in Ammoniumform vorliegende Stickstoff	zu 100 %
der restliche, organisch gebundene Stickstoff	zu 25 %

Das sind bei Rindergülle ca. 60 % und bei Schweinegülle ca. 70 % Ausnutzung des Gesamt-N-Gehaltes.

Die Nährstoffgehalte organischer Dünger tierischer Herkunft unterliegen starken Schwankungen. Wichtige Einflußgrößen sind u.a. TS-Gehalt, Futtergrundlage, Milchleistung sowie die Nutzungsrichtung (Bullenmast, Milchvieh).

Deshalb sollten als Grundlage für eine gezielte Düngung Gülleanalysen durchgeführt werden. Es wird empfohlen, 1 - 2 x jährlich die Gülle auf TS-Gehalt, Gesamt-N, Phosphat, Kali, Magnesium, bei Hähnchengülle auch Kalk, untersuchen zu lassen. Bei der Schweinegülle ist auch die gelegentliche Analyse von Kupfer vorteilhaft. Für die Bestimmung des Ammoniumstickstoffs haben sich Schnelltests wie z.B. „Quantofix“ gut bewährt, weil sie auf dem Betrieb einfach und schnell durchgeführt werden können. Für die Höhe der Einzelgabe ist der Ammoniumgehalt die wichtigste Größe. Liegen keine Analysenwerte vor, ist mit den Faustzahlen für die anrechenbaren N-Mengen in organischen Düngern zu rechnen (siehe Anhangstabelle 3)

#### 4.1.5 Wirkungsweise mineralischer N-Formen

Unterschiede in der Wirkungsgeschwindigkeit spielen eine wichtige Rolle. Dies sollte bei der Wahl des Düngers und des Anwendungstermins gezielt genutzt werden. Zahl und optimaler Anwendungstermin der Teilgaben sind abhängig von der gewählten Düngerform.

- Sofort wirksam sind N-Dünger mit hohem Nitratanteil (z.B. Kalksalpeter), die sich daher als Kopfdünger besonders eignen.
- Mäßig schnell wirken die Ammoniumdünger (z.B. SSA bzw. Ammonsulfat). Ammonium kann zwar sofort von den Wurzeln aufgenommen werden, ist im Boden aber wenig beweglich. Erst nach Umwandlung in Nitrat wird eine bessere Beweglichkeit erreicht.
- Schnell und mäßig schnell wirken Kombinationen der Nährstoffformen (z.B. Kalkammonsalpeter oder Ammonium-Nitrat-Harnstoff-Lösung).
- Langsamer wirkend sind die Amiddünger Harnstoff und Kalkstickstoff (Ausnahme: Harnstoff zur Blattdüngung wirkt sofort).
- Stabilisierte N-Dünger: Stabilisierte N-Dünger: Die Nitratbereitstellung aus ammonium- bzw. amidhaltigen Düngern kann durch den Zusatz von Nitrifikationshemmern verlangsamt und damit dem Bedarf der Pflanzen besser angepasst werden. Nach Düngemittelgesetz sind verschiedene Nitrifikationshemmer zugelassen. DCD (Dicyandiamid) + Triazol bzw. Triazol + 3 MP (3-Methylpyrazol) sind in den N-Düngern mit dem Handelsnamen ALZON bzw. dem N-Stabilisator für Gülle PIADIN enthalten. Alle mit DMPP (3,4-Dimethylpyrazolphosphat) stabilisierten Dünger sind auf dem Markt unter dem Handelsnamen ENTEC erhältlich.
- Sehr langsam und nachhaltig wirken neu entwickelte Handelsdünger. Stickstoff liegt in diesen Produkten in besonderer organischer Bindung vor oder wird durch Zusätze oder Hüllen „gebremst“ (Depotdünger, Langzeitdünger).

Bei den Nebenbestandteilen ist von Bedeutung, ob sie z.B. wie das Sulfat als Nährstoff positiv wirken. Neben diesen stofflichen Einflüssen sind die physikali-

schen Eigenschaften der Düngemittel für die Pflanzenverträglichkeit von Bedeutung. So kann eine Blattdüngung mit AHL mit niedriger Oberflächenspannung Verätzungsschäden verursachen.

Von den Nebenwirkungen interessiert (außer der herbiziden Wirkung des Kalkstickstoffs) vor allem der Einfluß auf die Bodenreaktion. Die scheinbare Vorliebe mancher Pflanzen für eine bestimmte N-Form (Nitrat für Zuckerrüben, Ammonium für Kartoffeln) ergibt sich vor allem aus dem unterschiedlichen Einfluß der N-Dünger auf die Bodenreaktion (vgl. Anhang Tabelle 4).

#### **4.1.6 Kalkstickstoff**

Beim Kalkstickstoff handelt es sich um eine besondere N-Form, die aufgrund ihrer speziellen Sonderwirkungen sehr gezielt eingesetzt wird.

Neben der stabilen N-Wirkung und dem hohen Kalkgehalt ist besonders der Effekt auf Schadpflanzen sowie auf verschiedene pilzliche und tierische Schaderreger interessant.

Durch den Einsatz von Kalkstickstoff läßt sich im Ackerbau die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in gewissem Umfang reduzieren. Im Grünland ist die Kalkstickstoffdüngung ein Beitrag zur Bestandsverbesserung und zur Parasitenbekämpfung. Im Gemüsebau füllt der Kalkstickstoff Lücken, die durch Pflanzenschutzmittel nicht (mehr) abgedeckt werden können.

Um die Sondereffekte des Kalkstickstoffs voll ausnutzen zu können, ist eine gezielte Anwendung wichtig.

## 4.2 Phosphat

### 4.2.1 Phosphat im Boden

Phosphor liegt im Boden in organischen und anorganischen Bindungsformen vor. Dabei nimmt der anorganisch gebundene Phosphor in unseren Mineralböden einen Anteil von 20 bis 80 % ein. Je nach Bindungsform und Löslichkeit trägt er in unterschiedlichem Maß zur Pflanzenernährung bei.

Vereinfacht dargestellt lassen sich drei unterschiedliche Phosphatfraktionen im Boden unterscheiden:

- in der Bodenlösung verfügbares Phosphat (direkt pflanzenverfügbar),
- labiles Phosphat (leicht gebundenes Phosphat, nach Lösung pflanzenverfügbar),
- stabiles Phosphat (fest gebundenes Phosphat, trägt in der Regel nicht zur Pflanzenernährung bei).

In der Bodenlösung befindet sich nur ein sehr geringer Anteil des im Boden vorhandenen Phosphats. Bei gut versorgten Böden sind dies in der Krume etwa 1 - 2 kg  $P_2O_5$  pro Hektar. Demgegenüber liegen 450 - 900 kg  $P_2O_5$  in der labilen und zwischen 3000 und 6000 kg  $P_2O_5$  pro Hektar in der stabilen Fraktion vor.

Wichtige Vertreter der stabilen Fraktion sind Calcium-, Eisen- und Aluminiumphosphate als anorganische und Phytate als organische Verbindungen. Über Eisen- und Aluminiumoxide austauschbar an feste Bodenteilchen gebundene Phosphate sind typische Vertreter der labilen Fraktion.

Zwischen den einzelnen Fraktionen bestehen dynamische Gleichgewichte. Die Erhöhung der Phosphatkonzentration der Bodenlösung, z.B. durch Düngung, hat zur Folge, daß gelöstes Phosphat rasch in gebundene Fraktionen überführt wird. Mit zunehmender Dauer steigt die Festigkeit der Verbindungen. Umgekehrt wird bei Absenkung des Gehalts der Bodenlösung durch Phosphataufnahme in die Pflanze aus der labilen Fraktion leicht gebundenes Phosphat nachgeliefert und somit die Bodenlösung wieder aufgefüllt. Eine ausreichend schnelle Nachliefe-

Die Freisetzung von gebundenem Phosphat in die Bodenlösung setzt einen ausreichenden Bodenvorrat an labilem Phosphat im Boden voraus.

Die schnelle Bindung von löslichem „Dünge-Phosphat“ an die feste Phase des Bodens ist die Ursache, daß die Auswaschungsgefährdung von Phosphat deutlich niedriger liegt als bei Stickstoff und auch Kalium. Auf normal versorgten Böden liegt die Auswaschung in der Regel nicht über 0,3 - 1 kg Phosphat pro Hektar und Jahr.

Die Bildung der unterschiedlichen Phosphatverbindungen im Boden und deren Verfügbarkeit wird u.a. in erheblichem Maß vom pH-Wert des Bodens beeinflusst. Am höchsten ist die Mobilität des Phosphats im schwach sauren bis neutralen Bereich, also bei pH-Werten zwischen 6 und 7. Oberhalb und unterhalb dieses Bereiches sinkt die Phosphatverfügbarkeit.

#### **4.2.2 Phosphat in der Pflanze**

Phosphor erfüllt verschiedene Aufgaben in der Pflanze:

- als Zellbaustein zur Aufrechterhaltung der Zellstruktur (z.B. Zellmembranen)
- als Baustein der DNS und RNS (Träger der Erbinformationen)
- als Bestandteil lebenswichtiger Fermente zur Steuerung von Zellfunktionen
- als Energieträger ist es an allen Stoffwechselfvorgängen wie Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißstoffwechsel beteiligt.

Aufgrund der elementaren Funktionen in der Pflanze trägt Phosphor dazu bei, die Krankheits- und Frostresistenz zu erhöhen.

Durch ein stärkeres Wurzelwachstum wird allgemein die Wasser- und Nährstoffversorgung verbessert. Die Bestockung des Getreides sowie das vegetative Wachstum der Pflanzen werden positiv beeinflusst. Eine direkte Ertragswirkung besteht, indem Blüten- und Samenbildung, Fruchtansatz und Kornzahl pro Ähre

erhöht werden. Daneben verbessert Phosphor die Qualität des Erntegutes wie Tausendkornmasse, Rohproteingehalt und auch die Backqualität.

### **4.2.3 Phosphaternährung und -düngung im Pflanzenbau**

Die eingangs beschriebene geringe Mobilität des Phosphats (Kap. 4.2.1.) hat zur Folge, daß nicht das gesamte Bodenvolumen, sondern nur der von den Pflanzen durchwurzelte Teil des Bodens zur Phosphaternährung der Pflanzen beiträgt. Phosphat im Boden, welches weiter als 3 - 5 Millimeter von den Wurzeln entfernt ist, kann in der Regel nicht mehr aufgenommen werden. Daher muß der Vorrat an pflanzenverfügbarem Phosphat im Boden viel höher sein als die tatsächlich von den Pflanzen aufgenommene Phosphatmenge. Weiterhin ist aus diesem Sachverhalt leicht abzuleiten, daß Kulturen mit einem weitverzweigten Wurzelsystem (Getreide) ein größeres Bodenvolumen erschließen und damit ein besseres Phosphataneignungsvermögen besitzen als Pflanzenarten mit einem nur gering ausgebildeten Wurzelsystem (Hackfrüchte, Mais).

Die Phosphatdüngung muß sich aus diesen Gründen an der Höhe des pflanzenverfügbaren Bodenvorrates und am Phosphataneignungsvermögen der angebauten Kulturart orientieren.

Die Phosphatverfügbarkeit im Boden wird durch die Bodenuntersuchung festgestellt. Als optimal zur Ausschöpfung des Ertragspotentials ist dabei die Gehaltsklasse C (Tabelle 8) anzusehen. Hier wird in der Regel eine Phosphatdüngung in Höhe der Erhaltungsdüngung empfohlen. Ernterückstände sind anzurechnen. In den Gehaltsklassen D und E sollte die Phosphatdüngung unterhalb der Erhaltungsdüngung liegen, bzw. in der Gehaltsklasse E wird keine Düngung empfohlen. Liegt die Phosphatversorgung des Bodens unterhalb der Gehaltsklasse C, sind Zuschläge bei der Düngung erforderlich, um möglichst rasch eine optimale Nährstoffversorgung des Bodens und damit einhergehend optimale Erträge zu erreichen.

*Tabelle 8: Gehaltsklassen und zugehörige Versorgungsstufen für Phosphat in Acker- und Grünland in Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland bei mittleren Boden- und Ertragsverhältnissen (CAL-Methode)*

Gehaltsklasse	**Hessen	**Rheinland-Pfalz/ Saarland
	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g Boden	
<b>A</b> (sehr niedrig)	0 – 5	bis 5
<b>B</b> (niedrig)	6 – 11	6 – 11
<b>C</b> (anzustreben)	12 – 20	12 – 20
<b>D</b> (hoch)	21 – 33	21 – 30
<b>E</b> (sehr hoch)	> 33	ab 31

\*Sehr hoch mit Phosphat versorgte Böden im Sinne der DVO sind in dieser Tabelle nicht erfaßt, sondern unter Kapitel „DVO“ zu finden

\*\*Zu- und Abschläge bei der Ermittlung der Versorgungsstufe C

**Hessen:** Angabe von hohem oder niedrigem Ertragsniveau führt zu Änderungen der Versorgungsstufe C und analog zu Neuberechnung der übrigen Versorgungsstufen.

**Rheinland-Pfalz/Saarland:** Zuschläge zu Versorgungsstufe C bei niedriger Durchwurzelbarkeit, <60cm (+1), hohem Steinanteil, >30% (+1) und Acker-/Grünlandzahl <40 (+2). Anschließend Neuberechnung von B und D. Unterer Wert von B = 50% des neuen unteren Wertes von C; oberer Wert D = 150% des oberen neuen Wertes von C. Enthält die eingeschickte Bodenprobe keine weiteren Angaben, so werden mittlere Standortverhältnisse unterstellt.

Dem geringeren Aneignungsvermögen von Rüben, Kartoffeln und Mais ist insofern Rechnung zu tragen, als die optimale Phosphatversorgung im oberen Bereich der Gehaltsklasse C liegen sollte. Reine Getreidefruchtfolgen erbringen ihre volle Ertragsleistung aufgrund des besseren Phosphataneignungsvermögens schon bei niedrigeren Bodengehalten. Die Phosphatdüngung sollte des weiteren an der Fruchtfolge ausgerichtet werden. Die bedürftigen Kulturen (Hackfrüchte, Mais) erhalten auch in der Gehaltsklasse C eine Phosphatdüngung oberhalb des Entzuges. Das nachfolgende Getreide wird entsprechend weniger mit Phosphat gedüngt, so daß die Phosphatbilanz über die Fruchtfolge betrachtet ausgeglichen ist.

Generell beeinflussen folgende Faktoren die Phosphatverfügbarkeit im Boden und die Phosphataufnahme in die Pflanze:

Zunahme von	Wirkung auf	Phosphaternährung
Bodenart (Feinanteil)	Phosphatverfügbarkeit	+
Wassergehalt	Phosphatverfügbarkeit	+
Bodendichte	Wurzelwachstum	-
Bodentemperatur	Phosphatverfügbarkeit	+
	Wurzelwachstum	+
	physiolog. Aktivität d. Pflanze	+
pH-Wert	Phosphatverfügbarkeit	+
	(optimal 6-7)	
Biologische Aktivität	Phosphatverfügbarkeit	+
	(Mineralisierung org. Phosphate)	
Düngung	Phosphatverfügbarkeit	+

#### 4.2.4 Wirkung der Phosphatdüngung auf die Qualität verschiedener Kulturen

##### Kartoffeln

Eine optimale Phosphatversorgung erhöht neben dem Knollenertrag auch den Stärkegehalt der Kartoffel. Daneben wird noch der Knollenansatz erhöht, die Keimfähigkeit bei Pflanzkartoffeln verbessert, und die Lagereigenschaften der Knollen werden positiv beeinflusst.

##### Zuckerrüben

Zuckerrüben reagieren besonders dankbar auf eine Phosphatdüngung. Dabei werden nicht nur der Rübenertrag, sondern auch der Zuckergehalt und die Zuckerausbeute verbessert.

##### Getreide

Eine ungenügende Phosphatdüngung führt bei allen Getreidearten zu einem Rückgang der Tausendkornmasse, des Hektolitergewichtes und zu einer verschlechterten Kornausbildung. Bei Weizen sinken Klebergehalt und Backvolu-

men, bei Braugerste verringern sich Extraktgehalt und Eiweißlösungsgrad. Zur Erzeugung von Qualitätsgetreide jeglicher Art ist daher eine optimale Phosphatversorgung unumgänglich.

## **Futtergräser und Gemüse**

Phosphat hat entscheidenden Einfluß auf die Vitaminbildung in der Pflanze. So werden besonders die Gehalte an Carotin, Vitamin D und Vitamin B 1 durch eine Phosphatdüngung erhöht.

### **4.2.5 Phosphatdüngemittel**

- **Vollaufgeschlossene Phosphate**

Beim Aufschluß der Rohphosphate kommt es darauf an, die Apatitstruktur des Ausgangsmaterials zu zerstören und das Phosphat in eine gut lösliche und pflanzenverfügbare Form zu überführen.

#### *1. Superphosphat, Triplephosphat*

Superphosphat entsteht durch Aufschluß von Rohphosphaten mit Schwefelsäure. Dabei bildet sich ein Gemisch aus Monocalciumphosphat und Gips.

Beim Aufschluß von Rohphosphat mit Phosphorsäure entsteht ein hochkonzentrierter Phosphatdünger, das Triplesuperphosphat. Die technische Herstellung erfolgt durch kontinuierliches Vermischen von feinstvermahlenem Rohphosphat mit den genannten Säuren. Beide Phosphatdünger sind mindestens zu 93 % wasserlöslich.

#### *2. Phosphatdünger aus der Stahlgewinnung*

Neben den genannten Rohphosphaten gibt es eine große Rohstoffgruppe, bei welcher der Anteil wertvoller Nebenbestandteile so groß ist, daß ein direkter Aufschluß und eine Verarbeitung zu reinen Phosphatdüngemitteln nicht in Frage kommt. Gemeint sind die phosphathaltigen Eisenerze. Nach Gewinnung des Roheisens im Hochofen wird in der Glut des Konverters mit Temperaturen von

1900 °C das im Roheisen enthaltene Phosphat voll aufgeschlossen und verbindet sich mit dem Kalk zu einer flüssigen Schlacke, die vor der Vermahlung im Schlackenlager abkühlt. Je nach Phosphatgehalt unterscheidet man zwischen Thomasphosphat ( $> 10 \% P_2O_5$ ) und Thomaskalk ( $< 10 \% P_2O_5$ ).

- **Teilaufgeschlossene Rohphosphate**

Phosphatdünger dieser Gruppe unterscheiden sich durch ihre unterschiedlichen Gehalte an mineralsäurelöslichem und wasserlöslichem Anteil und somit in den unmittelbar wirksamen Phosphatanteilen.

Aus Kostengründen wird mit einem verminderten Säureeinsatz gearbeitet. Dadurch entstehen Düngemittel, die nur einen bestimmten Anteil an voll aufgeschlossenem Phosphat enthalten.

- **Rohphosphate**

Unter bestimmten Voraussetzungen können Rohphosphate direkt als Düngephosphate angewendet werden. In Frage kommen diesbezüglich nur weicherdeige Rohphosphate und diese auch nur nach feinsten Vermahlung.

#### **4.2.6 Phosphat in organischen Düngern**

Die Rücklieferung über Wirtschaftsdünger ist in viehhaltenden Betrieben erheblich und muß bei der Düngplanung natürlich berücksichtigt werden. Allerdings schwanken die Gehalte je nach Besatzstärke, Tierart und Fütterung beachtlich. Auch ist davon auszugehen, daß durch Umstellungen in der Fütterung die  $P_2O_5$ -Gehalte besonders in der Schweinegülle und im Geflügelkot zurückgehen werden.

In der Rinder und Schweinegülle sind etwa 80 % des Phosphats, in der Hühnergülle 60 % anorganisch gebunden und für die Pflanzen leicht verfügbar; der Rest ist in relativ festen organischen Bindungen (Phytin) eingebaut.

## 4.3 Kali

### 4.3.1 Kali in der Pflanze

In der Pflanze übernimmt Kali wichtige Aufgaben:

- Steuerung des Wasserhaushaltes

Kali erhöht den Turgordruck in den Pflanzenzellen und sorgt für eine Regulierung der Spaltöffnungen → reduzierte Wasserverdunstung, keine Welketracht, günstiges Abreifeverhalten.

- Verbesserung der Frostresistenz

Eine hohe Kalium-Konzentration im Zellsaft der Pflanze erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Frost → verbesserte Winterhärte (Getreide), geringere Empfindlichkeit bei Spätfrösten (Hackfrüchte, Forstkulturen).

- Festigung der Zellwände

Kalium hilft der Pflanze, Kohlenhydrate und damit Stützgewebe zu produzieren, dadurch wird das „schwammige Gewebe“ reduziert → gute Standfestigkeit beim Getreide, verbesserte Schalenfestigkeit bei Kartoffeln.

- Erhöhung der Krankheitsresistenz

Gut mit Kali ernährte Pflanzen sind aufgrund hoher Stoffwechsel-Aktivität weniger anfällig für den Befall mit pilzlichen Krankheitserregern und Blattläusen → weniger Stengelfäule beim Mais, weniger Mehltau beim Getreide, weniger Viruskrankheiten.

- Verbesserung der Qualitätseigenschaften

Kalium hilft beim Einbau löslicher N-Verbindungen und niedermolekularer Kohlenhydrate, reichert somit die gewünschten Inhaltsstoffe in der Pflanze an → höherer Zuckergehalt in der Rübe, gehobene TKM beim Getreide, weniger Schwarzfleckigkeit bei Kartoffeln, verbesserte Lagerfähigkeit von Kartoffeln und Gemüse.

### 4.3.2 Kali im Boden

Der Kaligehalt im Boden ist abhängig von

- dem Tongehalt des Bodens, da Kalium fast ausschließlich an Tonteilchen gebunden ist. Daher brauchen schwere Böden höhere K-Gehalte (mg/100 g Boden) als z.B. Sandböden, um der Pflanze die gleiche Menge Kali anbieten zu können.
- dem natürlichen K-Gehalt der Tonmineralien, die jedoch diesen Nährstoff nur in geringen Mengen freigegeben.
- den Nährstoffverlusten in Form von Fixierung (Tonböden, z.B. Pseudogleye) oder Verlagerung (Sandböden).

Die Kaliverfügbarkeit im Boden für die Pflanzen wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Kationenaustauschkapazität und Grad der K-Sättigung
- Bodenstruktur und Bodenart
- Wasserhaushalt des Bodens
- K-Gehalt in der Bodenlösung
- Anteil kalifixierender Tonmineralien
- Gründigkeit des Bodens und Durchwurzelung durch die Pflanze
- Verdrängung durch Kationen wie z.B. Calcium, Magnesium und Ammonium

Nur bei guter Kaliversorgung des Bodens ist ein für die Pflanze ausreichender Gehalt in der Bodenlösung sichergestellt. Diese austauschbare Kalimenge wird durch die Bodenuntersuchung festgestellt und nach Versorgungsstufen (A bis E) bewertet. Der anzustrebende Bodenvorrat an Kalium richtet sich nach der Kulturart, die innerhalb der Fruchtfolge die höchsten Nährstoffansprüche hat, z.B. Zuckerrüben, Kartoffeln, Körnerraps, Feldgemüse und Mais.

Tabelle 9: Gehaltsklassen und zugehörige Versorgungsstufen für Kali in Acker- und Grünland in Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland (CAL-Methode)

Gehaltsklasse	**Hessen			**Rheinland-Pfalz/Saarland		
	mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden			mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden		
	BAG I	BAG II Grünland	BAG III	Mittlere Verhältnisse	<i>Beispiel **schwer</i>	<i>Beispiel **steinig, schwer</i>
<b>A</b> (sehr niedrig)	0-4	0-5	0-6	bis 5	<i>bis 6</i>	<i>bis 7</i>
<b>B</b> (niedrig)	5-10	6-11	7-14	6-11	<i>7-13</i>	<i>8-14</i>
<b>C</b> (anzustreben)	11-18	12-20	15-24	12-20	<i>14-25</i>	<i>15-26</i>
<b>D</b> (hoch)	19-28	21-33	25-38	21-30	<i>26-38</i>	<i>24-39</i>
<b>E</b> (sehr hoch)	> 28	> 33	> 38	ab 31	<i>ab 39</i>	<i>ab 40</i>

\*Sehr hoch mit Kali versorgte Böden im Sinne der DVO sind in dieser Tabelle nicht erfaßt, sondern unter Kapitel „DVO“ zu finden

\*\*Zu- und Abschläge bei der Ermittlung der Versorgungsstufe C:

**Hessen:** Angabe von hohem oder niedrigem Ertragsniveau führt zu Änderungen der Versorgungsstufe C und analog zu Neuberechnung der übrigen Versorgungsstufen.

**Rheinland-Pfalz/Saarland:** bei leichten Böden unterer Wert C = -2, oberer = -5. Schwere Böden analog +2 und +5. Bei niedriger Durchwurzelbarkeit, <60cm (+1), hohem Steinanteil, >30% (+1) und Acker- bzw. Grünlandzahl <40 (+2). Anschließend Neuberechnung von B und D. Unterer Wert von B = 50% des neuen unteren Wertes von C; oberer Wert D = 150% des oberen neuen Wertes von C.

Enthält die eingeschickte Bodenprobe keine weiteren Angaben, so werden mittlere Standortverhältnisse unterstellt.

### 4.3.3 Düngbedarf

Die Ermittlung des Kalibedarfes einer Kultur bzw. einer Fruchtfolge leitet sich aus dem Nährstoffbedarf und dem Korrekturfaktor Bodenuntersuchung ab. Zusätzlich sind Verluste aus Verlagerung und/oder Fixierung zu berücksichtigen. Die konkreten Bruttoentzüge der Kulturen sind im Anhang, Tabelle 1 aufgeführt.

Der Düngbedarf läßt sich genau durch langjährige regionale Feldversuche feststellen. Rechnerische Düngebilanzen können nur Anhaltspunkte liefern, da sie viele Faktoren der Kaliverfügbarkeit nicht genügend berücksichtigen.

Nach der Düngeverordnung ist ein betriebs- oder flächenbezogener Abgleich von Nährstoffzufuhr und –abfuhr vorgeschrieben. Das Ergebnis z.B. in Form einer

Hofter- oder Feld/Stall-Bilanz stellt eine Orientierungsgröße über Nährstoffflüsse im Betrieb dar. Bei der Interpretation von Nährstoffsalden müssen die Bodenversorgung und der Austrag von Kalium aus dem Boden berücksichtigt werden. Zusätzlich sollten beim Verbleib von Ernterückständen besonders auf leichten Böden die hohen Kali-Verluste, z.B. aus Maisstroh, kalkuliert werden.

#### 4.3.4 Düngeverfahren

Die Kalidüngung wird aufgrund guter Ertragswirkung und hoher Entzüge mit einer Betonung auf Blattfrüchte verabfolgt. Auf mittleren und schweren Böden ab etwa 30 Bodenpunkten oder 10 % Tongehalt ist eine Kali-Düngung im Herbst sinnvoll. So können die positiven Effekte in Form von bodenschonender Überfahrt, Deckung des Pflanzenbedarfes im Herbst und verbesserter Winterfestigkeit der Kulturen genutzt werden.

Für die praktische Düngung sind folgende Punkte zu beachten:

- Bei Kalimangel (z.B. durch Kalifixierung) sollte eine einmalige Kaligabe 400 kg  $K_2O$ /ha nicht überschreiten. Bei höherem Bedarf sollten die Mengen geteilt werden.
- Düngung bei Frost ist auf allen Acker- und Grünlandkulturen möglich.
- Kopfdüngung in den Bestand ist problemlos möglich, bei Mais maximal bis zum 4-Blatt-Stadium.
- Infolge des schlechten Nährstoffaneignungsvermögens ist bei Mais eine Kalidüngung vor der Aussaat effizient.
- Rapsdüngung mit Kali (Mg, S) im Keimblattstadium ist ein bewährtes Mittel, um Schneckenbefall zu mindern.
- Im ökologischen Anbau sowie auf Extensivflächen darf je nach Richtlinie der Verbände oder des MURL Kali nur in sulfatischer Bindung appliziert werden. Auf Grünland ist Magnesia-Kainit zugelassen.

- Kalidünger aus deutscher Produktion unterliegen regelmäßigen, freiwilligen Qualitätskontrollen des VDLUFA.

#### 4.3.5 Kaliformen

Kali liegt für die Landwirtschaft in zwei Düngerformen vor:

- Kaliumchlorid (KCl) für die meisten Ackerkulturen und Grünland
- Kaliumsulfat ( $K_2SO_4$ , chloridarm) für Sonderkulturen, Kartoffeln, Forstpflanzen, Gemüse- und Gartenbau

Durch den äußerst geringen Chloridgehalt von max. 3 % Cl und den niedrigen Salzindex eignen sich sulfatische Kalidüngemittel zur Versorgung chloridempfindlicher Kulturen. Bei einer Düngung direkt zur Saat bzw. im Keimstadium ist immer der Einsatz sulfatischer Düngemittel anzuraten. Die Pflanzen werden nach dem Grad ihrer Chloridempfindlichkeit bzw. –bevorzugung in verschiedene Gruppen eingeteilt.

##### ***chlorid-liebend:***

Zuckerrübe, Futterrübe, Sellerie, Mangold

##### ***chlorid-verträglich:***

Getreide, Mais, Raps, Spargel, Grobkohlarten, Rote Beete, Rhabarber, Grünland, Klee gras

##### ***bedingt chlorid-verträglich:***

Sonnenblume, Weinrebe, Kernobst, Schwarze Johannisbeere, Pflanz- und Speisekartoffel, Tomate, Radies, Kohlrabi, Feinkohlarten, Erbse, Spinat, Karotte, Lauch, Rettich, Chicorée

##### ***chlorid-empfindlich:***

Stärke- und Veredlungskartoffel, Tabak, Rote Johannisbeere, Stachelbeere, Himbeere, Erdbeere, Brombeere, Heidelbeere, Reben, Steinobst, Buschbohne, Dicke Bohne, Gurke, Melone, Paprika, Zwiebel, Salat, Frühgemüse, Koniferen, Blumen, Zierpflanzen und alle Unterglaskulturen

#### 4.4.1 Kalk

Unerläßliche Voraussetzung für gesunden, fruchtbaren Boden und wirtschaftlichen Anbau von Kulturpflanzen ist erwiesenermaßen der richtige Kalkzustand. Kalk trägt mit seinen vielseitigen chemischen, physikalischen und biologischen Wirkungen entscheidend zur natürlichen Bodenfruchtbarkeit bei und schafft ideale Wachstumsbedingungen.

Gute Gründe sprechen für eine ausreichende Kalkversorgung des Bodens, denn Kalk

- erhält die optimale Bodenreaktion: Festlegung toxischer Elemente wie Aluminium- und Schwermetallionen als Beitrag zum aktiven Boden- und Grundwasserschutz,
- stabilisiert die Bodenstruktur: Calcium-Ionen lagern sich an Ton- und Humusteilchen an, verbinden diese und bilden größere Krümel. Die Stabilität der Poren und der Verformungswiderstand des Bodens nehmen zu (Gare),
- sichert durch verbesserte Bodenstruktur gute Wasserführung und Durchlüftung,
- vermindert Verkrusten und Verschlämmung durch stabile Krümelstruktur,
- beugt Erosion vor,
- vertieft den Wurzelraum im Boden; bei Kalkmangel kommt es zur Ton – Schluff-Trennung und zu Verdichtungen im Unterboden,
- verstärkt die biologische Aktivität: nur in kalkreichen Böden finden nützliche Kleinlebewesen gute Lebensbedingungen zur Umsetzung von organischer Substanz und zum Aufbau von wertvollem Dauerhumus,
- hilft Düngungskosten sparen, da sich die Ausnutzung der anderen Pflanzennährstoffe verbessert. Das pflanzenverfügbare Phosphat nimmt zu, die Stickstofffreisetzung aus organischer Düngung steigt und das Pflanzenwachstum wird verbessert (siehe Abb. 1).

#### 4.4.1 Düngebedarf

Die Notwendigkeit einer regelmäßigen Kalkung ergibt sich aus dem zwangsweise auftretenden Kalkverbrauch:

Jährlich verlieren die Böden durch **Pflanzenentzug, Auswaschung und Säureneutralisation** (vornehmliche Säurequellen: atmosphärischer Säureeintrag, organische Säuren, physiologisch sauer wirkende Düngemittel, Wurzel- und Mikrogenatmung) durchschnittlich ca. 500 kg CaO / ha auf Ackerflächen und ca. 250 - 300 kg CaO / ha auf Grünland.

Dieser Kalkverbrauch findet auf allen Standorten statt, wobei es auf leichten Böden zu einer raschen pH-Wert - Absenkung kommt, während bei schweren Böden zunächst die Kalkreserven verbraucht werden - bereits zu Lasten der Bodenstruktur - bevor der pH-Wert absinkt. Bei Einsatz von Gülle führt zusätzlich die Nitrifikation von Ammonium - N zu Nitrat - N zu einer Kalkzehrung. Gleiches gilt im übrigen auch beim Einsatz kalkzehrender, d.h. physiologisch sauer wirkender Düngemittel.

#### 4.4.2 Düngungsempfehlungen

Grundsätzlich sollte sich die Kalkdüngung wie alle anderen Düngungsmaßnahmen an den Ergebnissen der Bodenuntersuchungen orientieren. Je nach Bodenart und Flächennutzung unterscheiden sich die optimalen pH-Werte. Die Höhe der erforderlichen Kalkmenge wird in dt CaO/ha angegeben. Für die regelmäßige Erhaltungskalkung des Ackerlandes gilt je nach Bodenart, Humusgehalt und Jahresniederschlag eine Ausbringmenge von 5 – 20 dt CaO/ha alle 3 Jahre (siehe Tabelle 12). Sind zur Erreichung des anzustrebenden pH-Wertes sehr hohe Kalkgaben erforderlich, sollten zur Vermeidung von unerwünschten Reaktionsstößen die in Tabelle 11 aufgeführten maximalen Kalkgaben pro Jahr in Abhängigkeit von Bodenart und Humusgehalt nicht überschritten werden.

**Tabelle 11: Aufkalkung der Bodenarten**  
**Definition der pH-Klassen sowie Kalkdüngungsempfehlungen**  
**(nach VDLUFA-Standpunkt)**

pH-Klasse / Kalkversorgung	Beschreibung von Zustand und Ziel	Dün- gebe- darf
<p style="text-align: center;"><b>A</b></p> <p style="text-align: center;"><b>sehr niedrig</b></p>	<p><b>Zustand:</b>  Erhebliche Beeinträchtigung von Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, sehr hoher Kalkbedarf, signifikante Ertragsverluste bei fast allen Kulturen bis hin zum gänzlichen Ertragsausfall, stark erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden</p> <p><b>Maßnahme:</b>  Erreichung der anzustrebenden, optimalen Bodenreaktion; Kalkung hat Vorrang vor anderen Düngungsmaßnahmen</p>	<p style="text-align: center;"><b>Gesundungs- kalkung</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>B</b></p> <p style="text-align: center;"><b>niedrig</b></p>	<p><b>Zustand:</b>  <i>Noch keine optimalen Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, hoher Kalkbedarf, meist noch signifikante Ertragsverluste bei kalkanspruchsvollen Kulturen, erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden.</i></p> <p><b>Maßnahme:</b>  <i>Erreichung der anzustrebenden, optimalen Bodenreaktion; Kalkung erfolgt innerhalb der Fruchtfolge bevorzugt zu kalkanspruchsvollen Kulturen.</i></p>	<p style="text-align: center;"><b>Aufkalkung</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>C</b></p> <p style="text-align: center;"><b>anzu- streben optimal</b></p>	<p><b>Zustand:</b>  <i>Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit gegeben, geringer Kalkbedarf, kaum bzw. keine Mehrerträge durch Kalkdüngung.</i></p> <p><b>Maßnahme:</b>  <i>Erhaltung des Kalkversorgungszustandes durch entsprechende Kalkzufuhr innerhalb der Fruchtfolge zu kalkanspruchsvollen Kulturen.</i></p>	<p style="text-align: center;"><b>Erhaltungs- kalkung</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>D</b></p> <p style="text-align: center;"><b>hoch</b></p>	<p><b>Zustand:</b>  <i>Kalkversorgung ist höher als anzustreben, kein Kalkbedarf</i></p> <p><b>Maßnahme:</b>  <i>Durch Unterlassung der Kalkdüngung wird eine allmähliche Erniedrigung der Bodenreaktion bewirkt.</i></p>	<p style="text-align: center;"><b>keine Kalkung</b></p>

<p style="text-align: center;"><b>E</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Sehr hoch</b></p>	<p><b>Zustand:</b>  <i>Die Bodenreaktion ist wesentlich höher als angestrebt und kann die Nährstoffverfügbarkeit negativ beeinflussen.</i></p> <p><b>Maßnahme:</b>  <i>Unterlassung jeglicher Kalkzufuhr, Einsatz von Düngemitteln, die in Folge physiologischer bzw. chemischer Reaktion im Boden sauer wirken.</i></p>	<p><b>keine Kalkung:</b>  Anwendung physiologisch bzw. chemisch sauer wirkender Düngemittel</p>
---	--	---

**Tabelle 12:** Anzustrebende pH-Werte und Kalkgaben auf Acker- und Grünland (nach: Sachgerechte Düngung für Acker- und Grünland, Rheinland-Pfalz; LK Rheinland))

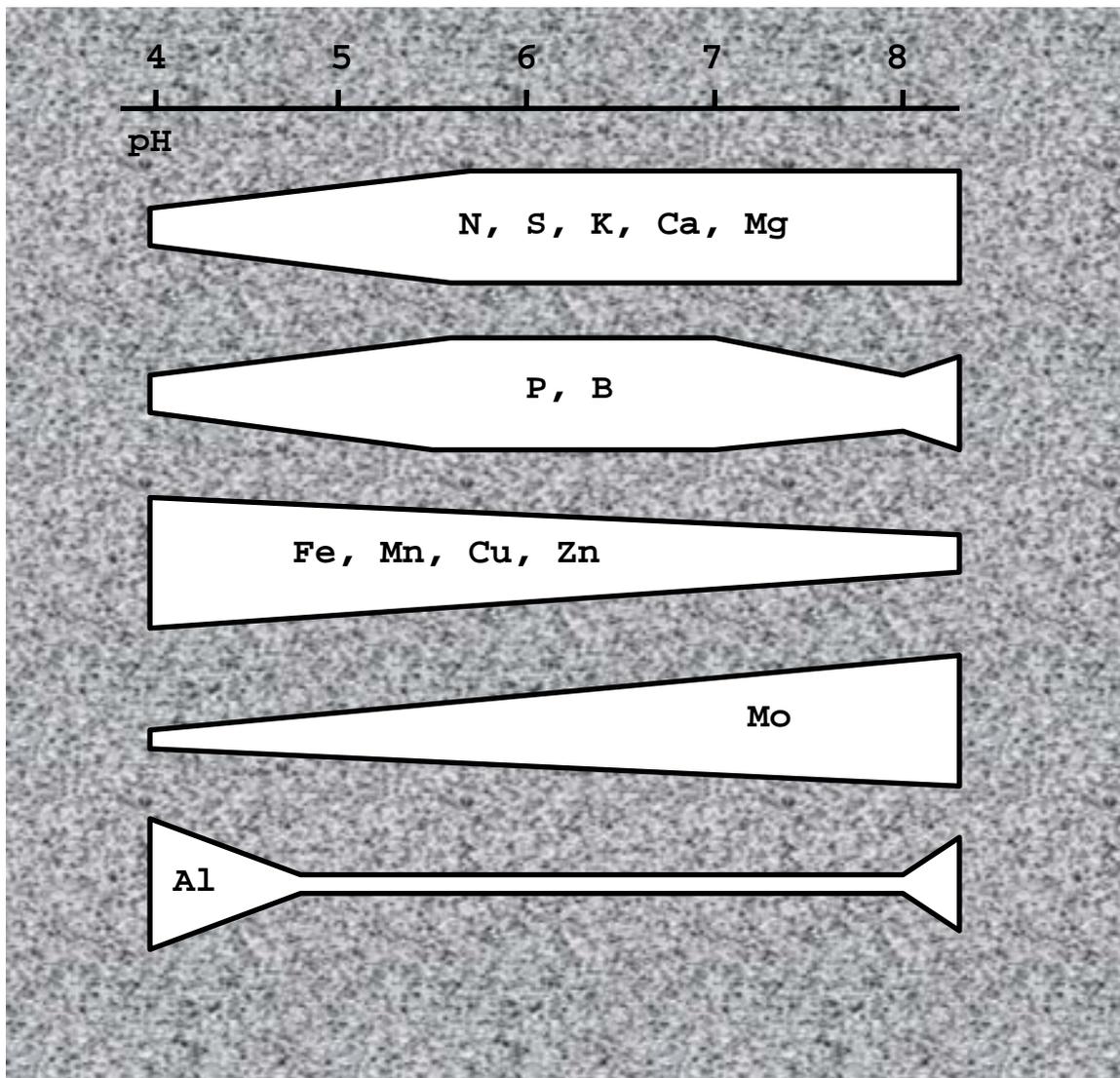
Bodenart	Anzustrebender pH-Wert (Aufkalkungsziel)				Maximale Kalkgabe pro Jahr dt CaO/ha	Erhaltungskalkung für 3 - 5 Jahre dt CaO/ha	Zur Anhebung um ca. 0,5 pH-Einheit dt CaO/ha
	Humusgehalt in %						
	bis 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30			
<b>Ackerland</b>							
Sand	5,5	5,5	5,0	4,5	10	5 - 10	10
schwach lehm. Sand	6,0	5,5	5,0	4,5	15	10 - 15	15
stark lehmiger Sand	6,5	6,0	5,5	5,0	20	15 - 20	20
sandiger Lehm	7,0	6,5	6,0	5,5	30	15 - 20	20
toniger Lehm - Ton	7,0	7,0	6,0	5,5	40	15 - 20	30
<b>Grünland</b>							
Sand	5,0		4,5	4,5	10	5 - 10	5
schwach lehm. Sand	5,5		5,0	4,5	15	6 - 15	10
stark lehm. Sand - Ton	6,0		5,5	5,0	20	7 - 20	10

In der Regel liegen die Humusgehalte im unteren Bereich.

### 4.4.3 pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit

Der pH-Wert drückt den Säuregehalt des Bodens aus. Fällt der pH-Wert um eine pH-Stufe, so steigt die Säurekonzentration auf das Zehnfache; fällt der pH-Wert um zwei Stufen, so steigt sie um das Hundertfache an. Zwischen Bodenreaktion (pH-Wert) und Nährstoffverfügbarkeit besteht ein enger Zusammenhang (siehe Abbildung 1)

Abbildung 1: Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert  
n. Finck, 1976



#### 4.4.4 Kalkformen und -wirkung

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Kalkdünger ist ihre unterschiedliche Wirkungsgeschwindigkeit:

**CaO, Calciumoxid** bzw. **CaO / MgO, Calciumoxid / Magnesiumoxid** (Branntkalk und Magnesiumbranntkalk sowie Mischkalk und Magnesiummischkalk) reagieren mit Wasser zu Lauge und führen zu einem raschen pH-Wert-Anstieg.

**CaCO<sub>3</sub>, Calciumcarbonat** bzw. **CaCO<sub>3</sub> / MgCO<sub>3</sub>, Calciumcarbonat / Magnesiumcarbonat** (Kohlensaurer Kalk, Kohlensaurer Magnesiumkalk) lösen sich im säurehaltigen Bodenwasser. Bei der Berechnung der notwendigen Aufwandmengen ist zu beachten, daß MgO bzw. MgCO<sub>3</sub> eine mindestens ebenso gute basische Wirksamkeit wie CaO bzw. CaCO<sub>3</sub> aufweisen.

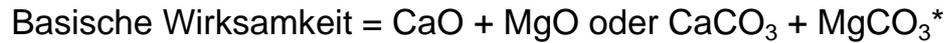
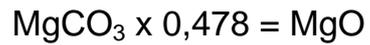
**Ca- + Mg-Silikate** (kieselsaure Kalke, z.B. Hütten- oder Konverterkalk) wirken bei niedrigen pH-Werten rasch. Mit steigenden pH-Werten wird die Umsetzung langsamer und nachhaltig. Die Gehalte (basische Wirksamkeiten) werden in CaO bzw. MgO angegeben.

Bezüglich der Wirkungsgeschwindigkeit gilt, daß Branntkalk schneller wirkt als kohlen-saure und kieselsaure Kalke.

Grundsätzlich gilt daneben für die oben aufgeführten Kalke, daß die Wirkung um so rascher ist, je feiner die Produkte vermahlen sind.

Für schwere Böden sind Branntkalk, Magnesiumbranntkalk oder Mischkalk am besten geeignet, für leichte und mittlere Böden eher kohlen-saurer Kalk, kohlen-saurer Magnesiumkalk oder kieselsaurer Kalk.

Zum Preisvergleich der angebotenen Kalksorten sollten die Preise auf die gleiche Basis (entweder Reinnährstoffe CaO und MgO oder CaCO<sub>3</sub> und MgCO<sub>3</sub>) umgerechnet werden anhand folgender Umrechnungsfaktoren:



\*Hierbei ist nicht berücksichtigt, daß die tatsächliche basische Wirksamkeit von Magnesiumcarbonat und Magnesiumoxid aufgrund des Molekulargewichtes höher ist als von Calciumcarbonat und Calciumoxid. Außerdem stellt Magnesium einen weiteren Hauptnährstoff dar und wird über magnesiumhaltige Düngekalke sehr preisgünstig angeboten.

Neben den oben genannten Kalkdüngern werden kohlensaure Magnesiumkalke mit Phosphat und/oder Kali sowie Thomaskalk (Konverterkalk mit Phosphat) angeboten, die eine arbeitssparende Grunddüngung im Zuge der Kalkung ermöglichen.

#### 4.4.5 Kalkausbringung

Kalk kann zeitlich flexibel das ganze Jahr über ausgebracht werden. Auf Grünland ist eine Kalkung bei Befahrbarkeit des Bodens immer möglich. Die Stoppelkalkung stellt auf Getreideflächen eine arbeitswirtschaftlich interessante und bodenschonende Variante dar, während sich bei Rüben und Mais eine Herbst- bzw. Winterkalkung anbietet. Eine Kopfkalkung mit rasch wirkenden Kalken ermöglicht es, oberflächennah auftretende pH-Wert-Absenkungen aufzufangen und den Pflanzen insbesondere in der Jugendentwicklung gute Wachstumsbedingungen zu bieten. Auch in Sonderkulturen (Baumschulen, Gemüsebau etc.) ist eine bedarfsgerechte Kalkversorgung wichtig und kann betriebsspezifisch durchgeführt werden.

Die Ausbringung von Düngekalken erfolgt heutzutage überwiegend durch Lohnunternehmen mit leistungsfähigen Großflächenstreuern. Dabei ist die Art der Ausbringung von den angebotenen Düngekalken abhängig:

Trockene Kalke werden per Silo-LKW angeliefert und mit Großflächenstreuern

per Schucke ausgebracht. Als Vorteil ist hier die gute Verteilgenauigkeit anzumerken.

Erdfeuchte Kalke werden per Kipper-LKW am Feldrand abgekippt und mittels Großflächenstreuer per Streuscheiben verteilt. Hier liegen die Vorteile insbesondere in der hohen Ausbringleistung und dem damit günstigen Streulohn sowie im einfachen Handling und der günstigen Logistik.

Für die Ausbringung mit dem eigenen Düngerstreuer (Restflächen, Sonderkulturen, schwer befahrbare Hanglagen, Kopfkalkung in stehenden Kulturen, Vorsaatkalkung auf fertig bestellten Flächen) stehen verschiedene körnige bzw. granulierten Kalke zur Verfügung (Brantkalk körnig, Granulate aus kohlenstoffsaurem Kalk etc.) die eine gute Streuleistung ermöglichen.

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß eine bedarfsgerechte Kalkversorgung wegen ihrer günstigen Wirkung auf Bodenstruktur, Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachstum eine der sinnvollsten Düngungsmaßnahmen darstellt. Besonders im Hinblick auf die Verfügbarkeit der übrigen Nährstoffe, deren Aufwandmengen in der Düngeverordnung eingeschränkt werden, ist die Erhaltung bzw. Einstellung des optimalen pH-Wertes wichtiger denn je. Angesichts der vielfältigen Vorteile einer Kalkung ist es mit Sicherheit nicht wirtschaftlich sinnvoll, gerade bei diesem preiswerten Düngemittel Einsparungen vorzunehmen. Die regelmäßige Kalkung ist für Ertragssicherheit und Qualitätsproduktion unverzichtbar.

## Tabellenwerk im Anhang/ laufende Nr 9 / Kalkdüngemittel

Tabelle 9: Zusammensetzung wichtiger Kalke:

Produkt	Kalkform	Kalkgehalt (CaO)	weitere Nährstoffe/ Nebenbestandteile
Branntkalk	CaO	65 - 90	z.T. MgO
Magnesiumbranntkalk	CaO/MgO	85	15 - 35 % MgO
Mischkalk	CaO/CaCO <sub>3</sub>	55 – 70	z.T. MgO
Magnesiummischkalk	CaO /MgO Ca/MgCO <sub>3</sub>	55 – 70	15 – 30 % MgO
Kohlensaurer Kalk	CaCO <sub>3</sub>	47 -53	z.T. MgCO <sub>3</sub>
Kohlensaurer Magnesiumkalk	CaCO <sub>3</sub> /MgCO <sub>3</sub>	45 - 50	15 - 40 % MgCO <sub>3</sub>
Kohlens. Magnesiumkalk mit Phosphat und/oder Kali	CaCO <sub>3</sub> /MgCO <sub>3</sub>	30 - 44	MgCO <sub>3</sub> > 3 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , > 3 % K <sub>2</sub> O
Hüttenkalk	Ca- + Mg-Silikate	47	7 - 10 % MgO, ca. 32 % lösl. Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> ), Spurennährstoffe
Konverterkalk feucht-körnig	Ca- + Mg-Silikate	43	2 – 3 % MgO, 12 % lösl. Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> ), Spurennährstoffe
Konverterkalk	Ca- + Mg-Silikate	50	MgO, ca. 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Thomaskalk <sup>®</sup> 4	Ca- + Mg-Silikate	45	4 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , MgO, 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Thomaskalk <sup>®</sup> 8	Ca- + Mg-Silikate	46	8 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 2 - 3 % MgO, 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Kalkdünger aus <sup>1</sup> . . .	CaCO <sub>3</sub> CaO Ca(OH) <sub>2</sub>	> 30	z. T. MgO, Spurennährstoffe

<sup>1</sup> = nach der neuen Düngemittelverordnung vom 04.12.2003 die gültige Nomenklatur der nach alter Terminologie bezeichneten Rückstandkalke

## 4.5 Magnesium

### 4.5.1 Magnesium in Boden und Pflanze

Der Magnesiumgehalt des Bodens ist abhängig vom Ausgangsgestein. Sandböden sind besonders arm an Magnesium, während Böden aus Dolomit und Basalt oder alte, tonreiche Marschböden viel Magnesium enthalten. Magnesium ist ähnlich wie Calcium im Boden leicht beweglich, so daß auf leichten Böden beachtliche Verluste an Magnesium durch Verlagerung und Auswaschung eintreten können.

Magnesium hat als zentraler Baustein des Chlorophylls zentrale Aufgaben im Stoffwechsel der Pflanze zu erfüllen, besonders bei der Eiweiß-, Kohlenhydrat- und Vitaminbildung.

### 4.5.2 Magnesiumbedarf

Die Düngung sollte an dem spezifischen Bedarf der angebauten Frucht ausgerichtet werden. Bei einer Erhaltungsdüngung sind weiterhin die Standortbedingungen sowie die aktuelle Bodenversorgung zu berücksichtigen.

Magnesium steht bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen in Konkurrenz mit Calcium, Kalium und Ammonium. Daher muß der Magnesiumdüngung besondere Beachtung geschenkt werden

- auf Böden unter pH 5,0 (Aluminium-Magnesium-Konkurrenz)
- auf Böden über pH 7,0 (Calcium-Magnesium-Konkurrenz)
- nach Aufkalkungsmaßnahmen mit Mg-armen Kalken (z.B. Carbokalk)
- bei sehr hohen Kaligehalten im Boden (Kalium-Magnesium-Konkurrenz)
- bei ammoniumbetonter N-Düngung (Gülle, AHL, Harnstoff)
- nach hohen Niederschlägen(Auswaschung)

- bei niedrigen Mg-Bodenwerten
- bei hohem Blattfruchtanteil, intensiver Grünlandnutzung und hohem Ertragsniveau (hoher Mg-Bedarf)

### 4.5.3 Magnesiumformen

In der Düngung sind vier Mg-Formen zu unterscheiden:

- Magnesiumcarbonat ( $MgCO_3$ ) in kohlensaurem Kalk und in verschiedenen PK- und NPK-Düngern
- Magnesiumoxid ( $MgO$ ) im Magnesium-Branntkalk
- Magnesiumsilikat in Düngemitteln, die aus Hochofenschlacke gewonnen werden (z.B. Hüttenkalk)
- Magnesiumsulfat ( $MgSO_4$ ) in Kalisulfat, Patentkali, Kieserit und Bittersalz

Während Magnesium, das in Carbonat-, Oxid- und Silikatform vorliegt, den Pflanzen erst zugänglich ist, wenn es in austauschbarer, pflanzenaufnehmbarer Form vorliegt, ist Magnesiumsulfat wasserlöslich und für die Pflanzen sehr schnell verfügbar. Für alle Mg-haltigen Kalke gilt, daß die Mg-Wirkung langsam und nachhaltig ist und mit abnehmender Mahlfeinheit zurückgeht.

Bei der Anwendung von magnesiumhaltigen Düngemitteln ist zu beachten:

- Magnesiumsulfat bleibt ohne Einfluß auf die Bodenreaktion, während Mg-haltige Kalke die Bodenreaktion zur alkalischen Seite verschieben.
- Magnesiumsulfat wirkt im Gegensatz zu den Magnesiumformen in den Kalken unabhängig vom pH-Wert und Ausbringungszeitpunkt.

### 4.5.4 Empfehlungen zur Magnesiumdüngung

- Auf kalk- und magnesiumbedürftigen Böden sind Mg-haltige Kalke einzusetzen

zen, zumal das Magnesium in diesen Düngemitteln preiswert ist und keinen Mehraufwand erfordert. Für die Ausbringung sind die Monate nach der Getreideernte am besten geeignet.

- Auf Böden ohne Kalkbedarf sollte die erforderliche Magnesiumzufuhr in Form von Magnesiumsulfat erfolgen. Auch auf Böden mit freiem Kalk, in denen sich Magnesiumcarbonat und -oxid nur sehr langsam umsetzen, bietet sich die sulfatische Düngung an. Auf auswaschungsgefährdeten Böden empfiehlt sich die Frühjahrsdüngung.
- Falls auf schwach sauren Böden mit Rücksicht auf die Fruchtfolge die Erhaltung der schwach sauren Bodenreaktion erwünscht ist (z.B. in Kartoffel-Getreidefruchtfolgen) ist Magnesiumsulfat einzusetzen.
- Zur Verstärkung und Beschleunigung der Anfangswirkung sowie als Risikoausgleich bei ungünstiger Witterung und in Spitzenbedarfszeiten kann auf sauren und schwach sauren Böden die Kombination von Mg-Kalken und Mg-haltigen Düngern sinnvoll sein.
- Um dem hohen Mg-Bedarf des Maises Rechnung zu tragen und sein geringes Nährstoffaneignungsvermögen zu berücksichtigen, gibt es auf Mangelstandorten die Möglichkeit, die Unterfußdüngung durch Kieserit „gran“ zu ergänzen.
- Magnesiumdünger in sulfatischer Form enthalten in beachtlichen Mengen den Pflanzennährstoff Schwefel als willkommenen Partner.
- Die Höhe der Magnesiumdüngung richtet sich nach der Mg-Bilanz der Fruchtfolge. Dabei sollte man besonders dem hohen Mg-Bedarf der Hackfrüchte Aufmerksamkeit schenken.
- Akuter oder latenter Mg-Mangel kann über die Mg-Blattdüngung (z.B. 5 %ige Bittersalzlösung) schnell behoben werden. Da die ausgebrachten Mg-Mengen sehr gering sind, sollte in den Folgejahren mit der Mg-Bodendüngung der Bedarf gesichert werden.

Tabelle 11: Gehaltsklassen und zugehörige Versorgungsstufen für Magnesium in Acker- und Grünland in Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland (CaCl<sub>2</sub>-Methode)

Gehaltsklasse	**Hessen			***Rheinland-Pfalz/Saarland		
	mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden			mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden		
	BAG I	BAG II Grünland	BAG III	Mittlere Verhältnisse	<i>Beispiel ***schwer</i>	<i>Beispiel ***steinig, schwer</i>
<b>A</b> (sehr niedrig)	0 - 1	0 - 1	0 - 2	bis 2	< 4	< 5
<b>B</b> (niedrig)	2 - 3	2 - 4	3 - 6	3 - 5	4 - 7	5 - 8
<b>C</b> (anzustreben)	4 - 5	5 - 8	7 - 12	6 - 10	8 - 14	9- 15
<b>D</b> (hoch)	6 - 8	9 - 13	13 - 20	11 - 15	15 - 21	16 - 23
<b>E</b> (sehr hoch)	> 8	> 13	> 20	ab 16	ab 22	ab 24

\*Sehr hoch mit Kali versorgte Böden im Sinne der DVO sind in dieser Tabelle nicht erfaßt, sondern unter Kapitel „DVO“ zu finden

**\*\*Hessen:** Zu- und Abschläge in Abhängigkeit vom Standortertragsniveau

**\*\*\*Rheinland-Pfalz/Saarland:** Zu- und Abschläge bei der Ermittlung der Versorgungsstufe C bei Abweichung von mittleren Standortbedingungen:  
bei leichten Böden unterer Wert C = -2, oberer = -4; Schwere Böden analog +2 und +4.  
Bei niedriger Durchwurzelbarkeit, <60cm (+1), hohem Steinanteil, >30% (+1) und Acker- bzw. Grünlandzahl <40 (+1).

Anschließend Neuberechnung von B und D.

Unterer Wert von B = 50% des neuen unteren Wertes von C; oberer Wert D = 150% des oberen neuen Wertes von C.

Enthält die eingeschickte Bodenprobe keine weiteren Angaben, so werden mittlere Standortverhältnisse unterstellt.

## 4.6 Schwefel

Schwefel als sechster Hauptnährstoff ist durch die Entschwefelung der Kraftwerke und schwefelärmeres Heizöl sowie Dieselmotorkraftstoff in den letzten Jahren ins Minimum geraten. Der S-Eintrag aus der Luft beträgt in NRW nur noch etwa 10 kg/ha und Jahr.

### 4.6.1 Schwefel im Boden

Schwefel ist im Boden hauptsächlich in der organischen Substanz gebunden (bis zu 90 % des gesamten Gehaltes). Der Rest liegt in der mineralischen Bodensubstanz überwiegend in kristalliner Form vor.

Böden, die sich auf vulkanischem Gestein (z.B.: Basalt) oder schwefelreichen Sedimenten (Gips) entwickelt haben, besitzen von Haus aus einen höheren Schwefelgehalt als solche, deren Ursprung Sandstein oder glaziale Sandablagerungen sind.

Schwefel, der in der mineralischen Bodensubstanz eingebunden ist, hat für die Pflanzenernährung fast keine Bedeutung, denn die Pflanzen nehmen den Schwefel über die Wurzel nur in gelöster Form als Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) auf.

Pro Jahr werden 10 bis 20 kg/ha S des Boden-Schwefels mineralisiert. Die gleiche Menge wird wieder in die organische Substanz des Bodens eingebaut.

Das pflanzenverfügbare Sulfat verhält sich im Boden ähnlich wie Nitratstickstoff. Es wird nicht an Tonminerale gebunden und kann daher in Zeiten geringer Durchwurzelung oder bei fehlendem Pflanzenbewuchs durch Niederschläge in tiefere Bodenschichten verlagert werden.

Daher tritt Schwefelmangel besonders auf leichten, humusarmen und auswaschungsgefährdeten Böden auf. Gleichzeitig bedeutet dies, daß eine Vorratsdüngung mit Schwefel nicht möglich ist, sondern die Schwefelzufuhr zeitlich an die Aufnahme durch die Pflanzen angepaßt werden muß.

Bei der Schwefelaufnahme bevorzugen die Pflanzen die Sulfatform ( $\text{SO}_4$ ). Andere Schwefelformen wie  $\text{SO}_2$  aus der Luft oder Netzschwefel müssen erst in die Sulfatform überführt werden.

#### 4.6.2 Schwefel in der Pflanze

Schwefel wird von den Pflanzen etwa in gleichen Mengen wie Magnesium aufgenommen. Er zählt daher zu den Hauptnährstoffen (Anhang, Tabelle 1).

90 % des Schwefels sind an die Eiweißbausteine gebunden. S-Mangel bedeutet gleichzeitig Störung des N-Stoffwechsels. Ebenso werden bei S-Mangel der Chlorophyllaufbau und die Steuerung wichtiger Stoffwechsellzyme behindert:

- In der Pflanze sind die aufgenommenen Sulfationen zum Teil im Zellsaft, überwiegend aber in eingebauter Form vorhanden.
- Zusammen mit Stickstoff dient Schwefel als essentieller Baustein beim Aufbau der Aminosäuren und damit von Eiweiß.
- Schwefel ist am Aufbau von Kohlenhydraten beteiligt, beeinflusst damit die Synthese von Stärke, Zucker und Geschmacksstoffen.
- Schwefel ist bei der Bildung von wichtigen Vitaminen unersetzlich (Biotin, Thiamin, Vitamin B).
- Bei Kreuzblütlern (Raps, Senf) und Liliengewächsen (Zwiebeln, Lauch, Knoblauch) wird Schwefel zur Bildung sekundärer Inhaltsstoffe, wie z.B. Senföl, Lauchöl benötigt.
- Schwefel ist am Aufbau wachstumsfördernder Enzyme beteiligt.

Mit diesen wichtigen Funktionen trägt Schwefel maßgeblich zur Sicherung der Erträge und der Qualität des Ernteguts bei.

Tabelle 12: S-Versorgung und Pflanzenqualität  
(Wirkung der S-Düngung in Mangelsituationen)

Auswirkungen auf:	in Form von:
<p><b>1. N-Stoffwechsel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eiweißqualität allgemein</li> <li>• Backqualität (z.B. Weizen)</li> <li>• Brauqualität (z.B. Gerste)</li> <li>• Futter(Nahrungs)-qualität</li> <li>• Leguminosen</li> <li>• Futterqualität (z.B. Cruciferen)</li> </ul>	<p>biol. Wertigkeit (S-Aminosäuren)</p> <p>Proteingehalt, Kleberqualität</p> <p>Enzymgehalt, Enzymaktivität</p> <p>verbesserte N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung,</p> <p>Proteineintrag, biol. Wertigkeit</p> <p>Verminderung des NO<sub>3</sub>-Gehaltes</p>
<p><b>2. sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemüse, Gewürzpflanzen</li> <li>• Ölrapen</li> </ul>	<p>höherer Gehalt an Senfölen (Geschmack!)</p> <p>Qualitätsabfall durch Anstieg der Glucosinulatgehalte</p> <p>bei 00-Typen weniger wahrscheinlich</p>

Bei durchschnittlichen Erträgen unterschiedlicher Kulturen werden mit jeweils 10 kg N auch 1 bis 4 kg S vom Feld abgefahren. In der Regel rechnet man in der Biomasse mit einem anzustrebenden N : S - Verhältnis von durchschnittlich 10 : 1. S-Mangel wird häufig als N-Mangel fehlinterpretiert. Eine zusätzliche N-Gabe verstärkt in diesem Fall den S-Mangel.

Mit der Wurzel aufgenommener Schwefel wird in der Pflanze vorwiegend in jüngere Pflanzenteile transportiert und dort fest eingebaut. Es erfolgt später kaum eine Umverlagerung in der Pflanze, wie dies mit anderen Nährstoffen in gewissen Grenzen möglich ist. Es ist also dafür zu sorgen, daß den Kulturen während

der gesamten Bedarfsperiode ausreichende Schwefelmengen zur Verfügung stehen.

Die Schwefel-Aufnahme verläuft zeitlich ähnlich der Stickstoff-Aufnahme. Die Schwefeldüngung sollte daher frühzeitig zur jeweiligen Kultur erfolgen. Damit wird latenter Schwefelmangel bzw. eine Unterversorgung zu einer Zeit vermieden, in welcher die Mineralisierung im kalten Boden unzureichend ist. Gleichzeitig wird die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs gesichert.

### 4.6.3 Schwefelformen

Für die Düngung sind folgende Schwefelformen relevant:

- Ammoniumsulfate ASS, SSA, Ureas, Piamon 33 S, Piasan 24 S, (mit und ohne Nitrat) Entec 26, Alzon fl. S
- Kaliumsulfate Kaliumsulfat „gran.“, Patentkali
- Magnesiumsulfate Kieserit, Epso Top, Optimag
- Calciumsulfate N-plus, Hydro-Sulfan
- Calciumsulfit Branntkalk mit Schwefel 80/2  
kohlens. Magnesiumkalk mit Schwefel 80/2
- Elementarer Schwefel verschiedene Produkte am Markt.

Viele Mehrnährstoffdünger enthalten Schwefel in der Sulfatform (s. Anhang, Tabelle 10).

Gülle enthält mit  $0,1 - 0,5 \text{ kg/m}^3$  relativ wenig Schwefel, der größtenteils organisch gebunden ist, weswegen die Schwefelwirksamkeit über Gülle nicht überschätzt werden sollte.

**Der neue Schätzrahmen für die Notwendigkeit einer S-Düngung**

Merkmal	Bewertung mit Punktzahlen			Zutreffende Punktzahl				
	SCHLAG			1	2	3	4	5
<b>STANDORTEIGENSCHAFTEN</b>								
<b>Bodenart</b> 1) z. B. Sand, lehmiger oder schluffiger Sand 2) z. B. sandiger, sandig-toniger oder schluffiger Lehm 3) z. B. Ton, sandiger oder lehmiger Ton	Sandiger Boden Schotterboden <sup>1)</sup> <b>1</b>	Lehmiger Boden <sup>2)</sup> <b>3</b>	Toniger Boden <sup>3)</sup> <b>5</b>	3				
<b>Humusgehalt</b>	arm < 2% Humus <b>2</b>	mittel 2-4% Humus <b>3</b>	reich > 4% Humus <b>4</b>	3				
<b>Verfügbare Wurzelraum (Krumme + durchwurzelter Raum)</b>	Flachgründig <b>2</b>	Tiefgründig <b>4</b>		4				
<b>Strukturschäden (Verschlammung, Bodenverdichtung, Pflugsohle)</b>	Vorhanden <b>1</b>	Stellenweise vorhanden <b>3</b>	Nicht vorhanden <b>4</b>	4				
<b>N<sub>min</sub>-Gehalt zu Vegetationsbeginn im Vergleich zum langjährigen Mittelwert</b>	Unterdurchschnittlich <b>1</b>	Durchschnittlich <b>3</b>	Überdurchschnittlich <b>5</b>	3				
<b>WITTERUNG</b>								
<b>Niederschläge (Oktober-März) im Vergleich zum langjährigen Mittelwert</b>	Überdurchschnittlich <b>1</b>	Durchschnittlich <b>3</b>	Unterdurchschnittlich <b>5</b>	3				
<b>BEWIRTSCHAFTUNG</b>								
<b>Schwefelzehrende Kulturen in der Fruchtfolge (Raps, Kohlarten, Leguminosen)</b>	Anbau jedes 3. Jahr <b>2</b>	Anbau jedes 4. Jahr <b>3</b>	Anbau mind. jedes 5. Jahr <b>4</b>	3				
<b>In diesem Jahr angebaute Kultur</b>	Raps, Kohl, Leguminosen <b>1</b>	Andere Kulturen <b>3</b>		1				
<b>Schwefelmangel bereits aufgetreten (Ertragseinbußen, Blattanalyse, Mangelsymptome)</b>	Ja <b>1</b>	Nein oder unbekannt <b>3</b>		3				
<b>Ertragsniveau (dt/ha)</b> Raps > 35 <sup>1)</sup> 25-35 <sup>2)</sup> < 25 <sup>3)</sup> Getreide > 70 <sup>1)</sup> 50-70 <sup>2)</sup> < 50 <sup>3)</sup>	Hoch <sup>1)</sup> <b>2</b>	Mittel <sup>2)</sup> <b>3</b>	Niedrig <sup>3)</sup> <b>4</b>	3				
<b>Zwischenfruchtanbau im letzten Herbst/Winter</b>	Nein <b>2</b>	Ja <b>4</b>		2				
<b>DÜNGUNG</b>								
<b>Einsatz organischer Dünger aus Tierhaltung (keine Gründüngung)</b>	0 GV/ha <b>1</b>	≤ 1,5 GV/ha <b>2</b>	> 1,5 GV/ha <b>3</b>	1				
<b>In den letzten 3 Jahren Einsatz nennenswerter Schwefel-Mengen aus Mineraldüngern (z. B. ASS, Nitrophoska 13+9+16 (+4+7), 20+8+8 (+3+4), Superphosphat, Kaliumsulfat)</b>	Nein <b>1</b>	Ja <b>3</b>		1				
19-32 Punkte: Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel hoch, Düngung mit ASS notwendig 33-40 Punkte: Bestände (besonders Raps) genau beobachten, Düngung mit ASS empfehlenswert 41-51 Punkte: Schwefelmangel zur Zeit nicht zu erwarten				34				
				<b>Summe der Punktzahlen</b>				

## 4.7 Natrium

### 4.7.1 Natrium im Pflanzenbau

Natrium ist ein für die Pflanzen wichtiges Element und hat vor allem einen günstigen Einfluß auf den Wasserhaushalt, besonders bei ungenügender Kaliversorgung. Von den natriumliebenden Pflanzen, z.B. Rüben, Sellerie, Spinat, Gerste und Feldgras wird Natrium gut aufgenommen und führt auch bei guter Kaliversorgung zu positiver Ertragsbeeinflussung. So zeigen Zuckerrüben bei mangelnder Natriumversorgung schneller Welkeerscheinungen und geringere Erträge. Natriumchlorid (NaCl) kann darüber hinaus den Nitratgehalt im Grünlandaufwuchs und auch in Spinat und Blattsalat senken.

### 4.7.2 Natrium in der Tierernährung

Im Stoffwechsel des Tieres ist Natrium wichtig für die Regulierung des Zelldruckes, des Wasserhaushaltes und der Speichelsekretion. Ebenfalls werden Muskel- und Nervenfunktionen beeinflusst.

Mangelerkrankungen äußern sich wie folgt:

- Lecksucht
- Appetitmangel
- Nervosität
- Muskelzittern
- struppiges Fell
- Leistungsminderung

Bei Natriummangel ist die Magnesiumresorption im Tier und die Bildung von Sexualhormonen (Fruchtbarkeit) behindert.

Wegen der durchweg niedrigen Na-Gehalte im Grünlandaufwuchs sollte Natrium bei der Grünlanddüngung berücksichtigt werden, denn mit natriumhaltigen Düngemitteln läßt sich der Gehalt des Aufwuchses auf die von der Tierernährung erwünschten Gehalte von 0,2 % in der TM sicherstellen. Die Beifütterung von Viehsalz und Lecksteinen reicht vor allem bei Milchkühen nur selten aus, da der Tagesbedarf hier bei rund 2,5 g NaCl je kg Milch liegt. Hohe Viehsalzgaben führen häufig zu erhöhtem Durchfall und Wasserverbrauch.

Entsprechend ist eine kontinuierliche und bedarfsdeckende Versorgung aller Milchkühe mit Natrium nur über die Zufuhr von Düngemitteln mit hohen Na-Gehalten zu erreichen. Eine Anhebung der Na-Gehalte im Futter ist besonders in Weidelgras- und Kleenarben zu erreichen. Die Schmackhaftigkeit und Aufnahme des Grundfutters wird dadurch wesentlich verbessert. Dabei wirkt Natrium im Tierkörper unabhängig von der Grünlandnutzung (Weide, Heu oder Silage).

Die Natriumdüngung auf Grünland wird vorzugsweise im zeitigen Frühjahr durchgeführt. Eine Ausbringung ist auch auf gefrorenem Boden möglich.

## 4.8 Spurennährstoffe

Spurennährstoffe sind Nährstoffe, die im Vergleich zu den Hauptnährstoffen von den Pflanzen nur in geringen Mengen benötigt werden, aber trotzdem von gleich großer Bedeutung sind.

Der Spurennährstoffgehalt der Böden ist stark abhängig vom geologischen Ausgangsmaterial. Akuter Spurennährstoffmangel bei Kulturpflanzen ist allerdings viel häufiger auf unzureichende Verfügbarkeit als auf absolut niedrige Bodengehalte zurückzuführen. Ausnahmen hierbei sind Moor- und Sandböden.

Die Verfügbarkeit im Boden hängt im wesentlichen vom pH-Wert ab (vergleiche Abbildung 1, S. 31). Bei steigendem pH-Wert sinkt die Verfügbarkeit von Mn, Fe, Zn und B, während die Verfügbarkeit von Mo zunimmt. Latenter oder vorübergehender Mangel tritt vorrangig in Trocken- und Kälteperioden auf.

Die gezielte Düngung mit Spurennährstoffen gewinnt zunehmend Bedeutung bei höheren Erträgen und damit auch höheren Entzügen. Zusätzlich muß beim Einsatz von hochkonzentrierten Mineraldüngern ohne Nebenbestandteile die Spurennährstoffzufuhr berücksichtigt werden. Auch der Wandel beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann eine zusätzliche Düngung erforderlich machen (z.B.: Cu-Zufuhr nach Absetzen von Cu-haltigen Pflanzenschutzmitteln).

Im Grünland hat die Spurennährstoffdüngung besondere Bedeutung für die Futterqualität (besonders Cu). Bezüglich des Spurennährstoffs Selen ist Deutschland ein Mangelgebiet. Selenmangel tritt vor allem bei Weidehaltung auf und führt bei Milchvieh zu Fruchtbarkeitsstörungen, hoher Kälbersterblichkeit und verstärktem Auftreten von Mastitis.

Zur Sicherung der Spurennährstoffversorgung erfolgt entweder eine Düngung mit Spurennährstoffdüngern, oder man bringt Mineraldünger mit Spurennährstoffen als Nebenbestandteilen aus, wie z.B. Thomasphosphat, Thomaskalk, Konverterkalk, Hüttenkalk (enthalten Mn, Fe, Cu, Zn, B, Mo) oder Chilesalpeter (enthält B). Bei akutem Mangel muß die Pflanze direkt über das Blatt mit Spurennährstoffen gedüngt werden. Chelatisierte Formen sind zu bevorzugen, da sie rascher in den

Stoffwechsel eingreifen als Salzformen. Chelate stehen aber nur für die Spurennährstoffe Mn, Fe, Cu und Zink zur Verfügung

### Getreide

Besonders Hafer reagiert empfindlich auf Spurennährstoffmangel. So führt Manganmangel zur Dörrfleckenkrankheit. Sichtbar wird dieser Mangel dadurch, daß die Blätter scharf abbrechen und dann am Blattgrund vertrocknen.

Kupfermangel bei Hafer kann zur "Heidemoorkrankheit" bzw. "Urbarmachungskrankheit" führen. Symptome sind Aufhellen der Blätter von den Rändern und Spitzen her, Blattspitzen hängen oft korkenzieherartig herab. Der Bestand erhält einen weißen Schimmer (Spitzendürre/Weißährigkeit). Die Bestandsentwicklung ist ungleichmäßig, es kommt zu Nachschossern.

### Zuckerrüben

Bormangel verursacht die Herz- und Trockenfäule: Die Herzblätter werden braun und schwarz. Später beginnt der Rübenkopf zu faulen, so daß der Rübenkörper allmählich von innen her hohl wird.

### Obstbau

Spurennährstoffmangel ist im Obstbau von erheblicher Bedeutung. So sind Fe- und Mn-Mangelercheinungen besonders auf kalkreichen und schweren Böden weit verbreitet. Besonders anfällig sind Apfelsorten wie "Cox Orange" und "Golden Delicious" sowie Birnen auf Quitte, Pflaumen und Pfirsiche.

Zu hohe pH-Werte und Phosphatgehalte, niedrige Temperaturen und Trockenheit verursachen Zn-Mangel, vor allem bei Apfel, Birne und Kirsche.

Apfel, Birne, Pflaume, Pfirsich und Kirsche sind durch B-Mangel gefährdet.

## Gemüsebau

Über den Bedarf der einzelnen Gemüsearten liegen nur wenige exakte Untersuchungen vor. Deshalb erhält die Spurennährstoffversorgung den Charakter einer Risikovorsorge.

Zu beachten ist der hohe Mo-Bedarf von Blumenkohl. Zur Bekämpfung des Mo-Mangels genügt in der Regel eine Aufkalkung auf den richtigen pH-Wert.

## Weinbau

Besonders unter staunassen Bedingungen kann Fe-Chlorose auftreten. Abhilfe mit Fe-Chelaten.

Tabelle 15: Wichtige Spurennährstoffe und ihre Mangelursachen

Ernteentzug/ha	Mangel häufig bei		Mangel verstärkt durch
	Pflanzenart	Böden*	
<b>Eisen (Fe)</b> bis 1,5 kg	Obstarten Reben Zierpflanzen	pH > 6,5	überzogene Kalkung
<b>Mangan (Mn)</b> bis 1 kg	Hafer Rüben Kartoffeln Körnerleguminosen Obstarten	pH > 6	überzogene Kalkung Trockenheit gute Durchlüftung
<b>Zink (Zn)</b> 100 - 300 g	Mais Obstarten Reben Hopfen	pH > 6,5 oder < 5	überzogene Kalkung
<b>Kupfer (Cu)</b> 50 - 100 g	Hafer Weizen und Gerste Zierpflanzen Gemüsearten Waldbäume	pH > 6 und viel organische Substanz	Trockenheit
<b>Bor (B)</b> 100 - 400 g	Raps Rüben Luzerne Tomaten und Kohl Obstarten Reben	pH > 7	Trockenheit überzogene Kalkung
<b>Molybdän (Mo)</b> wenige g	Leguminosen Blumenkohl Kruziferen	pH < 6	physiologisch saure N-Dünger

\* Auf leichten Böden eher als auf mittleren und schweren Böden

## 5. Düngeverordnung (DVO)

Die DVO beschreibt die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Dennoch sind Düngemittel generell so auszubringen, daß

- die Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend ausgenutzt werden;
- Nährstoffverluste und damit verbundene Einträge in Gewässer weitestgehend vermieden werden.

Geräte zum Ausbringen von Düngemitteln müssen den anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Insbesondere sind 10 Punkte der Düngeverordnung zu beachten, deren Nichteinhaltung mit Bußgeldern geahndet werden kann.

1. Ein direkter Eintrag in Oberflächengewässer ist durch Einhalten entsprechender Abstände zu vermeiden, zudem ist darauf zu achten, daß keine Abschwemmung von Düngemitteln erfolgt.
2. Stickstoffhaltige Dünger dürfen auf tief gefrorenen, wassergesättigten und stark schneebedeckten Boden nicht ausgebracht werden
3. Gülle, Jauche, Geflügelkot und flüssige Sekundärrohstoffdünger müssen auf unbestelltem Ackerland unverzüglich eingearbeitet werden, um gasförmige N-Verluste möglichst zu vermeiden. Die Einarbeitungspflicht gilt auch für Geflügelkot.
4. Auf Ackerland dürfen nach der Ernte der Hauptfrucht Gülle, Jauche, Geflügelkot und flüssige N-haltige Sekundärrohstoffdünger nur soweit ausgebracht werden, daß 40 kg/ha Ammoniumstickstoff oder 80 kg/ha Gesamtstickstoff nicht überschritten werden. Im Betriebsdurchschnitt dürfen Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft nur soweit ausgebracht werden, daß jährlich auf Grünland 210 kg/ha und auf Ackerland 170 kg/ha Gesamtstickstoff nicht überschritten werden.

5. Düngemittel mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff, ausgenommen Festmist ohne Geflügelkot, dürfen zu den nachfolgend genannten Zeiten nicht aufgebracht werden:

1. Auf Ackerland vom 01. November bis 31. Januar,
2. Auf Grünland vom 15. November bis 31. Januar.

Die nach Landesrecht zuständige Stelle kann für die zeitliche Begrenzung andere Zeiten genehmigen. Für die Genehmigung sind regionaltypische Gegebenheiten, insbesondere Witterung oder Beginn und Ende des Pflanzenwachstums, sowie Ziele des Boden- und Gewässerschutzes heranzuziehen.

6. Auf sehr hoch mit P und K versorgten Böden dürfen betriebseigene Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft nur bis in Höhe des Phosphat- und Kalientzuges des Pflanzenbestandes (Abfuhr von der Fläche) ausgebracht werden.

7. Die im Boden verfügbaren Nährstoffmengen müssen ermittelt werden,

- für Kalk, Phosphat und Kali durch Bodenuntersuchung mindestens alle 6 Jahre, extensives Dauergrünland alle 9 Jahre
- für Stickstoff durch jährliche Bodenuntersuchung oder Übernahme von Richtwerten der Landwirtschaftskammern.

8. Der Gehalt an Gesamt-Stickstoff, Phosphat und Kali in Wirtschaftsdüngern und Sekundärrohstoffdüngern muß durch Untersuchung oder Anwendung von Richtwerten der Landwirtschaftskammern vor der Ausbringung ermittelt werden, bei Gülle zusätzlich der Ammonium-N-Gehalt.

-----

**zu 6)**

Sehr hoch mit Phosphat und Kali versorgte Böden sind im Sinne der DVO (§ 3 Abs. 6) Böden, welche die Versorgungsstufe E aufweisen. Verstöße werden als Ordnungswidrigkeit geahndet, wenn pro 100 g Boden mehr als 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bzw. mehr als 45 mg K<sub>2</sub>O auf leichten Böden,

mehr als 55 mg  $K_2O$  auf mittleren Böden und mehr als 65 mg  $K_2O$  auf schweren Böden, gemessen nach der CAL-Methode, enthalten sind. Diese Werte stellen keinen pflanzenbaulichen Richtwert, sondern eine ordnungsrechtliche Obergrenze dar.

9. Betriebe > 10 ha oder > 1 ha Sonderkulturen müssen Aufzeichnungen über die Zufuhr und Abfuhr der Nährstoffe führen (Nährstoffvergleich), für N jährlich, für P und K mind. alle 3 Jahre. Der Vergleich kann auf Feld-Stall-Basis oder auf Hoftor-Basis geführt werden. Eine Bewertung des Ergebnisses ist in der Düngeverordnung nicht vorgesehen!

10. Alle Aufzeichnungen (Bodenuntersuchung, Berechnungs- und Schätzverfahren, Nährstoffbilanzen) müssen 9 Jahre aufbewahrt werden.

**(Bitte um Beachtung:**

**Bekanntmachung der Neufassung der Düngeverordnung vom Januar 2006)**

-----

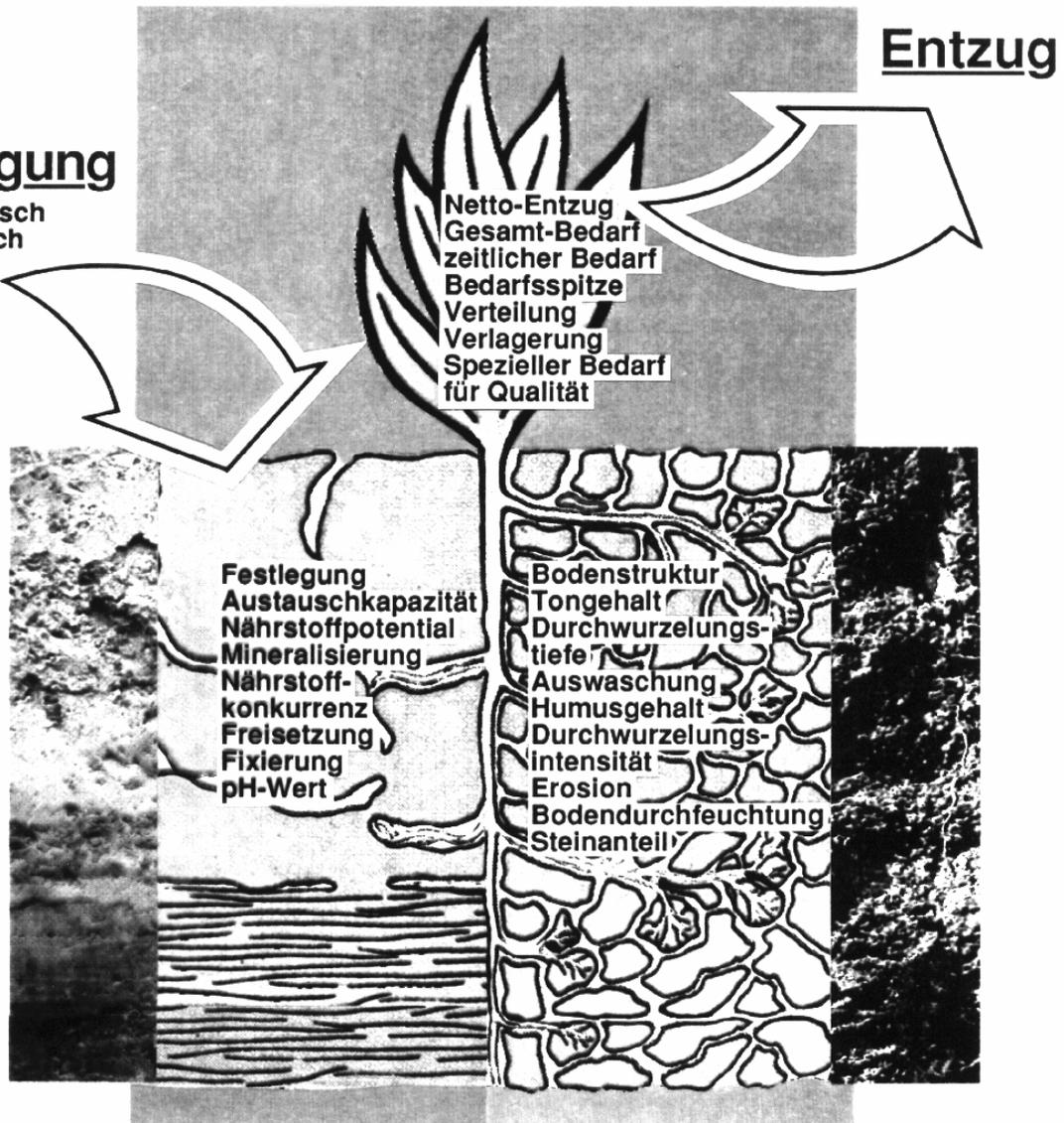
**zu 9)**

Der im Rahmen der DVO praktizierte Nährstoffvergleich hat zum Ziel, einen Überblick über die Summe der Zu- und Abflüsse der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kali zu gewinnen. Bei welchem Nährstoffsaldo tatsächlich eine Anreicherung/Überdüngung bzw. ein Abbau von Bodenvorräten vorliegt, ist äußerst schwer zu sagen. Zu viele Standortfaktoren (Abb. 3) nehmen Einfluß auf diesen rein rechnerischen Wert. In Bezug auf eine optimale Düngedarfsermittlung ist der Nährstoffvergleich nicht das alleinige Maß aller Dinge, sondern ebenso wie die Bodenuntersuchung eine wertvolle Orientierungshilfe.

Abbildung 3:

## Düngung

mineralisch  
organisch



## 6. Anhang

Tabelle 1: Nährstoffentzüge (kg/ha) einiger Ackerkulturen durch Erntegut und Erntereste bei unterschiedlicher Ertrags erwartung (nach LK Rheinland und Westfalen-Lippe)

Fruchtart	Erntegut (z.B. Korn, Knolle, Rübe)					Ernterest (z.B. Stroh, Kraut, Blatt)				
	dt/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	dt/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
<b>Weizen</b>	60	48	36	12	6	60	18	83	12	27
	80	64	48	16	8	72	22	101	14	32
<b>Gerste</b>	60	48	36	12	6	60	18	102	12	27
	80	64	48	16	8	72	22	123	14	33
<b>Roggen</b>	60	48	36	9	6	66	20	132	13	30
	80	64	48	12	8	80	24	161	16	36
<b>Triticale</b>	60	48	36	12	6	66	20	113	13	30
	80	64	48	16	8	80	24	137	16	36
<b>Hafer</b>	60	48	36	12	6	66	20	172	13	30
	80	64	48	16	8	80	24	210	16	36
<b>Körnermais</b>	75	60	38	19	19	99	30	197	30	59
	90	72	45	23	23	117	35	236	35	71
<b>CCM-Mais</b>	120	62	55	22	24	131	28	183	28	55
	145	75	67	26	29	155	33	220	33	66
<b>Siomais</b>	400	70	192	46	69					
	550	97	264	63	95					
<b>Ackerbohne</b>	40	48	56	12	6	52	16	105	10	55
	50	60	70	15	8	60	18	122	12	64
<b>Erbse</b>	40	44	56	12	6	48	14	101	10	50
	50	55	70	12	7	55	17	117	11	58
<b>Körnerraps</b>	30	64	30	15	19	51	25	152	15	93
	40	72	40	20	25	64	32	194	19	119
<b>Zuckerrübe</b>	500	50	125	30	34	365	29	183	29	88
	600	60	150	36	41	390	31	194	31	93
<b>Futterrübe (Mittlrübe)</b>	800	64	380	36	33	344	24	144	34	86
	1.000	80	475	45	41	380	26	159	38	94
<b>Kartoffeln</b>	400	56	240	28	12	128	16	119	30	89
	500	70	300	35	15	140	17	128	32	96

Der Entzug der Gesamtpflanze berechnet sich aus der Summe der Nährstoffmengen in Erntegut und Ernterest. Düngergaben in dieser Höhe sind – über die Fruchtfolge gesehen – aber nur dann erforderlich, wenn die Erntereste (z.B. Getreidestroh) abgefahren werden. Bei der Düngempfehlung durch die LUFA werden die Nährstoffrücklieferungen durch Erntereste entsprechend der erzielten Erträge automatisch der Fruchtfolge gutgeschrieben, wenn die Erntereste auf dem Feld verbleiben. Falls aber von der ursprünglichen Planung abgewichen wird (z.B. bei Strohverkauf oder Änderung der Fruchtfolge), gibt diese Übersicht eine grobe Orientierung über die notwendige Korrektur der Düngempfehlung.

Tabelle 2: Durchschnittliche Nährstoffentzüge bei Freilandgemüse und einigen Sonderkulturen in kg/a (x 100 = kg/ha) bei gut versorgten Böden

Gemüseart	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Blumenkohl	2,50	0,70	3,50	1,50	0,90
Buschbohnen	1,40	0,60	2,00	0,75	0,60
Endivien	1,20	0,40	1,50	0,45	0,50
Gurken	1,50	0,60	2,00	0,30	0,80
Kopfkohl	3,00	0,90	4,00	4,00	0,90
Kohlrabi	1,80	0,50	2,20	0,95	0,60
Kopfsalat	1,20	0,40	1,50	0,35	0,50
Möhren	1,00	0,90	2,50	1,00	0,80
Porree	1,80	0,50	2,30	1,00	0,60
Rettich	1,80	0,50	2,30	0,60	0,60
Rosenkohl	3,00	0,90	4,00	2,00	0,90
Rote Rübe	1,20	0,50	2,00	1,00	0,60
Sellerie	2,00	0,60	2,30	1,50	0,80
Spargel	1,20	1,00	2,50	0,60	1,10
Spinat	1,20	0,40	1,60	0,30	0,50
Tomaten	2,00	0,90	3,00	3,50	0,90
Zwiebeln	1,20	1,00	2,00	0,75	0,90
<b>Sonderkulturen</b>					
Hopfen	1,70	0,70	2,00	1,90	0,50
Tabak	1,50	0,45	2,50	2,00	0,25
Reben	1,20	0,50	1,80	1,90	0,70
Erdbeeren	0,80	0,20	0,80	1,00	0,15
Strauchbeeren	1,00	0,30	,70	1,20	0,15
Kernobst	0,40	0,25	0,90	0,70	0,25
Steinobst	0,80	0,40	1,20	1,20	0,30

Die Kali- und Magnesium-Düngung erfolgt im Freilandgemüsebau über sulfatische Düngemittel

Tabelle 3: Durchschnittliche Nährstoffgehalte in Wirtschaftsdüngern (kg/dt)  
(nach: Sachgerechte Düngung f. Acker und Grünland, Rheinland-Pfalz)

		% TS	N	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
<b>Gülle</b>							
Milchkühe (6000 kg Milch/Jahr)	Grünlandregion	7,5	0,4	0,2	0,15	0,6	0,08
	Ackerregion	10	0,53	0,27	0,2	0,8	0,1
	Grünlandregion	7,5	0,37	0,19	0,15	0,51	0,08
	Ackerregion	10	0,49	0,25	0,20	0,68	0,1
Kälber (bis 3 Monate)		7,5	0,48	0,24	0,19	0,5	0,08
weibl. Jungvieh (über 3 - 4 Monate)	Grünlandregion	7,5	0,38	0,19	0,14	0,6	0,08
	Ackerregion	7,5	0,35	0,18	0,14	0,53	0,08
Fresser, Mastkälber (über 3 bis 6 Monate)		7,5	0,36	0,18	0,15	0,43	0,08
Mastbullen (über 6 Monate)		7,5	0,37	0,19	0,17	0,44	0,08
		10	0,49	0,25	0,23	0,58	0,1
Mastschweine (Standardfütterung)		7,5	0,65	0,46	0,33	0,33	0,1
		10	0,86	0,60	0,44	0,44	0,13
Mastschweine (N- und P-reduzierte Fütterung)		7,5	0,5	0,35	0,25	0,28	0,08
		10	0,66	0,46	0,33	0,37	0,1
Zuchtsauen (mit Ferkeln, Standardfüttrg)		7,5	0,65	0,46	0,38	0,32	0,1
Z-sauen (mit Ferkeln, N- u. P-red. Füttrg.)		7,5	0,52	0,36	0,30	0,30	0,08
Legehennen	Gülle	15	0,9	0,54	0,54	0,44	0,16
	Frischkot	22,5	1,35	0,68	0,82	0,67	0,23
	Trockenkot	45	2,4	0,48	1,6	1,3	0,47
	getrockneter. Kot	70	3,4	0,68	2,5	2,1	0,73
<b>Mist</b>							
Milchkühe (auch mit Nachzucht)							
- Mittellangstand (4 kg Einstreu/Tag)		ca. 25	0,55		0,4	0,65	0,1
- Kurzstand (2 kg Einstreu/Tag)		ca. 25	0,5		0,5	0,6	0,1
- Tiefstall (9 kg Einstreu/Tag)		ca. 25	0,65		0,3	1	0,1
Mastkälber, Mastbullen (Tiefstall)		ca. 25	0,7		0,35	1	0,1
Mastschweine	geringe Einstreu	ca. 30	0,85		0,8	0,65	0,2
	Tiefstall	ca. 30	0,95		0,5	0,8	0,2
Zuchtsauen (mit Ferkeln)		ca. 28	0,8		1,3	0,4	0,2
Ferkelaufzucht (Tiefstall)		ca. 30	0,85		0,5	0,75	0,2
Legehennen (Bodenhaltung, Tiefstreu)		ca. 45	2		1,4	1,4	0,4
Junghennen (Bodenhaltung, Tiefstreu)			2,8		2,0	1,8	0,5
Masthähnchen (Bodenhaltung, Tiefstreu)			2,8		2,1	1,9	0,6
<b>Jauche</b>							
Milchkühe	Grünlandregion		0,4	0,4	-	0,8	-
	Ackerregion		0,3	0,3	-	0,65	-
Zuchtsauen mit Ferkeln			0,45	0,45	-	0,3	-
Mastschweine			0,6	0,6	-	0,45	-
<b>Silagesickersaft</b>			0,15		0,1	0,1	-

1 m<sup>3</sup> Gülle, Jauche oder Sickersaft = 10 dt

Bei N- und P-reduzierter Fütterung liegen entsprechend den Ausscheidungen niedrigere Nährstoffgehalte vor.

Sofern eigene, plausible Analysenergebnisse vorliegen, können diese anstatt der Tabellenwerte benutzt werden. Zur Überprüfung eignet sich gegebenenfalls eine Stallbilanz (nach dem Prinzip der Hoftorbilanz).

Tabelle 4: Kalkwerte wichtiger Düngemittel

Düngemittel	Kalkverlust bzw. -gewinn in kg CaO je 100 kg N / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / K <sub>2</sub> O	
	Acker	Grünland
<b>Stickstoffdünger (% N)</b>		
Kalkammonsalpeter (27)	-58	-36
Hydro Sulfan, Kemira N-plus (24)	-92	-87
Schwefels. Ammoniak, SSA (21)	-299	-280
Ammonsulfatsalpeter, ASS (26)	-196	-173
Entec 26	-196	-173
Stickstoffmagnesia (22)	±0	-18
Hydro Optimag (20)	-60	-56
Harnstoff , Piagran (46), Alzon 46 (46)	-100	-80
Hydro Ureas (38)	-134	-126
Piamon 33 S (33)	-200	-180
Kalkstickstoff (21)	+167	+186
AHL , Piasan , Alzon flüssig (28)	-100	-80
Piasan 24 S (24) , Alzon flüssig S (24)	-122	-98
Kalksalpeter (15,5)	+80	+100
<b>Phosphatdünger (% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>		
Triplesuperphosphat (46)	-6	-6
Dolophos (15)	+400	+400
P23 (Novaphos)	+56	+56
<b>NP-Dünger (% N, % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>		
Monoammonphosphat (11/52)	-336	-318
Diammonphosphat (18/46)	-205	-184
NP-Dünger (20/20)	-90	-70
NP-Dünger (26/14)	-54	-49
NP-Lösung (10/34)	-250	-240
<b>NPK-Dünger (% N, % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, % K<sub>2</sub>O)</b>		
6/12/18	-183	-167
12/12/17	-100	-111
15/15/15	-93	-73
18/6/12+4MgO+2S	-89	-85
20/8/8	-96	-75
13/13/21	-92	-69

Düngemittel	Kalkverlust bzw. -gewinn in kg CaO je 100 kg N / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / K <sub>2</sub> O	
<b>PK-Dünger ( % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, % K<sub>2</sub>O)</b>	Acker	Grünland
Thomaskali 10+15+4 MgO	+240	+240
Thomaskali 7+21+4 MgO	+314	+314
PK 12+24	+42	+42
PK 14+14+4 MgO	+35	+35
<b>Alle Kali- und MgO-Dünger</b>	<b>± 0</b>	<b>± 0</b>

Tabelle 5: Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger

Produkt	Ges. N %	Nitrat- N %	Ammo- nium- N %	Amid- N %	Andere N-Formen Nährstoffe	Weitere
Kalksalpeter	14,5	14,5	-	-	19 % CaO	
Kalkammonsalpeter	27	13,5	13,5	-	12 % CaO, teilw. bis 4 % MgO (MgCO <sub>3</sub> )	
Hydro Sulfan, Kemira N-plus	24	12	12	-	6 % S	
Stickstoffmagnesia	22	11	11	-	7 % MgO (MgCO <sub>3</sub> )	
Hydro Optimag	20	10,2	9,8	-	10 % MgO, 4 % S	
Ammoniumsulfatsalpeter	26	7,5	18,5	-	13 % S	
Entec 26	26	7,5	18,5	-	3,4 DMPP, 13 % S	
Schwefelsaures Ammoniak	21	-	21	-	24 % S	
Ammoniumnitrat-Harnstoff- Lösung (AHL), Piasan 28	28	7	7	14	-	
Piasan 24 S	24	5	8	11	3 % S	
Alzon flüssig	28	6,9	7,3	13,8	DCD + 3MP 15:1	
Alzon flüssig S	24	5	8	11	3 % S; DCD + 3 MP 15:1	
Harnstoff, Piagran 46	46	-	-	46		
Ureas	38	-	6,6	31,4	7,5 % S	
Alzon 46	46	-	-	44	DCD + 1H-1,2,4 Triazol	
Piamon 33 S	33	-	10	23	12 % S	
Perlka (Kalkstickstoff)	19,8	1,5	-	-	Cyanamid-N	

Tabelle 6: Zusammensetzung wichtiger Kalidünger

Produkt	<b>K<sub>2</sub>O</b> %	<b>MgO</b> %	<b>Na</b> %	<b>S</b> %	weitere Nährstoffe
Korn-Kali mit 6 % MgO	40	6	3	4	K-Chlorid, Mg-Sulfat
60er Kali „gran.“	60	-	-	-	K-Chlorid
Magnesia-Kainit	11	5	20	4	K-Chlorid, Na-Chlorid, Mg-Sulfat
Kaliumsulfat „gran.“	50	-	-	18	K-Sulfat
Patentkali (Kalimagnesia)	30	10	-	17	K-Sulfat, Mg-Sulfat

Tabelle 7: Zusammensetzung wichtiger Magnesiumdünger

Produkt	<b>MgO</b> %	<b>S</b> %	Bindungsform, weitere Nährstoffe
Kieserit „fein“	27	22	Magnesiumsulfat-Monohydrat
Kieserit „gran.“	25	20	Magnesiumsulfat-Monohydrat
EPSO Top	16	13	Magnesiumsulfat * 7 H <sub>2</sub> O
EPSO microtop	15	12	Borsäure; Mangansulfat
EPSO combitop	13	13	Mangansulfat; Zinksulfat
Patentkali	10	17	Magnesiumsulfat
Hydro Optimag	10	4	6 % Magnesiumsulfat 4 % Magnesiumcarbonat
Stickstoffmagnesia/ Stimag	7	-	Magnesiumcarbonat
Kohlensaurer Magnesiumkalk	8 - 17	-	Magnesiumcarbonat
Magnesium- Brantkalk	15 - 35	-	Magnesiumoxid
Hüttenkalk	7	-	Magnesiumsilikat

Tabelle 8: Zusammensetzung wichtiger Phosphatdünger

Produkt	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Löslichkeitsform, weitere Nährstoffe, (CaO-Gehalt = theor. basisch wirks. Kalk)
Superphosphat 18	18	ammoniumcitratlösliches P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , davon ca. 93 % wasserlöslich, ca. 12 % S
Triple-Superphosphat 46	46	ammoniumcitratlösliches P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , davon ca. 93 % wasserlöslich
P 23 (Novaphos)	23	mineralsäurelösliches P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , davon ca. 50 % wasserlöslich; 13 % CaO, 9 % S; teilaufgeschlossenes Rohphosphat
Dolophos 15	15	mineralsäurelösliches Phosphat, davon 60 % in 2 %iger Ameisensäure, 65 % CaCO <sub>3</sub> und 15 % MgCO <sub>3</sub>

Tabelle 9: Zusammensetzung wichtiger Kalke:

Produkt	Kalkform	Kalkgehalt (CaO)	weitere Nährstoffe/ Nebenbestandteile
Branntkalk	CaO	65 - 90	z.T. MgO
Magnesiumbranntkalk	CaO/MgO	85	15 - 35 % MgO
Mischkalk	CaO/CaCO <sub>3</sub>	55 - 65	z.T. MgO
Magnesiummischkalk	CaO /MgO CaCO <sub>3</sub>		
Kohlensaurer Kalk	CaCO <sub>3</sub>	47 -53	z.T. MgCO <sub>3</sub>
Kohlensaurer Magnesiumkalk	CaCO <sub>3</sub> /MgCO <sub>3</sub>	45 - 50	15 - 40 % MgCO <sub>3</sub>
Kohlens. Magnesiumkalk mit Phosphat und/oder Kali	CaCO <sub>3</sub> /MgCO <sub>3</sub>	30 - 44	MgCO <sub>3</sub> > 3 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , > 3 % K <sub>2</sub> O
Hüttenkalk	Ca- + Mg-Silikate	47	7 - 10 % MgO, ca. 32 % lösl. Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> ), Spurennährstoffe
Konverterkalk feucht-körnig	Ca- + Mg-Silikate	41 - 43	2 – 3 % MgO, 12 % lösl. Kieselsäure (SiO <sub>2</sub> ), Spurennährstoffe
Konverterkalk	Ca- + Mg-Silikate	50	MgO, ca. 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Thomaskalk <sup>®</sup> 4	Ca- + Mg-Silikate	45	4 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , MgO, 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Thomaskalk <sup>®</sup> 8	Ca- + Mg-Silikate	46	8 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 2 - 3 % MgO, 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Rückstandskalk	CaCO <sub>3</sub> CaO Ca(OH) <sub>2</sub>	> 30	z: T. MgO, Spurennährstoffe

Tabelle 10: Zusammensetzung wichtiger Mehrnährstoffdünger

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Bemerkungen
1. P-(Mg)-Dünger				
-	15-22	-	7	Mg-Novaphos
2. PK-(Mg)-Dünger				
-	7-25	7-30	0-12	Rhe-Ka-Phos, Thomaskali, PK-Dünger (Teilaufschluß), Sorten mit bis zu 25 % CaO; bis 9 % S; bis 6 % SiO <sub>2</sub> PK-Dünger mit kohlens. Magnesiumkalk P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Löslichkeiten siehe vergleichbare „Phosphatdünger“
3. NK-Dünger				
18-19	-	16-18	2	vom N 50 Anteile NO <sub>3</sub> -N
4. NP-Dünger				
20-26	14-20	-	-	Hydro, Nitrophos; 5-11 % CaO vom N ca. 40 % NO <sub>3</sub> -N; vom P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ca. 50-85 % wasserlöslich
10	34	-	-	Hydro Terra , Praysol, flüssige NP-Dünger
18	46	-	-	Diammonphosphat; N als NH <sub>4</sub> ; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> zu 90 % wasserlöslich
12	54	-	-	Kemira (Monoammonphosphat); P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> zu 90 % wasserlöslich
5. NPK-(Mg)-Dünger				
6-24	4-16	7-21	0-4	Hydro, Kemira, Nitrophoska; vom N 20-45 % als NO <sub>3</sub> -N, sonst NH <sub>4</sub> -N; vom P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 55-90 % wasserlöslich, im übrigen citratlöslich;  K <sub>2</sub> O meist Chlorid; spezielle Formeln je zur Hälfte Chlorid und Sulfat oder nur Sulfat;  bis 8 % S; bis 17 % CaO; teilweise mit Spurennährstoffen
6. NPK-Dünger mit DCD				
12	8	17	2	Alzon plus, Nitrophoska stabil; vom N 2,3 % NO <sub>3</sub> -N, 8,0 % als NH <sub>4</sub> -N, 1,1 % DCD-N; 8 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> neutralcitratlöslich, davon 6 % wasserlöslich; Kalium überwiegend als Kaliumsulfat; 7 % Gesamtschwefel, davon 5% wasserlöslich

Die Mehrnährstoffdünger haben heute einen beachtlichen Marktanteil. Wegen der großen Zahl und Vielfalt der Düngemittel können in dieser Übersicht nicht alle Einzeldaten gebracht werden. Die Hersteller geben gerne Auskunft bei speziellen Fragen.

Tabelle 11: Natriumgehalte verschiedener Mineraldünger:

Produkt	Na %	MgO %	sonstige Nährstoffe	Nährstoffform
Magnesia-Kainit	20	5	11 % K <sub>2</sub> O, 4 % S	Rohsalz = Steinsalz* K in Chloridform, Mg in Sulfatform
Kemistar Gold	7	3	21 % N	N als NO <sub>3</sub> und NH <sub>4</sub> (jeweils 50 %)
Kornkali 40/6	3	6	40 % K <sub>2</sub> O, 4 % S	K in Chloridform Mg in Sulfatform
Thomaskali 11+11+4 MgO	4	4	25 % CaO+MgO 3% S je 11 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O	K in Chloridform

Tabelle 12: Bestimmungsschlüssel für wichtige Mangelsymptome  
(Finck: Pflanzenernährung in Stichworten)

<b>A. Getreide (Gräser)</b>	
I. Symptome an <b>älteren</b> Blättern	Mangel
1. Blätter <b>dunkelgrün</b> und aufrecht (Starrtracht), oft rötliche Verfärbungen auch am Stengel (häufig kombiniert mit anderen Symptomen des „Säurekomplexes“).	<b>P</b>
2. Grüne Blätter am Rand gelb bzw. häufig braun ( <b>Randchlorose</b> bzw. <b>Randnekrose</b> ), Blätter schlaff (Welketracht).	<b>K</b>
3. Pflanze hellgrün, Blätter meist von der Spitze her gleichmäßig gelblich ( <b>Spitzenchlorose</b> ), älteste Blätter braun.	<b>N</b>
4. Gelbliche Längsstreifen zwischen den Blattadern ( <b>Streifenchlorose</b> ), Reste des Blattgrüns perlschnurartig aufgereiht.	<b>Mg</b>
5. Ältere und mittlere Blätter gelbgrün mit braunen oder weißlichen Flecken (kaum auf sauren Böden).	<b>Mn</b>
Hafer: grau-braune streifenförmige Flecke in unterer Blatthälfte, Spitze bleibt noch lange grün (Dörrfleckenkrankheit).	<b>Mn</b>
Gerste: dunkelbraune streifenförmige Flecke vorwiegend in oberer Blatthälfte.	<b>Mn</b>
Roggen und Weizen: weiße oder graue streifenförmige Flecke vorwiegend in oberer Blatthälfte.	<b>Mn</b>
II. Symptome an <b>jüngeren</b> Blättern	
1. Gelbgrüne Blätter mit <b>hellgelben Adern</b> , meist ohne Nekrosen.	<b>S</b>
2. Gelbe bis gelbweiße Blätter mit <b>grünen Adern</b> (meist auf kalkhaltigen Böden oder Hochmoor).	<b>Fe</b>
3. Weißliche, fadenförmig verdrehte Blattspitzen (Weißspitzigkeit, Heidemoorkrankheit), vor allem bei Hafer und Gerste.	<b>Cu</b>
4. Gelbliche Blätter und meist <b>abgestorbene Endknospe</b>	
a) oft kombiniert mit sonstigen „Säureschäden“, z.B. braune Flecken.	<b>Ca</b>
b) auf nicht stark sauren Böden (sehr selten).	<b>B</b>
III. Sonstige Symptome	
Da im allgemeinen zuerst ein einzelner Nährstoff ins Minimum gerät, ist meist eine ziemlich sichere Diagnose aufgrund von Einzel-Mangelsymptomen möglich. Folgende Ausnahmen sind aber zu beachten:	
Bei Schäden an älteren und jüngeren Blättern in fortgeschrittenen Stadien zum Vergleich Pflanzen im Anfangsstadium des Mangels aufsuchen.	

Kombination von mehreren Symptomen bei Komplexschäden, z.B. beim „Säureschaden“-Komplex: braune und rötliche Flecken auf gelblichen Blättern (bedingt z.B. durch Mangel an P, Ca, Mo und Überschuß an Aluminium und Mangan).

Schäden als Folge einer (fehlerhaften) Düngung: z.B. Schwarzfleckigkeit der Gerste, bedingt durch Bor-Überschuß als Folge der Vorfruchtdüngung oder braune Blattspitzen als Folge einer Ätzung bei Blattdüngung oder -spritzung.

Schäden durch Einflüsse des Klimas (Kälte, Sturm, Hagel) oder durch Parasiten, die mit bloßem Auge nicht wahrnehmbar sind.

## B. Betarüben, Kartoffeln, Kohlarten (einschl. Raps)

I. Symptome an <i>älteren</i> Blättern	Mangel
1. Blätter dunkelgrün und aufrecht, oft rötlich.	<b>P</b>
2. Grüne Blätter am Rand gelb bzw. häufig braun, schlaff.	<b>K</b>
3. Pflanze hellgrün, Blätter von der Spitze her gelblich.	<b>N</b>
4. Betarüben und Kohl: vom Rand her zwischen den Adern gelbgrün, gelb und schließlich braun.	<b>Mg</b>
Kartoffeln: Blattmitte fleckig gelb-braun, Rand bleibt noch lange grün.	<b>Mg</b>
5. Betarüben und Kohl: kleine gelbe, später gelb-braune Flecken auf dem ganzen Blatt (Marmorierung), (kaum auf sauren Böden).	<b>Mn</b>
II. Symptome an <i>jüngeren</i> Blättern	
1. Gelbliche Blätter mit hellen Adern.	<b>S</b>
2. Gelbliche bis gelbweiße Blätter mit grünen Adern (meist auf kalkhaltigen Böden oder Hochmoor).	<b>Fe</b>
3. Kartoffeln: Hellgrüne Blätter mit kleinen schwarzbraunen Punkten, besonders auf der Unterseite (kaum auf sauren Böden).	<b>Mn</b>
4. Betarüben: Vergilben, Verdrehen und schließlich Absterben der jüngsten Blätter (Herz- und Trockenfäule).	<b>B</b>
5. Kohlarten: bei Jungpflanzen löffelförmige Blätter; bei älteren Pflanzen fast nur Blattstiele mit verkrüppelten Spreiten, Verdrehen des Herzblattes (Klemmherz bei Blumenkohl).	<b>Mo</b>
III. Sonstige Symptome (siehe bei Getreide unter III.).	

## C. Leguminosen

I. Symptome an <b>älteren</b> Blättern	Mangel
1. Blätter dunkelgrün und aufrecht, oft rötlich.	<b>P</b>
2. Grüne Blätter am Rand gelb bzw. häufig hellbraun (oft punktförmig), Blätter schlaff (Welketracht).	<b>K</b>
3. Pflanze hellgrün, Blätter von der Spitze her gelblich (Fehlen der Symbiosebakterien oder Mangel an Molybdän etc. verhindert Stickstoffbindung).	<b>N</b>
4. Blätter zwischen den Adern meist von der Blattmitte her gelblich, Rand häufig noch länger grün.	<b>Mg</b>
II. Symptome an <b>jüngeren</b> Blättern	
1. Gelbgrüne Blätter, oft mit braunen oder grauen Flecken und grünen Adern; Chlorose meist vom Rand her; Braunherzigkeit der Körner.	<b>Mn</b>
2. Gelbgrüne Blätter mit hellgelben Adern.	<b>S</b>
3. Gelbe bis gelbweiße Blätter mit grünen Adern.	<b>Fe</b>
4. Weißliche vertrocknete Blätter.	<b>Cu</b>
5. Gelbliche Blätter und meist abgestorbene Endknospe.	
a) mit braunen Flecken (meist auf sauren Böden),	<b>Ca</b>
b) mit oft rötlicher Verfärbung.	<b>B</b>
III. Sonstige Symptome (siehe bei Getreide unter III.)	



