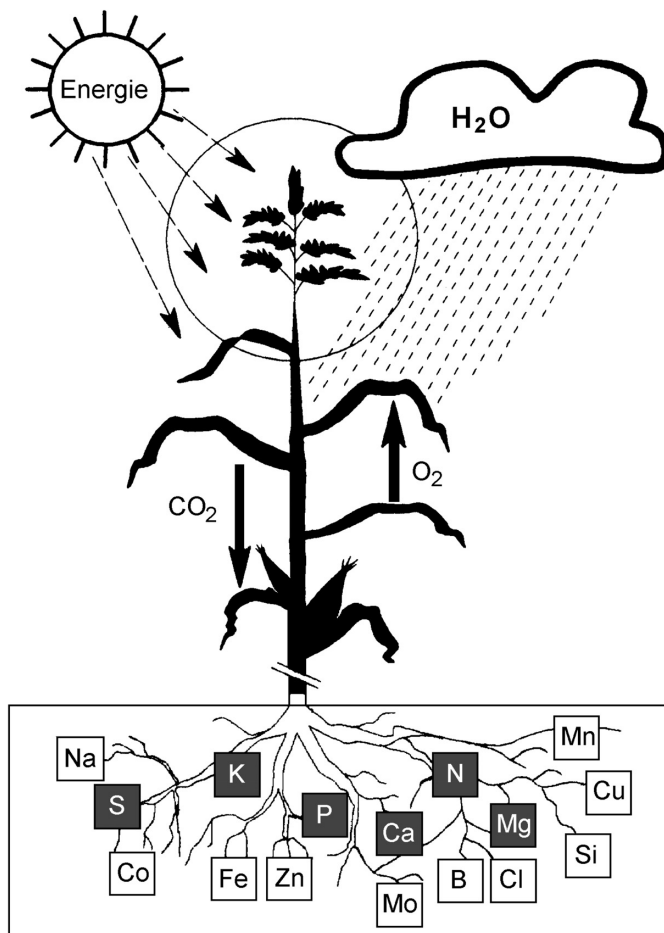


INFORMATIONEN ZUR DÜNGUNG

- Ausgabe Nordrhein-Westfalen -
7. überarbeitete Auflage



Mitglieder des LAD Nordrhein-Westfalen

Stand Februar 2009

Alzchem Trostberg GmbH Dr. Gerhard Heß	Im Sellerts 10 64395 Brensbach	Tel.: 06161 / 8419 Fax.: 06161 / 8425 Funktel.: 0170 / 4570258 e-mail: gerhard.hess@alzchem.com Internet: www.kalkstickstoff.de
Fertiva GmbH Jürgen Berwinkel	Im Dicke 59b 33334 Gütersloh	Tel.: 05241 / 9619661 Fax.: 05241 / 9619662 Funktel.: 0176 / 12348245 e-mail: juergen.berwinkel@fertiva.com Internet: www.fertiva.de
K + S KALI GmbH Reinhard Elfrich	Bonhoefferstraße 18 48351 Everswinkel	Tel.: 02582 / 9363 Fax.: 02582 / 9364 Funktel.: 0176 / 12348347 e-mail: reinhard.elfrich@kali-gmbh.com Internet: www.kali-gmbh.com
Rheinkalk KDI GmbH & Co. KG Dr. Martin Sauermann	Rosenweg 1 51789 Lindlar-Hartegasse	Tel.: 02266 / 2750 Fax.: 02266 / 7288 Funktel.: 0171 / 9937429 e-mail: martin.sauermann@rheinkalk.de Internet: www.rheinkalk-kdi.de
SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH Ludger Willeke	Dorfstraße 7 59192 Bergkamen	Tel.: 02389 / 781690 Fax.: 02389 / 781691 Funktel.: 0151 - 19568108 e-mail: ludger.willeke@skwp.de Internet: skwp.de
YARA GmbH & Co. KG Dr. Ulrich Ortseifen	Hanninghof 35 48249 Dülmen	Tel.: 02594 / 798123 Fax.: 02594 / 798455 Funktel.: 0170 / 9216043 e-mail: ulrich.ortseifen@yara.com Internet: www.yara.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungen und Umrechnungsfaktoren	III - IV
1. Einleitung	1
2. Begriffsbestimmungen	2
3. Bodenuntersuchung	4
4. Abhandlung der einzelnen Nährstoffe	9
4.1 Stickstoff (N)	9
4.1.1 Ermittlung der N-Nachlieferung des Bodens	9
4.1.2 Ermittlung des N-Bedarfs im Grünland	14
4.1.3 Düngebedarfsermittlung bei Dauerkulturen (Obst, Reben, Beerenobst)	14
4.1.4 Wirkung des Stickstoffs in organischen Düngern	15
4.1.5 Wirkungsweise mineralischer N-Formen	16
4.1.6 Kalkstickstoff	17
4.2 Phosphat (P_2O_5)	18
4.2.1 Phosphat im Boden	18
4.2.2 Phosphat in der Pflanze	19
4.2.3 Phosphaternährung und -düngung im Pflanzenbau	20
4.2.4 Wirkung der Phosphatdüngung auf die Qualität verschiedener Kulturen	22
4.2.5 Phosphatdüngemittel	23
4.2.6 Phosphat in organischen Düngern	24
4.3 Kali (K_2O)	25
4.3.1 Kali in der Pflanze	25
4.3.2 Kali im Boden	26
4.3.3 Düngebedarf	27
4.3.4 Düngeverfahren	28

	Seite
4.3.5 Kaliformen	29
4.4 Kalk (CaO)	30
4.4.1 Düngebedarf	31
4.4.2 Düngungsempfehlungen	31
4.4.3 pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit	34
4.4.4 Kalkformen und -wirkung	36
4.4.5 Kalkausbringung	37
4.5 Magnesium (Mg)	39
4.5.1 Magnesium in Boden und Pflanze	39
4.5.2 Magnesiumbedarf	39
4.5.3 Magnesiumformen	41
4.5.4 Empfehlungen zur Magnesiumdüngung	41
4.6 Schwefel (S)	43
4.6.1 Schwefel im Boden	43
4.6.2 Schwefel in der Pflanze	44
4.6.3 Schwefelformen	46
4.6.4 Schwefelbedarf	47
4.7 Natrium (Na)	48
4.7.1 Natrium im Pflanzenbau	48
4.7.2 Natrium in der Tierernährung	48
4.8 Spurennährstoffe	49
5. Düngeverordnung (DüV)	54
6. Anhang	57

Nachdruck nur nach schriftlicher Genehmigung durch den LAD Nordrhein-Westfalen. Kostenlose Bestellung der Broschüre bei allen LAD-Mitgliedern.

Gebräuchliche Abkürzungen

AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
ASS	Ammonsulfatsalpeter
AZ	Ackerzahl (Bodenpunkt)
BU	Bodenuntersuchung
CaO	Calciumoxid (= Branntkalk)
CaCO ₃	Calciumcarbonat (= kohlensauer Kalk)
CAL	Calcium-Acetat-Lactat
CaCl ₂	Calciumchlorid
m ³	Kubikmeter
dt/ha	Dezitonnen pro Hektar
DüV	Düngeverordnung
HST	Harnstoff
KAS	Kalkammonsalpeter
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
K bzw. K ₂ O	Kalium bzw. Kaliumoxid
LK	Landwirtschaftskammer
LUFA	Landw. Untersuchungs- u. Forschungsanstalt
Mg bzw. MgO	Magnesium bzw. Magnesiumoxid
mg	Milligramm
MJME	Megajoule metabolisierte Energie
ml	Milliliter
MND	Mehrnährstoffdünger
N	Stickstoff
MUNLV	Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Na	Natrium
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
N _{org}	organisch gebundener Stickstoff
N _{min}	mineralisch gebundener Stickstoff
P bzw. P ₂ O ₅	Phosphor bzw. Phosphat
S bzw. SO ₄	Schwefel bzw. Sulfat
SSA	Schwefelsaures Ammoniak (Ammoniumsulfat)
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VDLUFA	Verband Deutscher Landw. Untersuchungs- u. Forschungsanstalten

Umrechnungsfaktoren

Calcium $\text{Ca} \times 1,40 = \text{CaO}$ $\text{CaO} \times 1,78 = \text{CaCO}_3$ $\text{CaCO}_3 \times 0,56 = \text{CaO}$ $\text{CaO} \times 0,71 = \text{Ca}$	Magnesium $\text{Mg} \times 1,66 = \text{MgO}$ $\text{MgO} \times 2,09 = \text{MgCO}_3$ $\text{MgCO}_3 \times 0,48 = \text{MgO}$ $\text{MgO} \times 0,60 = \text{Mg}$ $\text{MgSO}_4 \times 0,34 = \text{MgO}$ $\text{MgO} \times 1,391 = \text{CaO}^{*(\text{NW})}$
Phosphor $\text{P} \times 2,29 = \text{P}_2\text{O}_5$ $\text{P}_2\text{O}_5 \times 0,44 = \text{P}$	Kalium $\text{K} \times 1,20 = \text{K}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O} \times 0,83 = \text{K}$ $\text{KCl} \times 0,63 = \text{K}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 0,54 = \text{K}_2\text{O}$
Schwefel $\text{S} \times 3,00 = \text{SO}_4$ $\text{SO}_4 \times 0,33 = \text{S}$	
Natrium $\text{Na} \times 2,54 = \text{NaCl}$ $\text{NaCl} \times 0,39 = \text{Na}$	Stickstoff $\text{N} \times 4,43 = \text{NO}_3$ $\text{NO}_3 \times 0,23 = \text{N}$ $\text{N} \times 1,29 = \text{NH}_4$ $\text{NH}_4 \times 0,78 = \text{N}$

*NW = Neutralisationswert

1. Einleitung

Richtig düngen erfordert im modernen Pflanzenbau Präzisionsarbeit. Es muss gewährleistet sein, dass die Pflanzen von der Saat bis zur Ernte die jeweils benötigten Nährstoffe in ausreichender Menge über Wurzel und Blatt aufnehmen können. Dabei müssen auch ökologische Aspekte berücksichtigt werden.

Der Gießener Agrikulturchemiker *Professor Konrad Mengel* hat das anschaulich definiert: „Für Hochleistungssorten gilt das *Prinzip des vollen Tisches*.“ Ihr enormes Potential kann der Praktiker in vollem Maße ausschöpfen, wenn er das Stickstoffangebot exakt steuert, den erforderlichen Vorrat an Grund- und Spurennährstoffen in der Bodenlösung bereitstellt und für eine optimale Kalkversorgung sorgt. Dabei lassen sich ökonomische und ökologische Gesichtspunkte durchaus in Einklang bringen.

Von zentraler Bedeutung ist in diesem Zusammenhang eine sachgerechte Düngplanung, um sowohl optimale Erträge zu erzielen als auch Nährstoffverluste in die Umwelt, wie z.B. Nitrateinträge in das Grundwasser, zu vermeiden.

Der Landesarbeitskreis Nordrhein-Westfalen will mit dieser Broschüre allen mit Düngemitteln und Düngung befassten Personen kurz gefasst Auskunft zu wichtigen Fragen der Pflanzenernährung und Düngung geben. Im Tabellenanhang sind wesentliche Daten, die zur Erstellung einer Düngekalkulation benötigt werden, aufgeführt. Für weitergehende Fragen stehen die Mitglieder des LAD Nordrhein-Westfalen zur Verfügung. Die Anschriften können der Rückseite des Titelblattes entnommen werden.

Ihr LAD Nordrhein-Westfalen

2. Begriffsbestimmungen

Man unterscheidet folgende Begriffe:

Nährstoffbedarf ist die Nährstoffmenge, die zur Erzielung eines bestimmten Ertrages oder einer bestimmten Qualität notwendig ist. **Nährstoffentzug** entspricht einem Teil des Nährstoffbedarfs und ist die gesamte Menge an Nährstoffen, die im Ernteprodukt und in den Ernterückständen gefunden werden.

Nährstoffabfuhr ist die Nährstoffmenge, die über die Ernteprodukte das Feld verlässt. Ernterückstände sind darin nicht enthalten, wenn sie auf dem Feld verbleiben.

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. Aus diesem Grund kann der Düngebedarf bei Stickstoff, Kalium und Magnesium mehr oder weniger deutlich über dem Entzug liegen. Bei Phosphat, Kali und Magnesium ist bei der Bestimmung des Düngebedarfs die Gehaltsklasse C anzustreben bzw. 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 erforderlich ist, um den Bodennährstoffgehalt in der Gehaltsklasse C zu erhalten. Sie entspricht bei Phosphat in der Regel dem Nettoentzug, bei Kali und Magnesium müssen darüber hinaus Auswaschungsverluste ausgeglichen werden.

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 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, 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 im Standort (Boden, Witterung) oder in pflanzenspezifischen Eigenheiten. 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 kein besseres Instrument zur Düngebedarfsermittlung als die Bodenuntersuchung. Sie ist unverzichtbarer Bestandteil der Düngeplanung und stellt eine wichtige Orientierungshilfe für den Praktiker dar. Auch andere Methoden zur Düngebedarfsermittlung wie die Pflanzenanalyse und die Nährstoffbilanzierung weisen ihre Schwächen auf. 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.

Außerdem 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 können sogar innerhalb eines Schlages 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

Gehaltsklasse	Düngung
A = sehr niedrig	stark erhöhte Düngung
B = niedrig	erhöhte Düngung
C = anzustreben (optimal)	Erhaltungsdüngung
D = hoch	verminderte Düngung
E = sehr hoch	keine Düngung

Bodenuntersuchungs-Methoden

Die Bodenuntersuchung ist Basis für die Ermittlung des Düngebedarfs. Die wichtigsten langfristig erprobten Standardmethoden zur Bodenuntersuchung in Nordrhein-Westfalen sind in der folgenden *Tabelle 2* aufgeführt.

Tabelle 2: Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Gehaltes an pflanzenverfügbaren Nährstoffen und des pH-Wertes
(nach Methodenbuch VDLUFA)

Parameter	Untersuchungsmethode
Phosphor	CAL-Methode (Calcium-Acetat-Lactat)
Kalium	CAL-Methode
Magnesium	CaCl ₂ -Methode (Calciumchlorid)
pH-Wert	CaCl ₂ -Methode
Bor	} CAT-Methode (Calciumchlorid + DTPA)
Kupfer	
Mangan	
Zink	

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

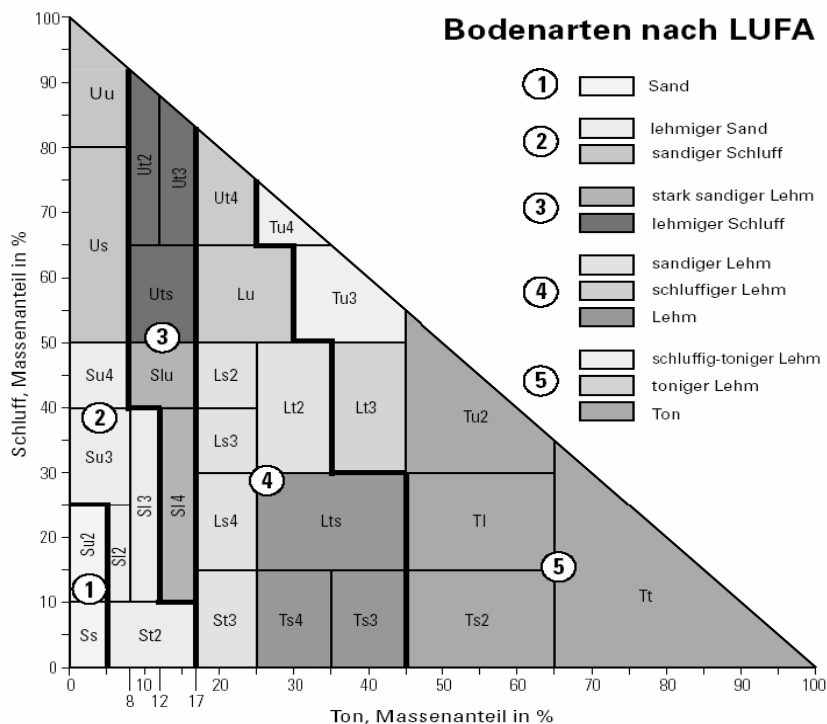
Die Nährstoffgehalte für Mineralböden werden in mg/100 g lufttrockenem Feinboden (< 2 mm) angegeben. Lediglich auf Moorböden werden die Nährstoffe auf das Bodenvolumen bezogen (mg/100 ml), weshalb hier die ermittelten Nährstoffgehalte je nach Humusanteil/Raumgewicht zur richtigen Interpretation mindestens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

Die Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse von Mineralböden unterstellt ein Krumengewicht von 4,2 Millionen kg/ha (Raumgewicht 1,4 g/cm³, 30 cm Krumentiefe, Steinfreiheit). Flachgründige Böden oder Böden mit hohem Steinanteil sollten wegen des eingeschränkten Wurzelraumes bei gleicher Ertragserwartung etwa um 5-10 mg höhere Nährstoffgehalte aufweisen.

Bodengruppen und Bodenarten

Als Grundlage für die Einordnung der Nährstoffgehalte in Gehaltsklassen und der pH-Werte in pH-Stufen dienen in Abhängigkeit vom Tonanteil (Bodenteilchen kleiner als 0,002 mm) die Bodenarten. Durch die Bodengruppen bzw. Bodenarten geht der Standorteinfluss in die Bewertung der pH-Werte und in die Einstufung der Nährstoffuntersuchungsergebnisse in die Gehaltsklassen ein. Die folgende *Abbildung 1* stellt die Einteilung der Bodengruppen und Bodenarten dar.

Abbildung 1: Einteilung der Bodengruppen und Bodenarten



Ss Sand
 Si2 schwach lehmiger Sand
 Si3 lehmiger Sand
 Si4 stark lehmiger Sand
 Slu schluffig-lehmiger Sand
 St2 schwach toniger Sand
 St3 toniger Sand
 Su2 schwach schluffiger Sand
 Su3 schluffiger Sand
 Su4 stark schluffiger Sand

Uu Schluff
 Uls sandig-lehmiger Schluff
 Us sandiger Schluff
 Ut2 schwach toniger Schluff
 Ut3 toniger Schluff
 Ut4 stark toniger Schluff
 Ls2 schwach sandiger Lehm
 Ls3 sandiger Lehm
 Ls4 stark sandiger Lehm
 Lt2 schwach toniger Lehm
 Lt3 toniger Lehm

Lts sandig-toniger Lehm
 Lu schluffiger Lehm
 Tt Ton
 Tl lehmiger Ton
 Ts2 schwach sandiger Ton
 Ts3 sandiger Ton
 Ts4 stark sandiger Ton
 Tu2 schwach schluffiger Ton
 Tu3 schluffiger Ton
 Tu4 stark schluffiger Ton

Ist die Bodenart nach der „Bodenkundlichen Kartieranleitung“ nicht bekannt, so kann mit Hilfe der *Tabelle 3* die entsprechende LUFA-Bodenartengruppe auch aus der Reichsbodenschätzung vorgenommen werden.

Tabelle 3: Einteilung in Bodenarten-Gruppen nach LUFA, Kartieranleitung 5 und Reichsbodenschätzung (n. Landwirtschaftskammer NRW)

LUFA			Einteilung nach	
Code	Bezeichnung	Kürzel	Kartieranleitung Bodenkunde (Bodenkarte)	Reichsbo- den- schätzung
0 1	Sand flachgründig Sand	S	S, Su2	S
2	lehmiger Sand sandiger Schluff	IS sU	St2, Sl2, Sl3, Su3, Su4, Us, Uu	Sl, IS
3	stark sandiger Lehm lehmiger Schluff	ssL IU	Sl4, Slu, Uls, Ut2, Ut3	SL
4	sandiger Lehm schluffiger Lehm Lehm	sL uL L	St3, Ts4, Ls4, Lts, Lt2, Ls3, Ls2, Lu, Ut4, Ts3	L, sL
5	schluffig toniger Lehm toniger Lehm Ton	utL tL T	Tu3, Lt3, Tu2, Tl, Ts2, Tt, Tu4	LT, T

Bodenreaktion (pH-Wert)

Unter der Bodenreaktion versteht man die Konzentration der freien und austauschbaren Wasserstoff-Ionen (H^+). 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 $CaCl_2$ -Lösung verwendet.

4. Abhandlung der einzelnen Nährstoffe

4.1 Stickstoff (N)

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 eigene $N_{\min}$ -Werte bzw. die von den Landwirtschaftskammern veröffentlichten Analysendaten zur Ermittlung des N-Gehaltes des Bodens genutzt werden. Dabei besitzen die Ergebnisse der eigenen Proben grundsätzlich die höchste Aussagekraft.

Tabelle 4: Im Mittel anrechenbare $N_{\min}$ -Werte in Abhängigkeit von der Bodengüte und der Kultur (n. Landwirtschaftskammer NRW)

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

Die anrechenbaren N-Mengen aus dem Bodenvorrat zu Vegetationsbeginn schwanken von Jahr zu Jahr, weshalb zur Düngebedarfsermittlung jährlich aktuelle $N_{\min}$ -Richtwerte von der Landwirtschaftskammer veröffentlicht werden. Der tatsächliche N-Düngebedarf ergibt sich aus dem N-Bedarf der Kulturen abzüglich des Bodenvorrates und standortspezifischer Korrekturen. Dieses als Sollwertschema bezeichnete Verfahren hat sich für alle wichtigen Ackerkulturen bewährt. Der Düngebedarf kann über organische oder mineralische Dünger gedeckt werden.

Tabelle 5: N-Düngungsempfehlung für Getreide und Raps

Kultur	Probenahme		N-Sollwert unkorrigiert	Empfohlene Düngergaben			
	Zeitpunkt	Tiefe (cm)		Anzahl Gaben	kg/ha	Startgabe Anmerkung	übrige Gaben
Winterweizen	Februar	0-90	200	3 Gaben	50 - 60	+ 20 kg/ha bei schwach entwickelten, - 20 kg/ha bei sehr üppigen Beständen (Gesamtgabe bleibt unverändert)	restliche Gaben verteilen auf eine Schossergabe (EC 30-32 und eine Spätgabe (EC 37-49)
Wintertriticale	Februar	0-90	190	3 Gaben	45 - 55		
Wintergerste	Februar	0-90	180	3 Gaben	40 - 50		
Winterroggen	Februar	0-90	180	3 Gaben	40 - 50		
Sommerweizen	vor Saat	0-90	190	3 Gaben	50 - 60		
Sommergerste	vor Saat	0-90	140	1 Gabe zur Saat, Gaben über 100 kg/ha teilen (30 kg/ha in EC 30-32)			
Braugerste	vor Saat	0-90	110	in der Regel eine Gabe zur Saat			
Hafer	vor Saat	0-90	100				
Winterraps	Februar	0,90	200	60 – 70 % zu Vegetationsbeginn, 30 – 40 % als Anschlussdüngung			

Korrekturwerte (Zu-/Abschlag in kg/ha N):

Getreide und Raps	Standorteigenschaften	
	• kalte untätige Böden (utL, tL, T)	+ 20
	• flachgründige Sandböden	+ 20
	Bewirtschaftungsverhältnisse	
	• Standorte ohne organisch Düngung, regelmäßige Strohabfuhr, hackfruchtbetonte Fruchtfolgen	+ 30
nur Raps	• langjährige organische Düngung, je GV/ha	- 10
	Vorfrucht	
	• Weizen nach Getreide (einschließlich Mais)	+ 20
	• Gerste, Roggen, Triticale nach Blattfrucht (außer Mais)	- 20
	Ertragsniveau	
	• Erträge über 40 dt/ha	+ 30
	• Erträge unter 25 dt/ha	- 30
	Bestandsentwicklung	
	• schlecht entwickelte Bestände	+ 20
	• sehr gut entwickelte Bestände	- 20

Beim Anbau von E-Weizen wird ein Zuschlag von 20 kg/ha N empfohlen.

Tabelle 6: N-Sollwerte und Korrekturwerte für Kartoffeln

Probenahme		N-Sollwert unkorrigiert	Bemerkungen				
Zeitpunkt	Tiefe (cm)						
vor Pflanz-	0-60	120 - 240	Der N-Bedarf von Kartoffeln richtet sich sehr stark nach Sorte und Verwertungsziel. Daher kann kein einheitlicher N-Sollwert genannt werden. Innerhalb der oben genannten Spanne gilt folgende Reihenfolge: (siehe unten)				
N-Bedarf	Sollwert	Sorten					
sehr hoch	240	Bintje, Fontane, Martima					
sehr hoch - hoch	220	Anosta, Fresco, Climax (Industrie), Felsina,					
hoch	200	Premiere (Industrie), Arcade, Victoria (Industrie),					
hoch - mittel	180	Premiere (Speise), Victoria (Speise),Friesländer, Velox, Hansa, Granola, und alle Frühkartoffeln und Folienkartoffeln					
mittel	160	Agrida, Belana, Cilena, Jelly, Marabel und alle mittelfrühen Sorten					
mittel - niedrig	140	Satina, Staffi, Angela					
niedrig	120	Nicola, Filea, Donella, Simone, Princess					
Sollwertkorrektur							
			Beispiel				
Sollwert nach Sorte z.B. Princess			120				
N-Nachlieferung des Standorts	sehr gering		- 20				
	niedrig						
	mittel						
	hoch						
N-Freisetzung aus der Gründüngung	ohne		- 15				
	hoch						
Korrigierter Sollwert			85				
N _{min} -Gehalt im Boden (0 - 60 cm)			- 20				
N-Düngebedarf			65				

Tabelle 7: N-Sollwerte und Korrekturfaktoren für Zuckerrüben und Futterrüben

Sollwert (unkorrigiert), 0 - 90 cm:	
Zuckerrüben	180 kg/ha N
Futterrüben	200 kg/ha N
Untersuchungstermin: März	
Sollwertkorrektur	Korrekturwert (kg/ha)
• nach Standort:	
humusarme, leichte Sandböden (S)	+ 20
kalte, umsetzungsträge Böden (utL, tL, T)	+ 20
• nach Viehbesatz	
je GV/ha	- 16
• nach Zwischenfrucht	
guter Aufwuchs	- 20
sehr guter Aufwuchs	- 40
Die Summe der Zu-/Abschläge sollte 40 kg/ha N nicht übersteigen!	
Beispiel: Zuckerrüben auf Lössboden (uL), 1,3 GV/ha	
Sollwert	180
+ Zuschlag für Standort	0
- Abschlag für Viehbesatz	21
- Abschlag für Zwischenfrucht	0
= korrigierter Sollwert	159
- N _{min} -Wert	40
= Düngbedarf	119

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

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

4.1.2 Ermittlung des N-Düngebedarfs im Grünland

Der N-Düngebedarf des Grünlandes ist stark abhängig vom Standort und der Nutzung. Der *Tabelle 8* kann die empfohlene Düngungshöhe und Gabenteilung entnommen werden.

Tabelle 8: Stickstoffdüngempfehlung Grünland zur Qualitätsfüttererzeugung (Ziel: hohe Energiekonzentrationen) mineralische und organische Düngung

Wachstumsbedingungen/ Ertragsvermögen	Brutto- gesamt- ertrag	unterstellte Leistung aus- Schnitt- und Weidenut- zung je ha			Düngeempfehlung in kg N/ha					
	dt/ha TM	Schnitt dt TM	Weide		Nutzung					Summe
			kg Milch	kg Tier- körper	1.	2.	3.	4.	5.	
niedrig (Extensivie- rung)										
Stand- u. Umtriebsweide	60	0	5500	600	30	30				60
1 Schnitt + Nachweide	65	20	4250	450	70	20	20			110
2 Schnitte + Nachweide	70	45	2250	250	70	70	20	20		180
3 Schnitte + Nachweide	75	65	1000	100	80	70	60	20		230
4 Schnitte	80	80	0	0	80	70	60	50		260
mittel										
Stand- u. Umtriebsweide	75	0	7000	750	30	30				60
1 Schnitt + Nachweide	80	25	5250	550	80	20	20			120
2 Schnitte + Nachweide	90	55	3250	350	90	70	20	20		200
3 Schnitte + Nachweide	95	80	1500	150	90	70	60	20		240
4 Schnitte	100	100	0	0	90	80	70	60		300
hoch										
Stand- u. Umtriebsweide	90	0	8500	900	30	20	20			70
1 Schnitt + Nachweide	95	30	6000	650	80	30	20	20		150
2 Schnitte + Nachweide	105	65	3750	400	90	70	20	20		200
3 Schnitte + Nachweide	115	95	1750	200	90	80	70	20	20	280
4 Schnitte + Nachweide	120	115	500	50	100	80	70	60	20	330
5 Schnitte	130	130	0	0	100	80	80	60	60	380

4.1.3 Düngebedarfsermittlung bei Dauerkulturen (Obst, Reben, Beeren- obst)

Das bisher erläuterte Prinzip ist bei Dauerkulturen wie Obst, Reben usw. nur sehr schwer zu verwirklichen, weil 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 bei 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 auf Grund 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

Die Düngewirkung von organischen Düngern ist nach Düngerart, Anwendungszeitpunkt und in Abhängigkeit der Kultur sehr unterschiedlich. Jauche, Gülle und Gärsubstrate weisen hohe Anteile an Ammonium-N auf, die bei optimaler Terminierung zu 100 % düngewirksam werden. Die N-Verfügbarkeit von Geflügelkot, Mist und Kompost nimmt von ca. 50 % in dieser Reihenfolge bis ca. 5 % vom Gesamt-N-Gehalt ab.

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, Ammonium-N, Phosphat, Kali, Magnesium, bei Hühnergülle 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. Der Ammonium-N kann bei verlustarmer Ausbringung wie Mineraldünger-N bewertet werden. Liegen keine Analysewerte 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). 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. Die Wirkungsgeschwindigkeit von Amiddüngern (Harnstoff) ist gegenüber Ammoniumdüngern nur unwesentlich verzögert. Der Prozess der Umwandlung (Urolyse) von Harnstoff zu Ammonium benötigt lediglich einen Zeitraum von 1 bis 4 Tagen in Abhängigkeit von der Bodentemperatur.
- Schnell und mäßig schnell wirken Kombinationen der Nährstoffformen (z.B. Kalkammonsalpeter, Ammonium-Nitrat-Harnstoff-Lösung, ASS).
- Langsamer und nachhaltig wirkend ist Kalkstickstoff, da dieser über mehrere Zwischenstufen zu Nitrat umgesetzt wird.
- Stabilisierte N-Dünger: Die Nitratbereitstellung aus ammonium- bzw. amidhaltigen Düngern kann durch den Zusatz von Nitrifikationshemmern verlangsamt werden. Nach Düngemittelgesetz sind verschiedene Nitrifikationshemmer zugelassen.

- Sehr langsam und nachhaltig wirken neu entwickelte Handelsdünger. Stickstoff liegt in diesen Produkten in besonderer organischer Bindung vor, oder er 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 physikalischen Eigenschaften der Düngemittel für die Pflanzenverträglichkeit von Bedeutung. Hat beispielsweise AHL eine hohe Oberflächenspannung (Markenware), so ist die Gefahr von Verätzungen bei Blattdüngung wesentlich geringer.

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 auf Grund 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 Schad-erreger 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 (P_2O_5)

4.2.1 Phosphat im Boden

Phosphor (P) 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. Die als labile Fraktionen bezeichneten Bodenphosphate beziehen sich auf locker gebundene Formen, wie die spezifische Sorption der Phosphatfraktion an Oxide und Hydroxide des Eisens und des Aluminiums oder an Tonminerale. Des weiteren gehören dazu Calcium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium- und Ammoniumphosphate in Abhängigkeit von der Kationenkonzentration der Bodenlösung. Zum labilen Phosphat sind auch leicht mineralisierbare organisch gebundene Phosphate zu rechnen.

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 Nachlieferung von gebundenem Phosphat in die Bodenlösung setzt einen ausreichenden Boden-Vorrat an labilem Phosphat im Boden voraus.

Die schnelle Bindung von löslichem „Düngephosphat“ an die feste Phase des Bodens ist die Ursache dafür, dass die Auswaschungsgefährdung von Phosphat deutlich niedriger ist als von 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 Stoffwechselvorgängen wie Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißstoffwechsel beteiligt.

Auf Grund 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 weit verzweigten Wurzelsystem (Getreide) ein größeres Bodenvolumen erschließen und damit ein besseres Phosphataneignungsvermögen besitzen als Pflanzenarten mit einem nur gering ausgebildeten Wurzelsystem (Hackfrüchte, Mais). In einem nicht verdichteten und ein optimales Gefüge aufweisenden Boden ist auch in der Regel eine ausreichende Phosphataufnahme gewährleistet.

Die Phosphatdüngung muss sich aus diesen Gründen an der Höhe des pflanzenverfügbaren Bodenvorrates und am Phosphataneignungsvermögen der angebauten Kulturart orientieren. Ziel der Phosphatdüngung, wie auch der Grunddüngung mit Kalium und Magnesium, ist die Einstellung eines für die Ernährung der Pflanzen ausreichenden, optimalen Nährstoffgehaltes des Bodens und der Ersatz der dem Boden durch die Ernten entzogenen Nährstoffe sowie die Erhaltung eines optimalen Bodenmilieus. Durch das vom VDLUFA entwickelte Konzept der Gehaltsklassen liegt ein Einstufungsverfahren zur Klassifizierung des im Boden ermittelten Nährstoffgehaltes vor.

Die Phosphatverfügbarkeit im Boden wird durch die Bodenuntersuchung festgestellt. Als optimal zur Ausschöpfung des Ertragspotentials ist dabei die Gehalts-

klasse C (Tabelle 9) 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 9: Gehaltsklassen und zugehörige Versorgungsstufen für Phosphat in Acker- und Grünland, CAL-Methode (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Gehaltsklasse	mg P₂O₅/100 g Boden	
	Bodenart für Acker und Grünland	
	S, IS, sU, ssL, IU, sL, uL, L	utL, tL, T, flachgründiger Sand
A (sehr niedrig)	bis 3	bis 5
B (niedrig)	4 – 9	6 – 13
C (anzustreben)	10 – 18	14 – 24
D (hoch)	19 – 32	25 – 38
E (sehr hoch)	ab 33	ab 39

Die Phosphatdüngung sollte 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, sodass 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	+
Bodenverdichtung	Wurzelwachstum	-
Bodentemperatur	Phosphatverfügbarkeit	+
	Wurzelwachstum	+
	physiolog. Aktivität d. Pflanze	+
pH-Wert	Phosphatverfügbarkeit	+
	(optimal pH 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 von Pflanzkartoffeln verbessert und die Lagereignung der Knollen positiv beeinflusst.

Zuckerrüben

Zuckerrüben reagieren besonders dankbar auf eine Phosphatdüngung. Dabei werden nicht nur der Rübenenertrag, 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 beeinflusst die Vitaminbildung in der Pflanze entscheidend. 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 (chemisch bzw. thermisch) kommt es darauf an, die Apatitstruktur des Ausgangsmaterials zu zerstören und das Phosphat in eine gut lösliche und damit pflanzenverfügbare Form zu überführen. Phosphat in vollaufgeschlossener Form ist z.B. enthalten im PK-Dünger RHEKAPHOS 20/30 oder im Thomaskali.

Superphosphat, Triple-Superphosphat

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.

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, wie PK RHEKAPHOS 12/24 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 weicherdige Rohphosphate und diese auch nur nach feinsten Vermahlung, z.B. patent PK. Sie sind in erster Linie geeignet für saure Böden (unter pH 5,5) und für Moorböden.

4.2.6 Phosphat in organischen Düngern

Die Rücklieferung über Wirtschaftsdünger ist in viehhaltenden Betrieben erheblich und muss bei der Düngeplanung natürlich berücksichtigt werden. Allerdings schwanken die Gehalte je nach Besatzstärke, Tierart und Fütterung beachtlich. 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 (K_2O)

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, Obst), geringere Empfindlichkeit bei Spätfrösten (Hackfrüchte, Forstkulturen).

- Festigung der Zellwände

Kalium hilft der Pflanze, Kohlenhydrate und damit Stützgewebe zu produzieren, dadurch wird „schwammiges Gewebe“ vermieden: → Gute Standfestigkeit beim Getreide, verbesserte Schalenfestigkeit bei Kartoffeln.

- Erhöhung der Krankheitsresistenz

Gut mit Kali ernährte Pflanzen sind auf Grund verbesserter Eiweißsynthese und geringer Gehalte an löslichen N-Verbindungen weniger anfällig für den Befall mit pilzlichen Krankheitserregern und Blattläusen: → Weniger Stängelfäule 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 freigeben.
- 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 kalifizierender Tonminerale
- 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, Körnererbsen, Feldgemüse und Mais.

Tabelle 10: Gehaltsklassen und zugehörige Versorgungsstufen für Kali (K_2O) in Acker- und Grünland, CAL-Methode (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Gehaltsklasse	mg K_2O/100 g Boden		
	Bodenart für Acker und Grünland		
	S	ls, sU, ssL, IU, sL, uL, L	utL, tL, T
A (sehr niedrig)	bis 2	bis 3	bis 5
B (niedrig)	3 – 5	4 – 9	6 – 13
C (anzustreben)	6 – 12	10 – 18	14 – 24
D (hoch)	13 – 19	19 – 32	25 – 38
E (sehr hoch)	ab 20	ab 33	ab 39

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 Entzugswerte 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 flächenbezogener Vergleich von Nährstoffzufuhr und –abfuhr vorgeschrieben. Das Ergebnis z.B. in Form einer 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 und Kali-Verluste durch Festlegung berücksichtigt werden. Zusätzlich sind beim Verbleib von Ernterückständen besonders auf leichten Böden die hohen Kali-Verluste, z.B. aus Maisstroh, zu kalkulieren.

4.3.4 Düngeverfahren

Auf mittleren und schweren Böden ab etwa 40 Bodenpunkten oder 10 % Tongehalt kann die Kalidüngung innerhalb der Fruchtfolge in einer Gabe zu der Kulturart mit den höchsten Kaliansprüchen verabreicht werden, z.B. zu Zuckerrüben, Kartoffeln, Feldgemüse, Raps oder Mais. Mit einer Kali-Düngung im Herbst können die positiven Effekte in Form von bodenschonender Überfahrt, Deckung des Pflanzenbedarfes im Herbst und verbesserter Winterfestigkeit der Kulturen genutzt werden. Auf leichteren Standorten ist eine jährliche Kali-Gabe im Frühjahr angeraten.

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 (allerdings auf tonreichen Böden oft erst zur Folgekultur wirksam).
- 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.
- Aufgrund antagonistischer Wirkungen zeigen sterile K-Dünger wie 60er vergleichsweise weniger deutliche Ertragseffekte als z.B. ein Korn – Kali mit Begleitnährstoffen.
- Im ökologischen Anbau sowie auf Extensivflächen darf je nach Richtlinie der Verbände oder des MUNLV Kali nur in sulfatischer Bindung appliziert werden. Auf Grünland ist Magnesia-Kainit zugelassen.

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

Sulfatische Kalidüngemittel eignen sich neben der Kalidüngung besonders auch zur Schwefelversorgung der Kulturen. Kalidüngemaßnahmen zu Vegetationsbeginn sollten bei chloridempfindlichen Kulturen immer in der sulfatischen Kaliform erfolgen. Nach Düngemittelverordnung (DüV) dürfen nur Produkte mit einem Chloridanteil von unter 3% als „chloridarm“ deklariert werden.

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, Steinobst, Buschbohne, Dicke Bohne, Gurke, Melone, Paprika, Zwiebel, Salat, Frühgemüse, Koniferen, Blumen, Zierpflanzen und alle Unterglaskulturen

4.4 Kalk (CaO)

Unerlässliche Voraussetzung für einen nachhaltig 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 erhält ideale Wachstumsbedingungen.

Viele gute Gründe sprechen für eine ausreichende Kalkversorgung des Bodens, denn Kalk

- erhält die optimale Bodenreaktion. Schädliche Bodensäuren sowie toxische Aluminium- und Schwermetallionen werden wirksam gebunden. Insbesondere der Festlegung toxischer Schwermetalle durch Kalk kommt in Zukunft - auch im Rahmen der Bodenschutzes - eine immer größere Bedeutung zu
- 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 eine verbesserte Bodenstruktur gute Wasserführung und Durchlüftung
- vermindert die Verkrustung und Verschlämmung durch eine stabile Krümelstruktur
- beugt durch die Stabilisierung der Bodenaggregate 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 *Abbildung 2*, Seite 36).

4.4.1 Kalkbedarf

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

Jährlich verlieren die Böden durch **Pflanzenentzug, Auswaschung und Säureneutralisation** (Säurequellen: atmosphärischer Säureeintrag, organische Säuren, physiologisch sauer wirkende Düngemittel, Wurzel- und Mikrobenatmung) abhängig von Bodenart, Bewirtschaftungsintensität und Witterung ca. 230 bis 530 kg CaO / ha auf Ackerflächen und ca. 170 - 330 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 führen zusätzlich der Ammonium-N-Anteil sowie die Nitrifikation zu einer Kalkzehrung. Gleiches gilt im Übrigen auch beim Einsatz kalkzehrender, d. h. physiologisch sauer wirkender Düngemittel wie z.B. SSA, ASS, Harnstoff, DAP. Diese spielen durch den stetigen Rückgang kalkhaltiger Dünger eine ständig wachsende Rolle und sind bei der Ermittlung des Kalkbedarfs unbedingt zu berücksichtigen.

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 ist die Bodenart, der Humusgehalt und Jahresniederschlag zu berücksichtigen. (siehe *Tabelle 12*). Sind zur Erreichung des anzustrebenden pH-Wertes sehr hohe Kalkgaben erforderlich, sollte zur Vermeidung von unerwünschten Reaktionsstößen die in *Tabelle 12* aufgeführten maximalen Kalkgaben pro Jahr in Abhängigkeit von der Bodenart nicht überschritten werden. Für Grünland gelten die in *Tabelle 13* aufgeführten Werte. Neben dem

Kalkbedarf aus Sicht des optimalen, standortbezogenen pH-Wertes sollten auch die unterschiedlichen Ansprüche der einzelnen Kulturen berücksichtigt werden. Während z.B. Zucker- und Futterrüben, Winterraps, Luzerne, Ackerbohnen u. a. besonders kalkbedürftig sind, reagieren beispielsweise Kartoffeln, Weizen und Roggen auf eine unzureichende Kalkversorgung weniger empfindlich. Daher sollte die regelmäßige Kalkversorgung in der Fruchtfolge entsprechend eingeordnet werden.

Vom VDLUFA wurde ein Vorschlag für bundesweit einheitliche Kalkdüngungsempfehlungen und eine neue Einteilung der pH-Wert-Klassen erarbeitet (siehe Tabelle 11). Die in den Tabellen 12 u. 13 enthaltenden Kalkempfehlungen für Acker- und Grünland sind von der Landwirtschaftskammer NRW an dieses Rahmenschema angepasst worden.

In den Kalktabellen sind bodenart- und humusgehaltsabhängige Ziel-pH-Werte angegeben, die annähernd eingehalten werden sollten. Wenn der pH-Wert im Optimalbereich liegt (Versorgungsstufe C), muss regelmäßig gekalkt werden, um die unvermeidbaren Verluste zu ersetzen (Erhaltungskalkung). Die hierzu im Mittel für drei Jahre benötigten Kalkmengen für Acker- und Grünland sind in den Tabellen 12 und 13 aufgeführt. Sind die pH-Werte bereits deutlicher abgesunken (Versorgungsstufe A oder B), müssen wesentlich höhere Kalkmengen zugeführt werden, um den idealen Zustand wieder herzustellen.

Tabelle 11: pH-Versorgungsstufen und die erforderliche Kalkdüngungsmaßnahmen (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Stufen	Auswirkungen	Maßnahmen
A	starke Beeinträchtigung der Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, deutliche Ertragseinbußen bei fast allen Kulturen	Kalkung hat unabhängig von der aktuellen Kultur Vorrang vor anderen Düngungsmaßnahmen
B	beeinträchtigte Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, Ertragseinbußen bei kalkanspruchsvollen Kulturen	möglichst baldige Kalkung in der Fruchtfolge
C	optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit	Erhaltungskalkung
D	Nährstoffverfügbarkeit kann unter bestimmten Bedingungen eingeschränkt sein, Ertragseinbußen	keine Kalkung
E	Eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit, Ertrags- und Qualitätseinbußen wahrscheinlich	keine Kalkung, Einsatz versauernder Dünger

Tabelle 12: pH-Werte der unterschiedlichen pH-Versorgungsstufen in Abhängigkeit von der Bodenart (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Versorgungsstufe	S	IS, SU	ssL, IU	sL, uL, L	utL, tL, T
Ackerland Humusgehalt 2%					
A	< 4,6	< 5,0	< 5,4	< 5,8	< 6,0
B	4,6 - 5,3	5,0 - 5,7	5,4 - 6,1	5,8 - 6,5	6,0 - 6,7
C	5,4 - 5,8	5,8 - 6,2	6,2 - 6,6	6,6 - 7,0	6,8 - 7,2
D	5,9 - 6,0	6,3 - 6,4	6,7 - 6,8	7,1 - 7,2	7,3 - 7,4
E	> 6,0	> 6,4	> 6,8	> 7,2	> 7,4
Grünland Humusgehalt 5 %					
A	< 4,1	< 4,5	< 4,8	< 5,0	< 5,2
B	4,1 - 4,7	4,5 - 5,1	4,8 - 5,4	5,0 - 5,6	5,2 - 5,8
C	4,8 - 5,2	5,2 - 5,6	5,5 - 5,9	5,7 - 6,1	5,9 - 6,3
D	5,3 - 5,6	5,7 - 6,0	6,0 - 6,3	6,2 - 6,5	6,4 - 6,7
E	> 5,6	> 6,0	> 6,3	> 6,5	> 6,7

Tabelle 13: Kalkempfehlungen für Ackerland (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Bodenart	anzustrebender pH-Wert und Erhaltungskalkung* (kg/ha CaO) in Abhängigkeit vom Humusgehalt					maximale Kalkgabe pro Jahr in kg/ha CaO
	bis 4 % humusarm bis humos	4,1 – 8 % stark humos	8,1 – 15 % sehr stark humos	15,1 – 30 % anmoorig	über 30 % Moor**	
S	5,6	5,2	4,8	4,3	4,1	1000
	600	500	400	200	0	
IS, sU	6,0	5,6	5,2	4,8		1500
	900	800	700	300		
ssL, IU	6,4	6,0	5,6	5,1		2000
	1100	900	700	400		
sL, uL, L	6,8	6,3	5,8	5,2		3000
	1300	1100	900	500		
utL, tL, T	7,0	6,5	6,0	5,4		4000
	1600	1500	1200	600		

Die empfohlenen Kalkmengen beziehen sich auf eine dreijährige Fruchtfolge mit mittlerem Ertragsniveau bei 850 mm Jahresniederschlag.

**Die Kalkempfehlungen für Moorstandorte bezieht sich auf Hochmoor, Niedermoorstandorte weisen zumeist von Natur aus pH-Werte von 6- 6,5 auf und bedürfen keiner Kalkung.

Bodenart: S = Sand, IS = lehmiger Sand, sU = sandiger Schluff, ssL = stark sandiger Lehm, IU = lehmiger Schluff, sL = sandiger Lehm, uL = schluffiger Lehm, L = Lehm, utL = schluffiger toniger Lehm, tL = toniger Lehm, T = Ton

Tabelle 14: Kalkdüngungsempfehlungen für Grünland (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Bodenart	anzustrebender pH-Wert und Erhaltungskalkung* (kg/ha CaO) in Abhängigkeit vom Humusgehalt				maximale Kalkgabe pro Jahr in kg/ha CaO
	bis 8 % humusarm bis stark humos	8,1 – 15 % sehr stark humos	15,1 – 30 % anmoorig	über 30 % Torf	
S	5,0 500	4,8 400	4,5 300	4,3 0	1000
IS, sU	5,4 600	5,2 500	5 300		1000
ssL, IU	5,7 700	5,4 600	5,1 400		1500
sL, uL, L	5,9 800	5,6 700	5,3 500		1500
utL, tL, T	6,1 900	5,8 800	5,5 600		2000

*Die empfohlenen Kalkmengen beziehen sich auf Grünland mittlerer Nutzungsintensität für 3 Jahre bei 850 mm Jahresniederschlag.

**Die Kalkempfehlung für Moorstandorte bezieht sich auf Hochmoor, Niedermoorstandorte weisen zumeist von Natur aus pH-Werte von 6- 6,5 auf und bedürfen keiner Kalkung.

Bodenart: S = Sand, IS = lehmiger Sand, sU = sandiger Schluff, ssL = stark sandiger Lehm, IU = lehmiger Schluff, sL = sandiger Lehm, uL = schluffiger Lehm, L = Lehm, utL = schluffiger toniger Lehm, tL = toniger Lehm, T = Ton

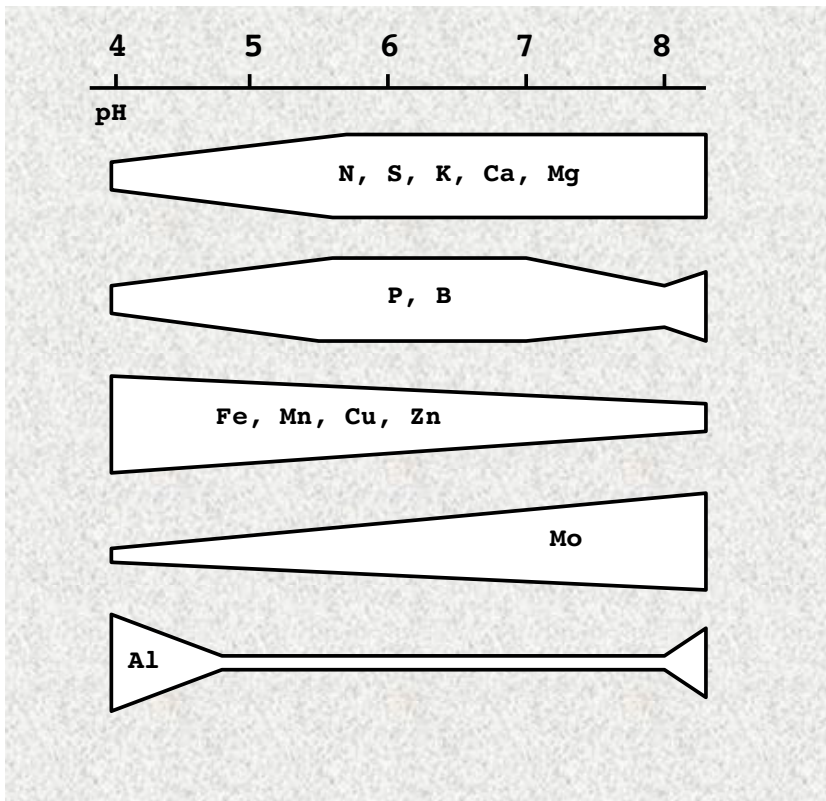
Die Kalkmengen beziehen sich bei Acker auf 30 cm, bei Grünland auf 10 cm Bodentiefe. Auf flachgründigen bzw. tiefer bearbeiteten Böden sind entsprechende Ab- oder Zuschläge erforderlich. Die angegebenen Höchstmengen sollten nicht überschritten werden.

4.4.3 pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit

Der pH-Wert ist die Maßzahl für die Konzentration an versauernd wirkenden H^+ -Ionen und damit ein Maßstab für den Säuregrad des Bodens. Er ist logarithmisch skaliert, d. h. fällt der pH-Wert um eine pH-Stufe, so steigt die Säurekonzentration um 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 2*). Die Hauptnährstoffe wie Stickstoff (N), Kalium (K), Phosphat (P), Schwefel (S) und Magnesium (Mg) werden mit steigendem pH-Wert besser verfügbar. Bei den Mikronährstoffen wie Mangan (Mn), Kupfer (Cu) oder Zink (Zn) verhält es sich entgegengesetzt. Sie werden ebenso wie die toxisch wirkenden Elemente Aluminium (Al), Cadmium (Cd) oder Blei (Pb) bei sinkenden pH-Werten stärker pflanzenverfügbar.

Molybdän (Mo) nimmt unter den Spurennährstoffen eine Sonderstellung ein, da hier die Verfügbarkeit mit steigenden pH-Werten zunimmt. Bei der Einstellung des richtigen pH-Wertes muss daher ein Kompromiss gewählt werden, um die ausreichende Verfügbarkeit aller Nährstoffe zu gewährleisten.

Abbildung 2: 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 unmittelbar mit Wasser zu Lauge und führen zu einem raschen pH-Wert-Anstieg.

CaCO₃, Calciumcarbonat bzw. **CaCO₃ / MgCO₃, Calciumcarbonat / Magnesiumcarbonat** (kohlensaurer Kalk, kohlensaurer Magnesiumkalk) lösen sich im säurehaltigen Bodenwasser. Bei der Berechnung der notwendigen Aufwandmengen ist zu beachten, dass MgO bzw. MgCO₃ eine höhere basische Wirksamkeit als CaO bzw. CaCO₃ 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 und Mischkalk schneller wirken als kohlensaure 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 kohlensaurer Kalk, kohlensaurer Magnesiumkalk oder kieselsaurer Kalk.

Zum Preisvergleich der angebotenen Kalksorten sollten die Preise auf die gleiche Basis, den Neutralisationswert umgerechnet werden anhand folgender Umrechnungsfaktoren:

$$\text{CaO} \times 1,785 = \text{CaCO}_3$$

$$\text{CaCO}_3 \times 0,56 = \text{CaO}$$

$$\text{MgO} \times 2,092 = \text{MgCO}_3$$

$$\text{MgCO}_3 \times 0,478 = \text{MgO}$$

$$\text{Basische Wirksamkeit} = \text{MgO} \times 1,391 = \text{CaO} \text{ --- oder } \text{MgCO}_3 \times 1,187 = \text{CaCO}_3^*$$

*Hierbei wird berücksichtigt, dass die tatsächliche basische Wirksamkeit von Magnesiumcarbonat und Magnesiumoxid auf Grund 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 angeboten, die eine arbeitssparende Grunddüngung im Zuge der Kalkung ermöglichen.

In den Tabellen 10a und 10b im Anhang finden Sie Informationen über die Zusammensetzung wichtiger Kalkdünger sowie über die gesetzlichen Vorgaben der Kalkdünger laut Düngemittelverordnung.

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. Die Vorsaats- oder Kopfkalkung mit rasch wirkenden Kalken ermöglicht es, oberflächennah auftretende pH-Wert-Absenkungen aufzufangen und den Pflanzen insbesondere in der empfindlichen Phase 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 Lohn-

unternehmen 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 Schnecke 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 günstigeren 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. granuliert Kalke zur Verfügung (Brantkalk körnig, Granulate aus kohlenisaurem 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.

4.5 Magnesium (Mg)

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, sodass 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. Magnesium ist in der Humanernährung in erheblichem Umfang als Mangelfaktor anzusehen. Eine Erhöhung der Mg-Gehalte, besonders in Blatt- und Kohlgemüsen, dient damit auch der menschlichen Gesundheit.

4.5.2 Magnesiumbedarf

Die Düngung mit Magnesium sollte auf leichteren Standorten bei Frühjahrsdüngung am spezifischen Bedarf der angebauten Frucht ausgerichtet werden. Bei der Erhaltungs- oder Vorausdüngung zur Deckung des Fruchtfolgebedarfs sind die Standortbedingungen hinsichtlich ihrer Magnesium-Verlagerungsneigung sowie die aktuelle Bodenversorgung besonders 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 und Konverterkalk feucht-körnig)
- 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, 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.
- Vom Magnesium aus magnesiumhaltigen Kalkdüngemitteln geht ebenfalls eine basische Wirkung aus, die beim MgO sogar um den Faktor 1,4 höher ist als bei CaO (siehe Seite 37). Folglich tritt in Böden mit bereits hohen Magnesiumgehalten die Wirkung des Magnesiums als Pflanzennährstoff in den Hintergrund, während die basische Wirkung des Magnesiums voll erhalten bleibt. Negative Auswirkungen bei der Düngung mit magnesiumhaltigen Kalken sind selbst auf Böden mit bereits extrem hohen Magnesiumgehalten – wie Standorte mit naturgemäß hohen Magnesiumgehalten – nicht zu erwarten. Magnesiumhaltige Kalkdüngemittel können deshalb auch hier im Rahmen von Kalkungsmaßnahmen erfolgreich eingesetzt werden.
- 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 Mangelstand-

orten 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 Lösung mit EPSO Top) schnell behoben werden. Magnesium in den Folgejahren sollte zusätzlich über Mg-haltige Mineraldünger abgesichert werden.

Tabelle 15 : Gehaltsklassen und zugehörige Versorgungsstufen für Magnesium in Acker- und Grünland, CaCl₂-Methode (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Gehaltsklasse	mg Mg/100 g Boden			
	Bodenart für:			
	Acker			Grünland
	S, IS, sU	ssL, IU, sL, uL, L	utL, tL, T	alle Böden
A (sehr niedrig)	bis 1	bis 2	bis 3	bis 3
B (niedrig)	2	3	4 – 5	4 - 7
C (anzustreben)	3 – 4	4 – 6	6 – 9	8 - 12
D (hoch)	5 – 7	7 – 10	10 – 14	13 – 18
E (sehr hoch)	ab 8	ab 11	ab 15	ab 19

4.6 Schwefel (S)

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 (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.

Die Schwefelaufnahme der Pflanzen erfolgt in der Sulfatform (SO_4). Andere Schwefelformen wie 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 12).

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 Stoffwechselenzyme 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 dadurch 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, z.B. Senf- und 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 16: S-Versorgung und Pflanzenqualität
(Wirkung der S-Düngung in Mangelsituationen)

Auswirkungen auf:	in Form von:
1. N-Stoffwechsel • Eiweißqualität allgemein • Backqualität (z.B. Weizen) • Brauqualität (z.B. Gerste) • Futter(Nahrungs)-qualität • Leguminosen • Futterqualität	Höhere biologische Wertigkeit (S-haltige Aminosäuren) Proteingehalt und Kleberqualität verbessert Enzymgehalt und -aktivität erhöht Verbesserte N₂-Fixierungsleistung mehr Proteinertrag mit höherer biol. Wertigkeit Verminderung des NO₃-Gehaltes
2. sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe • Gemüse, Gewürzpflanzen • Ölraps	höhere Senfölgelalte (Geschmack!) Qualitätsabfall durch Anstieg der Glucosinolatgehalte bei 00-Typen weniger wahrscheinlich

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 (K, N, P, Mg) in gewissen Grenzen möglich ist. Es ist also dafür zu sorgen, dass den Kulturen während der gesamten Bedarfsperiode ausreichende Schwefelmengen zur Verfügung stehen. Die Aufnahme von Schwefel verläuft zeitlich ähnlich wie bei Stickstoff. Die Schwefeldüngung sollte daher frühzeitig zur jeweiligen Kultur er-

folgen. 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.

Tabelle 17: Empfohlene S-Düngemenge und Düngezeitpunkt (Bodendüngung) (n. Landwirtschaftskammer NRW)

Fruchtart	Düngemenge in kg S/ha	Düngezeitpunkt
Getreide	10-20	Vegetationsbeginn bis 1-Knotenstadium
Winterraps	20-40	im Frühjahr
Intensives Grünland	10-25	Zum 1. Schnitt
Intensives Grünland	10-15	Zum 2. und 3. Schnitt
Kohl	30-50	zur Pflanzung
sonstiges Gemüse	20-40	zur Saat bzw. zur Pflanzung

4.6.3 Schwefelformen

Für die Düngung sind folgende Schwefelformen relevant:

- Ammoniumsulfate (mit und ohne Nitrat) ASS, SSA, Ureas, Piamon 33 S, Piasan 24 S, ENTEC 26, Alzon flüssig S
- Kaliumsulfate Kaliumsulfat „gran.“, Patentkali
- Magnesiumsulfate Kieserit, EPSO Top, Optimag^{Plus}
- Calciumsulfate YARA Sulfan
- Calciumsulfid Branntkalk mit Schwefel 80/2
kohlens. Magnesiumkalk mit Schwefel 80/2

Viele Mineraldünger enthalten Schwefel (s. Anhang, Tabelle 12).

Gülle enthält mit 0,1 – 0,5 kg/m³ relativ wenig Schwefel, der größtenteils organisch gebunden ist. Schwefel aus Gülle wie auch aus anderen organischen Quellen wird parallel zum Stickstoff erst durch Mineralisation pflanzenverfügbar. Nach bisherigen Erfahrungen sollten die anrechenbaren Mengen nicht überschätzt werden.

Der neue Schätzrahmen für die Notwendigkeit einer S-Düngung

Merkmal	Bewertung mit Punktzahlen	Zutreffende Punktzahl					
		SCHLAG	1	2	3	4	5
STANDORTEIGENSCHAFTEN							
Bodenart 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 Schotterboden¹⁾ 1 Lehmiger Boden²⁾ 3 Toniger Boden³⁾ 5	3					
Humusgehalt	arm < 2 % Humus 2 mittel 2 – 4 % Humus 3 reich > 4 % Humus 4	3					
Verfügbare Wurzelraum (Krumme + durchwurzelte Raum)	Flachgründig 2 Tiefgründig 4	4					
Strukturschäden (Verschlämmung, Bodenverdichtung, Pflugsohle)	Vorhanden 1 Stellenweise vorhanden 3 Nicht vorhanden 4	4					
N_{min}-Gehalt zu Vegetationsbeginn im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	Unterdurchschnittlich 1 Durchschnittlich 3 Überdurchschnittlich 5	3					
WITTERUNG Niederschläge (Oktober–März) im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	Überdurchschnittlich 1 Durchschnittlich 3 Unterdurchschnittlich 5	3					
BEWIRTSCHAFTUNG Schwefelzehrende Kulturen in der Fruchtfolge (Raps, Kohlarten, Leguminosen)	Anbau jedes 3. Jahr 2 Anbau jedes 4. Jahr 3 Anbau mind. jedes 5. Jahr 4	3					
In diesem Jahr angebaute Kultur	Raps, Kohl, Leguminosen 1 Andere Kulturen 3	1					
Schwefelmangel bereits aufgetreten (Ertragseinbußen, Blattanalyse, Mangelsymptome)	Ja 1 Nein oder unbekannt 3	3					
Ertragsniveau (dt/ha) Raps > 35 ¹⁾ 25–35 ²⁾ < 25 ³⁾ Getreide > 70 ¹⁾ 50–70 ²⁾ < 50 ³⁾	Hoch¹⁾ 2 Mittel²⁾ 3 Niedrig³⁾ 4	3					
Zwischenfruchtanbau im letzten Herbst/Winter	Nein 2 Ja 4	2					
DÜNGUNG Einsatz organischer Dünger aus Tierhaltung (keine Gründüngung)	0 GV/ha 1 ≤ 1,5 GV/ha 2 > 1,5 GV/ha 3	1					
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)	Nein 1 Ja 3	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					
		Summe der Punktzahlen					

4.7 Natrium (Na)

4.7.1 Natrium im Pflanzenbau

Natrium ist ein für verschiedene Pflanzen wichtiges Element und beeinflusst den Wasserhaushalt günstig, besonders bei ungenügender Kali-Versorgung. 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.

Mangelerscheinungen 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. Die Na-Gehalte lassen sich besonders in Weidelgras und Kleenarben leicht anheben. 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 in der Regel über Magnesia-Kainit 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 (vgl. *Abbildung 2*, S. 35). Bei steigendem pH-Wert sinkt die Verfügbarkeit von Mn, Fe, Zn und B, während die Verfügbarkeit von Mo zunimmt. Latenter oder vorübergehen-

der Mangel tritt vorrangig in Trocken- und Kälteperioden auf. Dieses Phänomen ist besonders bei Mangan zu beobachten.

Die gezielte Düngung mit Spurennährstoffen gewinnt zunehmend Bedeutung bei höheren Erträgen und damit auch höheren Entzügen. Zusätzlich muss beim Einsatz von hoch konzentrierten 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. Eine Düngung mit Yara Sulfan mit Selen kann die Grundversorgung mit Selen in den Tierbeständen absichern.

Zur Sicherung der Spurennährstoffversorgung erfolgt entweder eine Düngung mit Spurennährstoffdüngern, oder man bringt Mineraldünger mit Spurennährstoffen als Nebenbestandteilen aus, z.B. Thomaskali, 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.

Ausführliche Informationen zu Mikronährstoffen sind einer BAD-Broschüre zu entnehmen, die der LAD kostenfrei bereithält.

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. Bereist vor Winter kann Mangan zur Wintergerste auf entsprechenden Standorten in Mangel geraten.

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 und Ährensterilität (taube Rispen von Hafer). Zunehmend gerät auch Zink in Mangel, am Getreide sichtbar in Form von zwergigem Wuchs, aufgehellten jüngeren Blättern und mangelnder Bestockung.

Zuckerrüben

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

Raps

Bormangel führt hier zu Wachstumsstörungen am meristimatischen Gewebe, oft am Wurzelhals. Später treten defekte Kopf- und Schotenausbildung auf.

Kartoffeln

Vielfältige Qualitätskriterien werden durch Spurennährstoffe beeinflusst. So führt Bormangel zu Losschaligkeit und verstärkt die Eisenfleckigkeit. Mangan reduziert den Schorfbefall.

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. Kohlgemüse, Rettich, Sellerie, Tomaten, Ruccola und Möhren besitzen einen hohen Bedarf bzw. sind anfällig gegenüber B-Mangel.

Weinbau

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

Tabelle 18: Wichtige Spurennährstoffe und ihre Mangelursachen

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

* Auf leichten Böden eher als auf mittleren und schweren Böden

5. Düngeverordnung (DüV)

Die wesentliche Inhalte des Bundesratsbeschlusses zur Düngeverordnung vom Nov. 2005 sind nachfolgend aufgeführt. (Auszug aus „Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Ausgabe 2006; Landwirtschaftskammer NRW).

1. Vor der Aufbringung wesentlicher Nährstoffmengen sind die im Boden verfügbaren Nährstoffmengen vom Betrieb zu ermitteln; für Stickstoff (außer auf Dauergrünland) jährlich für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit durch Bodenuntersuchung oder Richt-/Schätzwerte; für Phosphat durch Bodenuntersuchung alle 6 Jahre für jeden Schlag ab 1 ha.

2. Dünger mit wesentlichen Gehalten an Stickstoff und Phosphat dürfen nicht aufgebracht werden, wenn der Boden **überschwemmt, wassergesättigt, gefroren** oder durchgängig höher als fünf Zentimeter mit **Schnee bedeckt** ist.

3. Beim Ausbringen von Düngern mit wesentlichen Gehalten an Stickstoff und Phosphat ist ein **direkter Eintrag** von Nährstoffen in oberirdische Gewässer durch Einhaltung eines **Abstands** von mindestens **drei Metern** zwischen dem Rand der durch die Arbeitsbreite bestimmten Ausbringungsfläche und der Böschungsoberkante des jeweiligen oberirdischen Gewässers zu vermeiden und es muss dafür gesorgt werden, dass kein Abschwemmen in oberirdische Gewässer erfolgt. Der Mindestabstand gilt nicht für Geräte, die eine genauere Platzierung erlauben.

4. Auf **stark geneigten Ackerflächen** (Flächen, die innerhalb eines Abstandes von 20 Metern landeinwärts zur Böschungsoberkante eines Gewässers eine Hangneigung von durchschnittlich mehr als 10 % aufweisen) darf die Ausbringung von Düngern mit wesentlichem Stickstoff- oder Phosphatgehalt innerhalb der ersten 10m zum Gewässer nur erfolgen, wenn sie direkt in den Boden eingebracht werden. Auf der verbleibenden Fläche (10-20 m) müssen die Dünger auf unbestelltem Ackerland sofort eingearbeitet werden. Auf bestellten Ackerflächen ist die Düngung

- a) bei Reienkulturen nur bei entwickelter Untersaat oder bei sofortiger Einarbeitung,
- b) bei sonstigen Kulturen bei hinreichender Bestandsentwicklung oder
- c) nach Anwendung von Mulch- oder Direktsaatverfahren zulässig.

5. Geräte zur Düngerausbringung müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Bestimmte Geräte sind ab 1. Januar 2010 verboten.

6. Organische oder organisch-mineralischen Düngemittel einschließlich Wirtschaftsdünger dürfen nur ausgebracht werden, wenn deren **Gehalte an Gesamtstickstoff und Phosphat**, im Fall von Gülle, Jauche, sonstigen flüssigen organischen Düngemitteln oder Geflügelkot zusätzlich an **Ammoniumstickstoff** bekannt sind (aus Deklarationen oder Untersuchungen bzw. Richtwerte).

7. Gülle, Jauche, sonstige flüssige organische oder organisch-mineralische Dünger mit wesentlichen Gehalten an verfügbarem Stickstoff oder Geflügelkot müssen auf unbestelltem Ackerland **unverzüglich eingearbeitet** werden.

8. Bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft ist im Betriebsdurchschnitt die N-Obergrenze von 170 kg/ha zu beachten. Es ist beabsichtigt, auf Antrag für Grünland, Feldgras und im Gemüsebau bis zu 230 kg/ha N zuzulassen. Dafür muss das Grünland mit mindestens 4 Schnitten (oder 3 Schnitten + Weide) genutzt werden, es darf ausschließlich verlustarme Ausbringtechnik eingesetzt werden und der N-Überhang im Nährstoffvergleich muss die vorgegebenen Grenzen einhalten. Der Antrag wäre alle 4 Jahre zu stellen. Ob eine solche Regelung kommt, war bei Redaktionsschluss noch nicht absehbar.

9. Sperrfrist für Gülle und Geflügelkot und sonst. Düngemittel mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff: auf Ackerland vom 1. November bis 31. Januar, auf Grünland vom 15. November bis 31. Januar.

10. Jährlich ist ein **Nährstoffvergleich** für Stickstoff und Phosphat zu erstellen. Dieser ist der

zuständigen Behörde auf Anforderung vorzulegen.

11. Auf Ackerland dürfen nach der Ernte der letzten Hauptfrucht Jauche, Gülle und weitere organische Dünger nur eingesetzt werden, wenn im gleichen Jahr noch eine Folgekultur (einschließlich Zwischenfrucht) angebaut wird oder als Ausgleichsdüngung zum nicht abgefahrenen Getreidestroh. Es dürfen höchstens **40 kg Ammonium-N oder 80 kg Gesamt-N** je ha ausgebracht werden.

12. Im Nährstoffvergleich darf im 3-Jahresmittel folgender **N-Überhang** nicht überschritten werden:

- . in den 2006, 2007 und 2008 begonnenen Düngejahren: **90 kg/ha** und Jahr,
- . in den 2007, 2008 und 2009 begonnenen Düngejahren: **80 kg/ha** und Jahr,
- . in den 2008, 2009 und 2010 begonnenen Düngejahren: **70 kg/ha** und Jahr
- . in den 2009, 2010 und 2011 und später begonnenen Düngejahren: **60 kg/ha** und Jahr.

13. Der **P-Überhang** darf im Mittel der letzten 6 Jahre nicht über 20 kg P_2O_5 je ha und Jahr liegen, es sein denn die Bodenuntersuchung weist im gewogenen Betriebsmittel weniger als 20 mg P_2O_5 /100 g Boden (CAL-Methode), 25 mg P_2O_5 /100 g Boden (DL- Methode) oder 3,6 mg P je 100 g Boden (EUF-Methode) aus.

14. Aufzuzeichnen sind die Nährstoffgehalte der Böden und Düngemittel einschließlich der verwendeten Verfahren, die Ausgangsdaten und die Ergebnisse der Nährstoffvergleiche. Die Aufzeichnungen müssen 7 Jahre aufbewahrt werden.

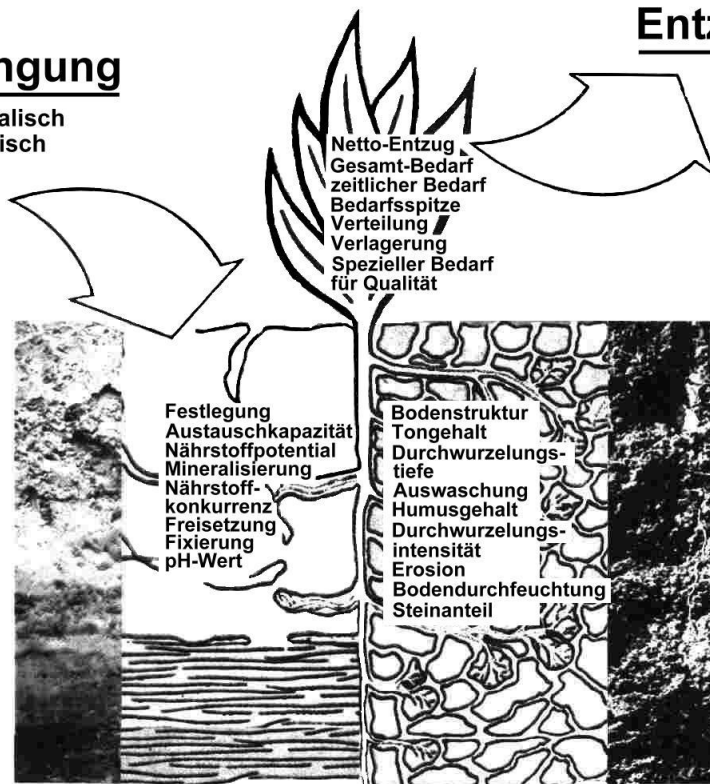
15. Verstöße gegen diese Vorschriften der Düngeverordnung können als **Ordnungswidrigkeiten** mit einer Verwarnung oder mit einem Bußgeld geahndet werden und ziehen ggf. Prämienkürzungen im Rahmen von **Cross Compliance** nach sich.

Abbildung 4:

Düngung

mineralisch
organisch

Entzug



6. Anhang

Tabelle 1: Nährstoffentzüge (kg/ha) von Ackerkulturen (Erntegut/Erntereste) bei verschiedener Ertragserwartung (n. Landwirtschaftskammer NRW)

	Ertrag	Erntegut (z.B. Korn, Knolle, Rübe)				Ertrag	Ernterest (z.B. Stroh, Kraut, Blatt)			
	dt/ha	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	dt/ha	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
Weizen	80	64	48	16	8	72	22	101	14	32
	100	80	60	20	10	80	24	113	16	36
Gerste	60	48	36	12	6	60	18	102	12	27
	80	64	48	16	8	72	22	123	14	33
Roggen	70	56	42	11	7	74	22	148	15	33
	90	72	54	14	9	85	26	171	17	38
Triticale	70	56	42	14	7	74	22	126	15	33
	90	72	54	18	9	85	26	145	17	38
Hafer	60	48	36	12	6	66	20	172	13	30
	80	64	48	16	8	80	24	210	16	36
Körner-mais	80	64	40	20	20	105	32	211	32	63
	100	80	50	25	25	129	39	257	39	77
CCM-Mais	120	62	55	22	24	131	28	183	28	55
	145	75	67	26	29	155	33	220	33	66
Silomais	400	70	192	46	69					
	550	97	264	63	95					
Acker-bohne	40	48	56	12	6	52	16	105	10	55
	50	60	70	15	8	60	18	122	12	64
Erbse	40	44	56	12	6	48	14	101	10	50
	50	55	70	15	7	55	17	117	11	58
Körner-raps	35	63	35	18	22	58	29	174	17	107
	45	81	45	23	28	70	35	211	21	129
Zucker-rübe	550	55	138	33	37	379	42	189	30	91
	650	65	163	39	44	394	43	197	32	95
Futter-rübe (Mittel-rübe)	800	64	380	36	33	344	24	144	34	86
	1.000	80	475	45	41	380	26	159	38	94
Kartoffel	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 Nährstoffmenge im Erntegut und Ernterest. Düngergaben in dieser Höhe sind - über die Fruchtfolge gesehen - aber nur dann erforderlich, wenn die Erntereste (z.B. Getreidestroh) abgefahren werden. Verbleiben die Erntereste jedoch auf dem Feld, werden diese Nährstoffrücklieferungen entsprechend des Ertragsniveaus bei der Düngeempfehlung nach DungPro (Landwirtschaftskammer/LUFA) der Folgefrucht gutgeschrieben. Wird von der ursprünglichen Planung abgewichen (z.B. bei Strohverkauf oder Änderung der Fruchtfolge), gibt diese Tabelle eine Orientierung zur Anrechnung der Erntereste.

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

Gemüseart	N	P₂O₅	K₂O	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
Sonderkulturen					
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	0,70	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: Mittlere Nährstoffgehalte in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern
(n. Landwirtschaftskammer NRW)

Dünger	Trocken- substanz %	Nährstoff					
		Gesamt- N	davon NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
	Gehalte in kg/t in Frischsubstanz (FS)						
Festmist							
Rindermist	23	5,5		3,1	9,2	1,4	
Schweinemist	22	7,0		6,7	7,2	2,2	
Pferdemist	26	4,5		3,7	8,0	2,1	
Putenmist	50	14,4	4,7	18,7	14,8	4,8	20,0
Hühnermist	48	26,9	7,1	17,2	16,1	4,5	13,8
Geflügelkot/-mist							
Hühnerfrischkot	28	17,1	3,0	10,9	8,3	4,0	26,0
Hühnertrockenkot	50	28,6	10,9	23,0	20,1	7,7	56,1
getrockneter Hühner kot	70	32,1	11,0	30,9	21,8	7,9	90,1
Gülle							
Milchvieh-/Rindergülle	6	3,2	1,8	1,4	4,0	0,7	
	8	3,9	2,1	1,7	4,9	0,9	
	10	4,8	2,4	2,0	5,5	1,0	
Bullengülle	7	3,7	2,2	1,8	4,0	0,8	
	10	4,5	2,5	2,1	5,2	1,1	
Kälbergülle	4	3,3	2,5	1,5	4,2	0,6	
Mastschweinegülle	3	4,2	3,3	1,7	3,0	0,7	
	5	5,6	4,2	2,8	3,8	1,1	
	7	6,6	4,7	3,9	4,3	1,4	
Sauengülle	2	2,8	2,2	1,1	2,0	0,4	
	4	3,9	2,9	2,3	2,5	0,8	
Ferkelgülle	5	4,6	3,3	2,4	3,0	1,0	
Mischgülle	4	3,7	2,6	1,7	3,2	0,7	
	7	4,6	2,9	2,3	4,6	1,0	
Hühnergülle	11	8,4	5,4	5,9	4,3	1,3	8,5
Jauche							
Rinderjauche	2	1,7	1,2	0,3	4,6	0,2	
Schweinejauche	1,5	2,8	2,5	0,4	3,3	0,2	
Sekundärrohstoffdü- nger							
Grün-/Biokompost (t)	50	4,9	0,2	2,6	4,5	3,6	17,4
Klärschlamm flüssig (m³)	5	2,7	1,1	2,5	0,3	0,4	3,9
Klärschlamm, stichfest (t)	34	9,5	1,2	15,8	0,8	2,4	55,5

Tabelle 4: Kalkwerte wichtiger Düngemittel

	Kalkverlust bzw. -gewinn in kg CaO je 100 kg N / P ₂ O ₅ / K ₂ O
Düngemittel	
<u>Stickstoffdünger (% N)</u>	
Schwefels. Ammoniak, SSA (21)	-299
Ammonsulfatsalpeter, ASS (26), ENTEC 26 (26)	-196
Ureas (38)	-134
Piasan 24 S (24), Alzon flüssig S (24)	-122
Harnstoff, Piagran (46), Alzon 47 (47)	-100
AHL, Piasan, Alzon flüssig (28)	-100
YARA Sulfan (24)	-87
Kalkammonsalpeter (27)	-55
Optimag 22-3-5 (22)	-59
Stickstoffmagnesia (22)	0
Kalksalpeter (15,5)	+80
Kalkstickstoff (21)	+170
<u>Phosphatdünger (% P₂O₅)</u>	
Triplesuperphosphat (46)	-6
P 35	+20
P 23	+56
Dolophos (15)	+400
<u>NP-Dünger (% N, % P₂O₅)</u>	
Monoammonphosphat (11/52)	-336
NP-Lösung (10/34)	-250
Diammonphosphat (18/46)	-210
NP-Dünger (20/20)	-90
NP-Dünger (26/14) 18.23	-54
<u>NPK-Dünger (% N, % P₂O₅, % K₂O)</u>	
6/12/18	-183
12/12/17	-108
15/15/15	-93
20/7/10+4S	-115
20/8/8	-96
13/13/21	-92
ENTEC avant (12+7+16(+4+5))	-66
PK-Dünger (% P ₂ O ₅ , % K ₂ O)	
PK 14+14+4 MgO	+35
PK 12+24	+42
Thomaskali 10+15+5 MgO+4S	+240
Thomaskali 7+21+5 MgO+4S	+285
Alle Kalium- und Magnesium-einzeldünger	0

Tabelle 5: Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger

Produkt	Ges. N	Nitrat- N	Ammo- nium- N	Amid- N	Andere N-Formen, weitere Nährstoffe
	%	%	%	%	
Kalksalpeter	14,5	14,5	-	-	19 % CaO
Kalkammonsalpeter	27	13,5	13,5	-	12 % CaO, teilw. Bis 4 % MgO (MgCO ₃)
Yara Sulfan	24	12	12	-	6 % S
Yara Optimag ^{Plus}	24	12	12	-	6 % S, 8 % MgO (MgSO ₄)
Stickstoffmagnesia	22	11	11	-	7 % MgO (MgCO ₃)
Ammonsulfatsalpeter	26	7,5	18,5	-	13 % S
ENTEC 26	26	7,5	18,5		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 47	47	-	-	44	3 % DCD -N
Piamon 33 S	33	-	10	23	12 % S
Perlka (Kalkstickstoff)	19,8	1,5	-	-	Cyanamid-N

Tabelle 6: Zusammensetzung wichtiger Phosphatdünger

Produkt	P ₂ O ₅ %	Löslichkeitsform, weitere Nährstoffe, (CaO-Gehalt = theor. basisch wirks. Kalk)
Superphosphat 18	18	ammoniumcitratlösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 93 % wasserlöslich, ca. 12 % S
Triple-Superphosphat 46	46	ammoniumcitratlösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 93 % wasserlöslich
Diammonphosphat 18+46	46	ammoniumcitratlösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 90 % wasserlöslich, N als NH ₄
P 23 (Novaphos)	23	mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 50 % wasserlöslich; 13 % CaO, 9 % S; teil-aufgeschlossenes Rohphosphat
P 35	35	mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 87 % wasserlösliches Phosphat
Dolophos 15	15	mineralsäurelösliches Phosphat, davon 60 % in 2 %iger Ameisensäure, 65 % CaCO ₃ und 15 % MgCO ₃
Thomaskali 10+20+4MgO+4S	20	ammoniumcitratlösliches Phosphat, 14% CaO, 4% MgO, 4% S
Thomaskali 12+18+4MgO+4S	18	ammoniumcitratlösliches Phosphat, 15% CaO, 4% MgO, 4% S

Tabelle 7: Zusammensetzung wichtiger Kalidünger

Produkt	K ₂ O %	MgO %	Na %	S %	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	30	10	-	17	K-Sulfat, Mg-Sulfat

Tabelle 8: Zusammensetzung wichtiger Magnesiumdünger und magnesiumhaltiger Dünger

Produkt	MgO %	S %	Magnesiumform, weitere Nährstoffe
Kieserit „fein“	27	22	Magnesiumsulfat-Monohydrat
Kieserit „gran.“	25	20	Magnesiumsulfat-Monohydrat
EPSO Top	16	13	Magnesiumsulfat * 7 H ₂ O
EPSO Microtop	15	12	Magnesiumsulfat 1 % B, 1 % Mn (wasserlöslich)
EPSO Combitop	13	13	Magnesiumsulfat 1 % Zn, 4 % Mn
Patentkali	10	17	Magnesiumsulfat, Kalium
Yara Optimag ^{Plus}	8	6	Magnesiumsulfat, Stickstoff
Stickstoffmagnesia/ Stimag	7	-	Magnesiumcarbonat
Kohlensaurer Magnesiumkalk	8 - 17	-	Magnesiumcarbonat
Magnesium- Mischkalk	15-25		Magnesiumcarbonat + Magnesiumoxid
Magnesium-Branntkalk	15 - 35	-	Magnesiumoxid
Konverterkalk feucht-körnig	5	-	Magnesiumsilikat
PK-Dünger mit Magnesium	3 - 6	2 - 6	Magnesiumcarbonat + Magnesiumsulfat
Thomaskali	4 - 6	4 – 5	Magnesiumsilikat + Magnesiumsulfat
MND z.B. 12x12x17x2	2		Magnesiumcarbonat und/ oder Magnesiumsulfat

Tabelle 9: Zusammensetzung wichtiger Kalkdünger:

Produkt	Kalkform	Kalkgehalt (CaO %)	weitere Nährstoffe/ Nebenbestandteile
Branntkalk	CaO	65 – 90	z. T. MgO
Magnesiumbranntkalk	CaO/MgO	85 – 90	15 - 35 % MgO
Mischkalk	CaO/CaCO ₃	55 – 75	z. T. MgO
Magnesiummischkalk	CaO /MgO CaCO ₃ /MgCO ₃	55 - 70	> 15 % MgO/ MgCO ₃
Kohlensaurer Kalk	CaCO ₃	47 -53	z. T. MgCO ₃
Kohlensaurer Magnesiumkalk	CaCO ₃ /MgCO ₃	45 – 50	15 - 40 % MgCO ₃
Kohlens. Magnesiumkalk mit Phosphat und/oder Kali	CaCO ₃ /MgCO ₃	30 – 44	MgCO ₃ > 3 % P ₂ O ₅ , > 3 % K ₂ O
Konverterkalk feucht-körnig	Ca- + Mg-Silikate	43	5 % MgO, ca. 12 % lösl. Kieselsäure (SiO ₂), Spurennährstoffe
Rückstandskalk	CaCO ₃ CaO Ca(OH) ₂	> 30	z. T. MgO, Spurennährstoffe

Tabelle 10a: Düngemittelverordnung vom 19.12.2008, Vorgaben für Kalkdünger

Typenbezeichnung	Mindestgehalte	Typenbestimmende Bestandteile Nährstoffformen	Angaben zur Nährstoffbewertung Weitere Erfordernisse	Wesentliche Zusammensetzung Art der Herstellung	Besondere Bestimmungen (Auszüge)
1	2	3	4	5	6
Kohlensaurer Kalk	75 % CaCO_3	Calciumcarbonat	Kalk bewertet als CaCO_3 Siebdurchgang: 97 % bei 3,15 mm 70 % bei 1,0 mm Reaktivität: mindestens 30 %, bei MgCO_3 > 25 % mindestens 10 % Toleranzen: 4,0 % CaCO_3	Calciumcarbonat, daneben auch Magnesiumcarbonat a) aus Kreide, Kalkstein und Dolomit natürlicher Lagerstätten; auch als Mischung oder b) aus Meeresalgen auch Zugabe von: a) Magnesiumcarbonat b) Azotobakter auf Torf c) Brennummasche von unbedeilten Pflanzen nach Anlage 2 Tabelle 7 Zeile 7.3.16	Bezeichnung als „leicht umsetzbar“, wenn Reaktivität > 80 % Bei Herstellung aus Meeresalgen: Mindestgehalt: 65 % CaCO_3 keine Mischung mit anderen kohlensuren Kalken Bei Herstellung: aus jungem Muschelkalk; Mindestgehalt : 60 % CaCO_3 keine Mischung mit anderen kohlensuren Kalken Bei der Zugabe von Brennummasche: Maximal 30 % Brennummasche Mindestgehalt: 70 % CaCO_3
Brantkalk	65 % CaO	Calciumoxid	Kalk bewertet als CaO Beim Inverkehrbringen nicht mehr als 9 % CaO als Calciumcarbonat Siebdurchgang: 97 % bei 6,3 mm Toleranzen: 4,0 % CaO	Calciumoxid, daneben auch Magnesiumoxid Aus Kalkstein, Dolomit oder Kreide natürlicher Lagerstätten durch Brennen	Bezeichnung als „Brantkalk körnig“ oder „Magnesiumbrantkalk körnig“, wenn zusätzlich folgende Anforderung erfüllt wird: Siebdurchgang: bis zu 5 % bei 0,4 mm
Mischkalk	55 % CaO	Calciumoxid	Kalk bewertet als CaO Max : 75 % des CaO als Carbonat Siebdurchgang : 97 % bei 4 mm 50 % bei 0,8 mm Toleranzen (CaO): Carbonatanteil < 65%; 3,0% Carbonatanteil > 65%; 4,0%	Calciumcarbonat, -hydroxid oder Calciumoxid, daneben auch Magnesiumcarbonat, -hydroxid oder Magnesiumoxid Aus Kalkstein, Dolomit oder Kreide natürlicher Lagerstätten durch teilweises Brennen	Bezeichnung nach Spalte 1 gilt auch für recarbonatisierten Brantkalk.

Tabelle 10b: Fortsetzung Düngemittelverordnung vom 19.12.2008, Vorgaben für Kalkdünger

Typenbezeichnung	Mindestgehalte	Typenbestimmende Bestandteile Nährstoffformen	Angaben zur Nährstoffbewertung Weitere Erfordernisse	Wesentliche Zusammensetzung Art der Herstellung	Besondere Bestimmungen (Auszüge)
1 Hüttenkalk	2 42 % CaO	3 Calciumoxid	4 Kalk bewertet als CaO Siebdurchgang: a) 97 % bei 1,0 mm 80 % bei 0,315 mm oder b) 97 % bei 3,15 mm Toleranzen: 3,0 % CaO	5 Silikate von Calcium und Magnesium aus Hochofenschlacke	6 Bei Siebdurchgang nach Spalte 4 Buchstabe b muss das Düngemittel mit einem Hinweis auf eine stark verlangsamte Wirkung gekennzeichnet sein.
Konverterkalk	40 % CaO	Calciumoxid	Kalk bewertet als CaO Siebdurchgang bei Herstellung nach Spalte 5 Buchstabe: a) 97 % bei 1,0 mm 80 % bei 0,315 mm b) 97 % bei 3,15 mm 40 % bei 0,315 mm Löslichkeit von Calcium und Magnesium: mindestens 30 % Toleranzen: 3,0 % CaO	Silikate von Calcium und Magnesium aus der Herstellung unlegierter Stähle a) Vermahlen von Konverterschlacke b) Absieben zerfallener Konverterschlacke und Pfannenschlacke	Ausgangsstoffe und Art der Herstellung nach Spalte 5 müssen angegeben sein.
Kalkdünger aus... (zulässige Herkunft sind im Düngemittelrecht festgelegt.)	30 % CaO in der Trockenmasse	Calciumoxid	Kalk bewertet als CaO Basisch wirksame Bestandteile bewertet als CaO Reaktivität mindestens 30 %, bei $MgCO_3 > 25\%$ 10 % Toleranzen (CaO): Carbonatanteil < 40 %: 2% Carbonatanteil > 40 %: 3%	Oxide, Hydroxide, Silikate oder Carbonate von Calcium und Magnesium Aus nur einem Stoff nach Festlegung laut Düngemittelverordnung	In der Typenbezeichnung ist der Klammerausdruck durch die Angabe der Herkunft zu ersetzen.

Tabelle 11: Zusammensetzung wichtiger schwefelhaltiger Dünger:

Produkt	S %	Sonstige Nährstoffe %
N-Einzeldünger		
Alzon flüssig S	3	24 N
Ammonsulfat	24	21 N
Ammonsulfatsalpeter, Entec 26	13	26 N
YARA Sulfan	6	24 N
Piamon 33 S	12	33 N
Piasan 24 S	3	24 N
P-Einzeldünger		
Superphosphat	12	18 P ₂ O ₅
P 23	9	23 P ₂ O ₅
K-Einzeldünger		
Korn-Kali	4	40 K ₂ O, 6 MgO
Patentkali	17	30 K ₂ O, 10 MgO
Kaliumsulfat	18	50 K ₂ O
Mg-Einzeldünger		
Kieserit	20	27 MgO
EPSO Top	13	16 MgO
Kalkdünger		
Granukal S	3	85 CaCO ₃
PK-Dünger		
Thomaskali 8+15+6+5S	5	8 P ₂ O ₅ , 15 K ₂ O, 6 MgO
Rhe-Ka-Phos 12+24 (+0+6)	6	12 P ₂ O ₅ , 24 K ₂ O
NPK-Dünger	2 – 8	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO

Tabelle 12: Zusammensetzung wichtiger natriumhaltiger Dünger:

Produkt	Na %	MgO %	sonstige Nährstoffe	Nährstoffform
Magnesia-Kainit	20	5	11 % K_2O , 4 % S	Rohsalz = Steinsalz K in Chloridform, Mg in Sulfatform
Kornkali 40/6	3	6	40 % K_2O , 4 % S	K in Chloridform Mg in Sulfatform
Thomaskali 11+11+6 MgO+5S	3	6	16 % CaO + MgO je 11 % P_2O_5 , K_2O	K in Chloridform

Tabelle 13: Zusammensetzung wichtiger Mehrnährstoffdünger

N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	MgO %	Bemerkungen
<u>1. P-(Mg)-Dünger</u>				
-	15-22	-	7	Mg-Novaphos
<u>2. PK-(Mg)-Dünger</u>				
-	7-25	7-30	0-12	Rhe-Ka-Phos, Thomaskali, PK-Dünger (Teilaufschluss), Sorten mit bis zu 18 % CaO; bis 9 % S; bis 6 % SiO ₂ PK-Dünger mit kohlens. Magnesiumkalk P ₂ O ₅ -Löslichkeiten siehe vergleichbare „Phosphatdünger“
<u>3. NK-Dünger</u>				
18-19	-	16-18	2	Vom N 50 Anteile NO ₃ -N
<u>4. NP-Dünger</u>				
20-26	14-20	-	-	Yara, Nitrophos; 5-11 % CaO vom N ca. 40 % NO ₃ -N; vom P ₂ O ₅ ca. 50-85 % wasserlöslich
10	34	-	-	Hydro Terra, flüssige NP-Dünger
25	15	-	-	ENTEC 25+15, 11 % NO ₃ -N, 13 % NH ₄ -N stabilisiert, P ₂ O ₅ ca. 80 % wasserlöslich
18	46	-	-	Diammonphosphat; N als NH ₄ ; P ₂ O ₅ zu 90 % wasserlöslich
12	54	-	-	Kemira (Monoammonphosphat); P ₂ O ₅ zu 90 % wasserlöslich
<u>5. NPK-(Mg)-Dünger</u>				
6-24	4-16	7-21	0-4	Yara, Nitrophoska; vom N 20-45 % als NO ₃ -N, sonst NH ₄ -N; vom P ₂ O ₅ 55-90 % wasserlöslich, im Übrigen citratlöslich; K ₂ O meist Chlorid; spezielle Formeln je zur Hälfte Chlorid und Sulfat oder nur Sulfat; bis 8 % S; bis 17 % CaO; teilweise mit Spurennährstoffen

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 14: Bestimmungsschlüssel für wichtige Mangelsymptome
(n. FINCK: Pflanzenernährung in Stichworten)

A. Getreide (Gräser)

I. Symptome an älteren Blättern	Mangel
1. Blätter dunkelgrün und aufrecht (Starrtracht), oft rötliche Verfärbungen auch am Stängel (häufig kombiniert mit anderen Symptomen des „Säurekomplexes“).	P
2. Grüne Blätter am Rand gelb bzw. häufig braun (Randchlorose bzw. Randnekrose), Blätter schlaff (Welketracht).	K
3. Pflanze hellgrün, Blätter meist von der Spitze her gleichmäßig gelblich (Spitzenchlorose), älteste Blätter braun.	N
4. Gelbliche Längsstreifen zwischen den Blattadern (Streifenchlorose), Reste des Blattgrüns perlschnurartig aufgereiht.	Mg
5. Ältere und mittlere Blätter gelbgrün mit braunen oder weißlichen Flecken (kaum auf sauren Böden).	Mn
Hafer: grau-braune streifenförmige Flecken in unterer Blatthälfte, Spitze bleibt noch lange grün (Dörrfleckenkrankheit).	Mn
Gerste: dunkelbraune streifenförmige Flecken vorwiegend in oberer Blatthälfte.	Mn
Roggen und Weizen: weiße oder graue streifenförmige Flecken vorwiegend in oberer Blatthälfte.	Mn
II. Symptome an jüngeren Blättern	
1. Gelbgrüne Blätter mit hellgelben Adern, meist ohne Nekrosen.	S
2. Gelbe bis gelbweiße Blätter mit grünen Adern (meist auf kalkhaltigen Böden oder Hochmoor).	Fe
3. Weißliche, fadenförmig verdrehte Blattspitzen (Weißspitzigkeit, Heidemoorkrankheit), vor allem bei Hafer und Gerste.	Cu
4. Gelbliche Blätter und meist abgestorbene Endknospe	
a) oft kombiniert mit sonstigen „Säureschäden“, z.B. braune Flecken.	Ca
b) auf nicht stark sauren Böden (sehr selten).	B

III. Sonstige Symptome

Da im Allgemeinen zuerst ein einzelner Nährstoff ins Minimum gerät, ist meist eine ziemlich sichere Diagnose auf Grund 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, Kohlartern (einschl. Raps)

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

*braun-schwarze bis schwarze Punkte entlang der Blattnervatur (Durchsicht)

C. Leguminosen

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

Tabelle 15: Entwicklungsstadien der Kulturpflanzen
(BBCH-Code)

Getreide

Code	Beschreibung	Code	Beschreibung
01-09	Keimung bis Auflaufen	51	Beginn Ährenschieben
10	1. Laubblatt aus Keimscheide ausgetreten	59	Ende Ährenschieben
11	1. Laubblatt entfaltet	61	Beginn Blüte
13	3. Laubblatt entfaltet	69	Ende Blüte
21	1. Bestockungstrieb sichtbar	71	Beginn Kornbildung
23	3. Bestockungstrieb sichtbar	75	Mitte Milchreife, Korninhalt milchig
30	Beginn Schossen	85	Teigreife, Korninhalt weich, trocken
31	1. Knoten	87	Gelbreife, Fingernageldruck bleibt
32	2. Knoten	89	Vollreife, Korn hart
37	Erscheinen Fahnenblatt	92	Totreife, mit Daumennagel nicht zu brechen
39	Fahnenblatt entfaltet, Blatthäutchen sichtbar	99	Erntegut
49	Grannenspitzen		

Raps

Code	Beschreibung	Code	Beschreibung
01-09	Keimung bis Auflaufen	60	Erste offene Blüten
10	Keimblätter voll entfaltet	63	30 % der Blüten am Haupttrieb offen
11	1. Laubblatt entfaltet	65	50 % der Blüten am Haupttrieb offen
13	3. Laubblatt entfaltet	67	Abgehende Blüte (meistens Blüten abgefallen)
14-19	4. bis 9. Laubblatt entfaltet	69	Ende Blüte
30	Beginn Längenwachstum	71	10 % der Schoten haben endgültige Größe
31	1. sichtbar gestrecktes Internodium	75	50 % der Schoten haben endgültige Größe
32	2. sichtbar gestrecktes Internodium	79	alle Schoten haben endgültige Größe
33	3. sichtbar gestrecktes Internodium	81	10 % der Schoten ausgereift
39	9 und mehr gestreckte Internodien	83	30 % der Schoten ausgereift
51	Hauptinfloreszenz von oben sichtbar	87	70 % der Schoten ausgereift
55	Einzelblüten der Hauptinfloreszenz sichtbar	89	Vollreife (alle Samen schwarz und hart)
57	Einzelblüten der sek. Infloreszenz sichtbar	97	Pflanze abgestorben
		99	Erntegut

Rüben

Code	Beschreibung
01-09	Keimung bis Auflaufen
10	Keimblätter waagrecht entfaltet
11	1. Laubblatt erbsengroß
12	2 Laubblätter entfaltet (1. Laubblattpaar)
14	4 Laubblätter entfaltet (2. Laubblattpaar)
19	9 und mehr Laubblätter entfaltet
31	Beginn Bestandesschluss, 10 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich
33	30 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich
39	Bestandesschluss
49	Rübenkörper mit erntefähiger Größe

Mais

Code	Bezeichnung	Code	Beschreibung
01-09	Keimung bis Auflaufen	61	Beginn Blüte
10	1. Laubblatt tritt aus Keimscheide	63	Pollenschüttung beginnt, Narbenfäden werden sichtbar
11	1. Laubblatt entfaltet	65	Narbenfäden vollständig gescho-ben
13	3. Laubblatt entfaltet	69	Ende Blüte
30	Beginn Längenwachstum	71	Beginn Kornbildung
31	1. Knoten wahrnehmbar	75	Mitte Milchreife, Korninhalt milchig, ca. 40 % TS im Korn
32	2. Knoten wahrnehmbar	79	Maximale Korngröße erreicht
33	3. Knoten wahrnehmbar	85	Teigreife, Korn gelblich, teigig, „Si-loreife“, ca. 55 % TS im Korn
34	4. Knoten wahrnehmbar	87	Physiologische Reife, am Korn-grund schwarzer Punkt, ca. 60 % TS
53	Spitze der Rispe sichtbar	89	Vollreife, Körner hart und glän-zend, ca. 65 % TS im Korn
55	Mitte Rispenschieben	97	Pflanze abgestorben
59	Ende Rispenschieben	99	Erntegut

Kartoffeln

Code	Beschreibung	Code	Beschreibung
01-09	Keimung bis Auflaufen	45	50 % der Knollenmasse erreicht
10	Erste Blätter spreizen sich ab	48	Max. Knollenmasse erreicht, Schale lässt sich mit dem Daumen abschieben
11	1. Blatt (>4 cm) am Hauptspross entfaltet	49	Knollen schalenfest, bei 95 % der Knollen lässt sich Schale nicht mehr abschieben
12	2. Blatt (>4 cm) am Hauptspross entfaltet	51-59	Erscheinen der Blütenanlagen
19	9 und mehr Blätter am Hauptspross entfaltet	60-69	Blüte
21	1. basaler Seitentrieb (>5 cm) gebildet	70-79	Fruchtentwicklung
22	2. basaler Seitentrieb (>5 cm) gebildet	81-89	Frucht- und Samenreife
23	3. basaler Seitentrieb (>5 cm) gebildet	91	Beginn der Blattvergilbung
31	Beginn Bestandesschluss (10 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich)	95	50 % der Blätter braun verfärbt
33	30 % der Pflanzen berühren sich	97	Blätter und Stängel abgestorben
40	Beginn Knollenanlage	99	Erntegut (Knollen)
43	30 % der Knollenmasse erreicht		

