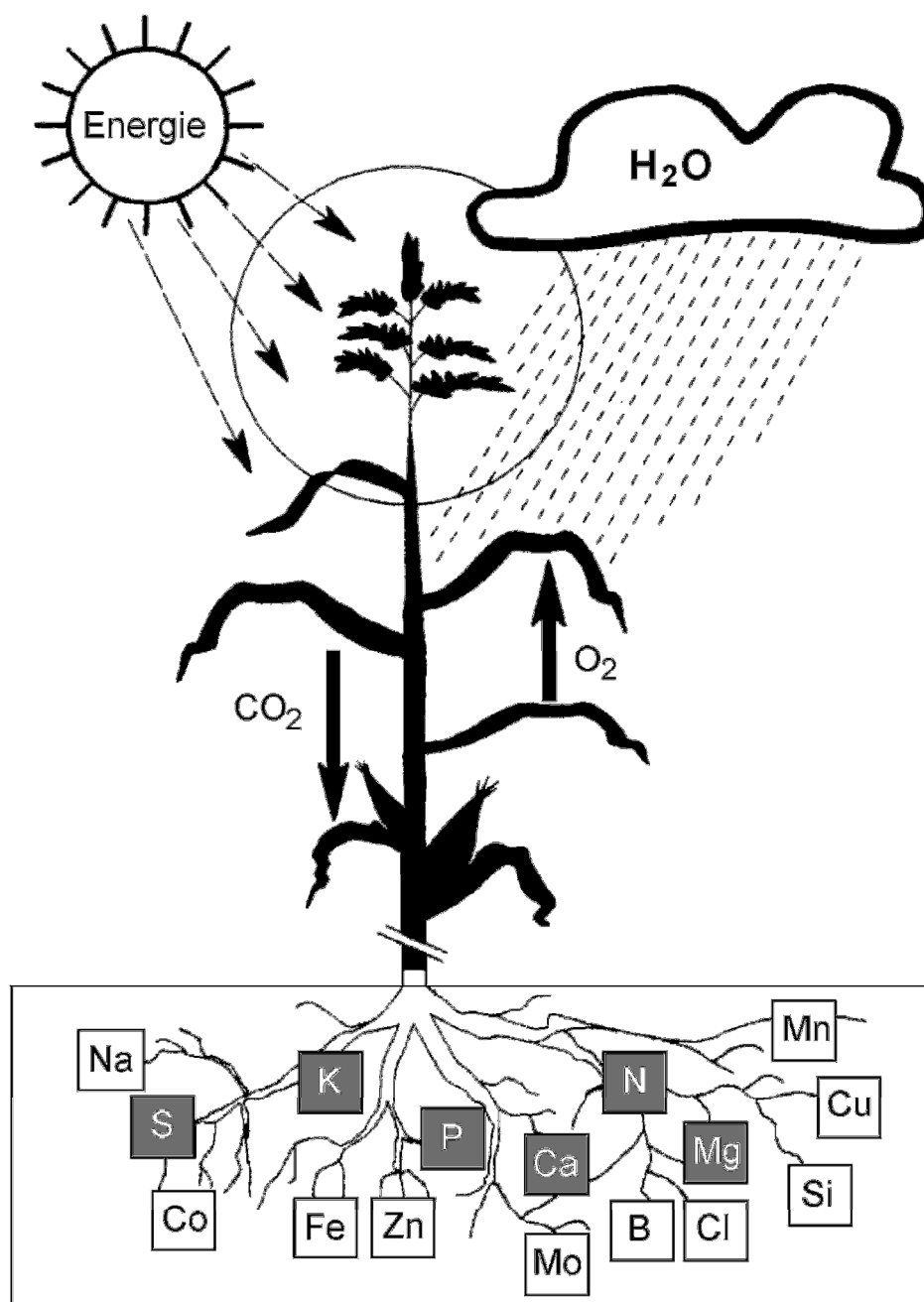


INFORMATIONEN ZUR DÜNGUNG

6. Auflage



Landesarbeitskreis Düngung
Niedersachsen / Sachsen-Anhalt



INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungen und Umrechnungsfaktoren

	Seite
1. Einleitung	8
2. Begriffsbestimmungen	9
3. Bodenuntersuchung	11
4. Abhandlung der einzelnen Nährstoffe	15
4.1 Stickstoff (N)	15
4.1.1 Ermittlung des N-Bedarfs für Ackerkulturen und Dünge- empfehlungen	15
4.1.1.1 Prinzip des $N_{\min}$ –Verfahrens	16
4.1.1.2 Berücksichtigung der N-Nachlieferung bei der N-Düngung	17
4.1.1.3 Pflanzenanalyse	18
4.1.1.4 Düngungsempfehlungen der Landwirtschaftskammern Niedersachsen	19
4.1.1.5 Düngungsempfehlungen der LUFA Sachsen-Anhalt	22
4.1.2 Ermittlung des N-Bedarfs für Grünland	23
4.1.3 Düngebedarfsermittlung bei Dauerkulturen (Obst und Reben)	24
4.1.4 Wirkung des Stickstoffs in organischen Düngern	25
4.1.5 Wirkungsweise mineralischer N-Formen	26
4.1.6 Kalkstickstoff	27
4.2 Phosphat (P_2O_5)	28
4.2.1 Phosphat im Boden	28
4.2.2 Phosphat in der Pflanze	29
4.2.3 Phosphaternährung und -düngung im Pflanzenbau	30
4.2.4 Wirkung der Phosphatdüngung auf die Qualität verschiedener Kulturen	34
4.2.5 Phosphatdüngemittel	35
4.2.6 Phosphat in organischen Düngern	36
4.3 Kali (K_2O)	37
4.3.1 Kali in der Pflanze	37
4.3.2 Kali im Boden	38

4.3.3	Düngebedarf	39
4.3.4	Düngeverfahren	43
4.3.5	Kaliformen	44
4.4	Kalk (CaO)	45
4.4.1	Düngebedarf	46
4.4.2	Düngungsempfehlungen	46
4.4.3	pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit	50
4.4.4	Kalkformen und –wirkung	51
4.4.5	Kalkausbringung	53
4.5	Magnesium (Mg)	54
4.5.1	Magnesium in Boden und Pflanze	54
4.5.2	Magnesiumbedarf	54
4.5.3	Magnesiumformen	58
4.5.4	Empfehlungen zur Magnesiumdüngung	58
4.6	Schwefel (S)	30
4.6.1	Schwefel im Boden	60
4.6.2	Schwefel in der Pflanze	61
4.6.3	Schwefelformen	63
4.6.4	Schwefelbedarfsbestimmung	63
4.6.5	S-Düngerempfehlungen	65
4.7	Natrium (Na)	66
4.7.1	Natrium im Pflanzenbau	66
4.7.2	Natrium in der Tierernährung	66
4.7.3	Düngeempfehlung	68
4.8	Spurennährstoffe	68
5.	Düngeverordnung (DüV)	73
6.	Anhang	77
	Tab. 1: Nährstoffgehalte im Haupt- und Nebenerntegut	77
	Tab. 2: Durchschnittliche Nährstoffentzüge bei Freilandgemüse	79
	Tab. 3: Mittlere N-, P-, K- und Mg-Gehalte organischer Dünger	80
	Tab. 4: Kalkwerte wichtiger Düngemittel	81

Tab. 5: Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger	82
Tab. 6: Zusammensetzung wichtiger Phosphatdünger	83
Tab. 7: Zusammensetzung wichtiger Kalidünger	83
Tab. 8: Zusammensetzung wichtiger Kalkdünger	84
Tab. 9: Zusammensetzung wichtiger Magnesiumdünger	85
Tab. 10: Zusammensetzung wichtiger schwefelhaltiger Dünger	85
Tab. 11: Zusammensetzung wichtiger natriumhaltiger Dünger	86
Tab. 12: Zusammensetzung wichtiger Mehrnährstoffdünger	87
Tab. 13: Schüttgewichte von Mineraldüngern sowie Hinweise zu ihrer Handhabung und Lagerung	88
Tab. 14: Bestimmungsschlüssel für wichtige Nährstoffmangelsymptome	89
Tab. 15: Entwicklungsstadien der Kulturpflanzen	92
Notizen	95

Nachdruck nur nach schriftlicher Genehmigung durch den LAD Niedersachsen / Sachsen-Anhalt.

6. Auflage, Mai 2013

Gebräuchliche Abkürzungen

AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
ASS	Ammonsulfatsalpeter
AZ	Ackerzahl (Bodenpunkte)
BU	Bodenuntersuchung
CaO	Calciumoxid (1. Einheit für den Kalkgehalt 2. = Branntkalk)
CaCO ₃	Calciumcarbonat (= kohlensaurer Kalk)
CAL	Calcium-Acetat-Lactat
CaCl ₂	Calciumchlorid
m ³	Kubikmeter
dt/ha	Dezitonnen pro Hektar
DüVO	Düngeverordnung
HST	Harnstoff
KAS	Kalkammonsalpeter
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
LK	Landwirtschaftskammer
K bzw. K ₂ O	Kalium bzw. Kaliumoxid
LUFA	Landw. Untersuchungs- u. Forschungsanstalt
Mg bzw. MgO	Magnesium bzw. Magnesiumoxid
mg	Milligramm
MND	Mehrnährstoffsünger
MJME	Megajoule metabolisierbare Energie
ml	Milliliter
N	Stickstoff
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
TKG	Tausendgewicht
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Umrechnungsfaktoren

Calcium Ca x 1,40 = CaO CaO x 1,78 = CaCO ₃ CaCO ₃ x 0,56 = CaO CaO x 0,71 = Ca	Magnesium Mg x 1,66 = MgO MgO x 2,09 = MgCO ₃ MgCO ₃ x 0,48 = MgO MgO x 0,60 = Mg MgSO₄ x 0,34 = MgO
Phosphor P x 2,29 = P ₂ O ₅ P ₂ O ₅ x 0,44 = P	Kalium K x 1,20 = K ₂ O K ₂ O x 0,83 = K KCl x 0,63 = K ₂ O K ₂ SO ₄ x 0,54 = K ₂ O

Schwefel $S \quad \times \quad 3,00 = SO_4$ $SO_4 \quad \times \quad 0,33 = S$	
Natrium $Na \quad \times \quad 2,54 = NaCl$ $NaCl \quad \times \quad 0,39 = Na$	Stickstoff $N \quad \times \quad 4,43 = NO_3$ $NO_3 \quad \times \quad 0,23 = N$ $N \quad \times \quad 1,29 = NH_4$ $NH_4 \quad \times \quad 0,78 = N$

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 Prof. Dr. 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 Düngeplanung, um sowohl optimale Erträge zu erzielen als auch Nährstoffverluste in die Umwelt, wie z.B. Nitrateinträge in das Grundwasser, zu vermeiden.

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

Ihr LAD Niedersachsen / Sachsen-Anhalt

2. Begriffsbestimmungen

Man unterscheidet folgende Begriffe:

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

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

Nettoentzug (=Nährstoffabfuhr) ist die Nährstoffmenge, die über die Ernteprodukte das Feld verlässt. Ernterückstände sind darin enthalten, sofern sie mit abgefahren werden.

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 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 an Grundnährstoffen, 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 wichtige Anhaltspunkte zur Düngebedarfsermittlung.

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

Nicht immer stehen die mit der Bodenuntersuchung festgestellten Nährstoffgehalte und die durch Düngung erzielten Mehrerträge in enger Beziehung zueinander. Die Ursachen hierfür liegen meistens im Standort (Boden, Witterung, Wasserverfügbarkeit) 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.

Werden Ertragsschwankungen auf den Flächen festgestellt, so ist die Ursache gezielt zu erforschen.

Verschiedene Methoden werden für die Untersuchung der Böden angeboten.

In Deutschland sind die Methoden des VDLUFA ausgetestet und für die Regionen angepasst. Die Einteilung des Nährstoffgehaltes in Gehaltsklassen erleichtert es dem Praktiker auf die Ergebnisse der Bodenuntersuchung zu reagieren.

Zum langfristigen Erhalt der Ertragsfähigkeit der Böden ist die Gehaltsklasse „C“ anzustreben.

Tabelle 1: Gehaltsklassen der Bodennährstoffe und allgemeine Düngeempfehlungen

Gehaltsklasse	Düngungsempfehlungen
A = sehr niedrig	stark erhöhte Düngung
B = niedrig	erhöhte Düngung
C = anzustreben	Erhaltungsdüngung
D = hoch	reduzierte Düngung
E = sehr hoch	keine Düngung
F = extrem hoch	nähere Prüfung, ob Schäden möglich, Maßnahmen gegen Überversorgung

Bodenuntersuchungs-Methoden

Die Bodenuntersuchung ermittelt den Düngebedarf mit Hilfe langjährig erprobter Standardmethoden. Die wichtigsten 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	DL-Methode (Doppel-Lactat)
Phosphor (calciumcarbonatreiche Böden)	CAL-Methode (Calcium-Acetat-Lactat)
Kalium	CAL-Methode bzw. DL-Methode
Magnesium	CaCl ₂ -Methode
pH-Wert	CaCl ₂ -Methode
Bor	 CAT-Methode
Kupfer	
Mangan	
Molybdän	
Zink	

Fehlerquellen bei der Bodenuntersuchung sind oftmals eine unsachgemäße Probenahme und Probenaufbereitung bzw. -aufbewahrung. Für eine einwandfreie Durchschnittsprobe sind auf Ackerflächen unter 3 ha an mindestens 20 gleichmäßig über die Fläche verteilten Stellen Einzeleinstiche zu tätigen. Nicht repräsentative Stellen wie ehemalige Mietenplätze sind wegen ihrer extremen Gehalte auszuschließen. Durch zu tiefe Einstiche gelangt nährstoffärmerer Unterboden in die Probe und verfälscht das Ergebnis.

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 oder mg/Liter). Die Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse von Mineralböden unterstellt eine Krumenmasse von 4,2 Millionen kg/ha (Lagerungsdichte $1,4 \text{ g/cm}^3$, 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 Niedersachsen die Bodenarten, in Abhängigkeit vom Tonanteil (Bodenteilchen $< 0,002$ mm). Durch die Bodengruppen bzw. Bodenarten findet der Standorteinfluss Berücksichtigung sowohl bei der Bewertung der pH-Werte als auch bei der Einstufung der Nährstoffuntersuchungsergebnisse in die Gehaltsklassen. Die folgende *Tabellen 3* stellt die Einteilung der Bodenarten dar.

Tabelle 3: Bodenarten-Einteilung, LUFA Nord-West, Juli 2003

*Bodenart und Humusgehalt werden vom Labor routinemäßig geschätzt.
Genauen Angaben sind nur durch zusätzliche Analysen möglich.*

% Humus	Zeichen / Name	% Ton	Böden < 50 % Schluff	Böden > 50 % Schluff
0 - 4	(h) humusarm bis humos	0 - 5	S Sand	U Schluff
4,1 - 8	h stark humos	5,1 - 12	l'S schwach lehmiger Sand	lU lehmiger Schluff
8,1 - 15	sh sehr stark humos	12,1 - 17	lIS stark lehmiger Sand	tU toniger Schluff
15,1 - 30	a anmoorig	17,1 - 25	sL sandiger Lehm	ttU stark toniger Schluff
> 30	H Moorboden	25,1 - 35	t'L schwach toniger Lehm	uuT stark schluffiger Ton
		35,1 - 45	tL toniger Lehm	uT schluffiger Ton
		>45	T Ton	T Ton

Bodenreaktion (pH-Wert)

Unter der Bodenreaktion versteht man die Konzentration der freien und austauschbaren Wasserstoff-Ionen (H^+), d.h. den Säuregrad. Die Messgröße dafür ist der pH-Wert. Die Messung des pH-Wertes erfolgt in einer Bodensuspension (Aufschlämmung) mit einer Messelektrode. Als Suspensionsmittel wird eine $CaCl_2$ -Lösung verwendet.

4. Abhandlung der einzelnen Nährstoffe

4.1 Stickstoff (N)

Stickstoff nimmt unter den für die Pflanzenernährung wichtigen Nährstoffen eine besondere Stellung ein, weil er im Boden zahlreichen Ab-, Um- und Aufbauprozessen unterliegt, die von vielen Faktoren (z. B. Standort, Witterung, Bewirtschaftung) beeinflusst werden. Deshalb kann der pflanzenverfügbare N-Gehalt des Bodens in weiten Grenzen schwanken.

Wichtige N-Formen im Boden und in der Pflanze sind Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$). NH_4 ist an Bodenteilchen (Ton, Humus) gebunden, damit wenig mobil und kann so kaum in tiefere Bodenschichten verlagert werden. NO_3 liegt gelöst im Bodenwasser vor, ist somit im Boden mobil.

Mit N lassen sich sehr direkt und kurzfristig Ertrag und Qualität einer Kultur wesentlich beeinflussen. Deshalb kommt einer bedarfsgerechten N-Versorgung der Pflanzen besondere Bedeutung zu.

4.1.1 Ermittlung des N-Bedarfs für Ackerkulturen und Düngungsempfehlungen

Ziel der N-Düngung ist es, die Differenz zwischen N-Bedarf der Pflanzen und N-Angebot aus dem Boden durch Zufuhr von N-haltigen Düngemitteln auszugleichen.

Ein Pflanzenbestand deckt seinen N-Bedarf im Wesentlichen aus

- dem zu Vegetationsbeginn in der Wurzelzone vorhandenen mineralischen Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$, auch N_{min} genannt),
- dem während der Vegetationsperiode durch Abbau organischer Stoffe (Humus) freiwerdenden Stickstoff (N-Nachlieferung),
- dem pflanzenverfügbaren N-Anteil aus Wirtschaftsdüngern bzw. Sekundärrohstoffdüngern und
- dem durch mineralische Düngemittel zugeführten Stickstoff

Leguminosen nutzen außerdem den durch Knöllchenbakterien gebundenen Luftstickstoff.

Für einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen N-Einsatz sind sowohl die absolute Höhe der N-Gaben als auch die sachgerechte Mengenverteilung während der Vegetation entscheidend. Einige dafür nutzbare Mess- und Kalkulationsverfahren werden nachstehend beschrieben.

4.1.1.1 Prinzip des $N_{\min}$ -Verfahrens

Im Frühjahr sollte der $N_{\min}$ -Vorrat des Bodens über eine Bodenanalyse ermittelt werden. Der ermittelte $N_{\min}$ -Wert wird bei allen Wintergetreidearten zur zweiten Haupt-N-Gabe berücksichtigt. D.h., dass der $N_{\min}$ -Wert vom Soll-Wert der Schossdüngung abgezogen wird. Die $N_{\min}$ -Werte können in Abhängigkeit von der Höhe der Winterniederschläge und der Bodenart von Jahr zu Jahr deutlich schwanken. Die Probenahmetiefe zur Ermittlung des $N_{\min}$ -Gehaltes sollte der Durchwurzelungstiefe entsprechen, maximal jedoch 90 cm betragen. Der Probenahmetermin liegt immer vor dem 1. Düngungstermin.

Bei der N-Bedarfsermittlung hat sich die $N_{\min}$ -Methode zur Messung des $N_{\min}$ -Vorrates bundesweit etabliert. Die Grundidee geht davon aus, dass jede Fruchtart ein bestimmtes N-Angebot für eine optimale Entwicklung erfordert. Diese als Sollwert bezeichnete N-Menge entspricht dem im Feldversuch ermittelten optimalen N-Angebot. Von diesem Sollwert ist der im Boden verfügbare $N_{\min}$ -Vorrat abzuziehen. Die sich ergebende Restmenge stellt den N-Bedarf zur 2.Gabe dar:

$$\text{N-Sollwert} \text{ minus } N_{\min} \text{ gleich } \text{N-Düngebedarf}$$

Sofern keine eigenen Ergebnisse von $N_{\min}$ -Bodenanalysen vorliegen, können die Analyseergebnisse vergleichbarer Standorte verwendet werden. Entsprechende, nach Region und Bewirtschaftung differenzierte Werte werden von der Officialberatung im Frühjahr regelmäßig in den landwirtschaftlichen Wochenblättern veröffentlicht. Solche Werte können zur Dokumentation im Rahmen der Düngeverordnung (DüV) verwendet werden.

In der Praxis hat sich das $N_{\min}$ -Verfahren bewährt. Zugleich zeigte sich aber die Notwendigkeit, das Ertragsniveau und regionale Standorteinflüsse stärker zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sind auf Basis der $N_{\min}$ -Methode die Düngungsempfehlungen angepasst worden.

4.1.1.2 Berücksichtigung der N-Nachlieferung bei der N-Düngung

Neben dem $N_{\min}$ -Vorrat im Frühjahr trägt der Boden im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode über die N-Nachlieferung zur N-Ernährung der Pflanzen bei. Daher hängt die Höhe der folgenden N-Teilgaben bei Getreide wesentlich von der Höhe der N-Nachlieferung ab. Bei hoher N-Nachlieferung weisen die Pflanzen zum Zeitpunkt der Düngung höhere N-Gehalte und eine intensivere Grünfärbung auf als bei niedriger Nachlieferung. Diese Effekte macht man sich bei verschiedenen Methoden zur Ermittlung der ergänzenden N-Düngung bei Getreide zu nutze. Die verschiedenen Methoden werden im Folgenden kurz beschrieben:

Anlage eines Düngefensters

Bei dieser Methode wird bei der 1. N-Gabe ein Teilstück des Schlages (mindestens 5x5 m) angedüngt. Ein Aufhellen des Bestandes auf diesem Teilstück zeigt beginnenden N-Mangel, d.h. die Notwendigkeit weiterer N-Düngemaßnahmen an. Damit kann wohl der Zeitpunkt der Düngung, nicht aber deren Höhe bestimmt werden. Trotzdem gibt das Düngefenster dem Landwirt einen recht guten Anhaltspunkt über das Nachlieferungsgeschehen, das in verschiedenen Jahren sehr unterschiedlich ausfallen kann.

Nitrat-Schnelltest

Bei den in Deutschland verfügbaren Nitrat-Schnelltests wird der Nitratgehalt im Zellsaft der Halmbasis gemessen. Hierzu wird zunächst Zellsaft gewonnen und das darin enthaltene Nitrat mit chemischen Reagenzien bzw. auf einem Teststäbchen angefärbt. Anschließend wird die von der Nitratkonzentration im Zellsaft abhängige Farbausprägung mit Hilfe einer Farbskala in einen Farbwert umgerechnet, dem eine bestimmte N-Düngermenge entspricht. Bei Einsatz des

Teststäbchens kann ein Reflektometer zur objektiven Ermittlung des Farbwertes verwendet werden.

Optische Methoden

Zu den optischen Methoden gehört der Yara-N-Tester. Dieses Gerät misst den Chlorophyllgehalt, d.h. die Intensität der Grünfärbung des jeweils jüngsten, voll entwickelten Blattes. Da der Chlorophyllgehalt den N-Ernährungszustand der Pflanzen widerspiegelt, kann aus den Messwerten auf die notwendige N-Düngung geschlossen werden. Andere Mangelsymptome (z.B. Schwefel- oder Magnesiummangel) müssen ausgeschlossen werden.

Eine Weiterentwicklung stellt die Sensortechnik dar. Dabei werden vom Schlepper aus berührungslos Unterschiede im Chlorophyllgehalt des Pflanzenbestandes gemessen und sofort computergestützt teilflächenspezifisch die zu streuende N-Düngermenge angepasst und ausgebracht. Für die erfolgreiche Nutzung dieser Methoden dürfen die Pflanzen nicht im Trockenstress sein. Eine breite Anwendung in der Praxis hat der YARA N-Sensor.

4.1.1.3 Pflanzenanalyse

Eine sichere Information über die aktuelle Nährstoffversorgung einer Kultur gibt die Pflanzenanalyse. Im Fall von Stickstoff wird der Gesamt-N-Gehalt bestimmt und mit definierten N-Gehalten (Grenzwertbereichen) der jeweiligen Kultur in bestimmten Entwicklungsstadien verglichen. Aus den Differenzen kann eine Düngungsempfehlung abgeleitet werden.

Einzelheiten bezüglich Entwicklungsstadium der Pflanze zum Probenentnahmetermin, zu beprobende Pflanzenteile usw. sind rechtzeitig mit der untersuchenden Institution (z. B. LUFA) abzustimmen.

4.1.1.4 Düngungsempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Die von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen empfohlenen Sollwerte und $N_{\min}$ -Probenahmetiefen sowie zusätzlich die mittleren Empfehlungen für die späteren Düngetermine können der *Tabelle 4a* und *4b* entnommen werden. Die Sollwerte werden je nach Vorliegen bestimmter Standorteigenschaften korrigiert, um den tatsächlichen N-Düngebedarf eines konkreten Schlages besser erfassen zu können. Zu den speziellen Standorteigenschaften gehören die Boden- und Bewirtschaftungsverhältnisse, die Vorfrüchte und Ernterückstände sowie besondere Bestandseigenschaften.

Tabelle 4a

Empfehlungen zur Stickstoffdüngung nach der N_{min} -Methode

Bei den folgenden Pflanzenarten müssen die auf der Umseite genannten Korrekturen nach Standort und Bewirtschaftung beachtet werden. (Stand: März 2010)

Pflanzenart	Probenahme- tiefe cm	Sollwert (incl. Spät- gabe) kg N/ha	Verteilung			Bemerkungen:	
			Vegetations- beginn	Schossen EC 30 – 32	Spätgabe EC 49		
Herbstaussaat							
Raps	0 – 90	200	130 - N _{min}	70	–	Bemerkungen: Die empfohlene Stickstoffdüngung ergibt sich aus dem angegebenen Sollwert in kg/ha abzüglich des N_{min}-Gehaltes im Boden. Der im Boden bei Vegetationsbeginn vorhandene und gemessene Stickstoff (N_{min}) wirkt wie Stickstoff aus der Mineraldüngung. Die Probenahmetiefe zur Ermittlung des N_{min}-Gehaltes sollte der Durchwurzelungstiefe des Bodens entsprechen, maximal jedoch 90 cm betragen. Der Probenahmeterrmin liegt immer vor dem 1. Düngungstermin. Wurde keine eigene Probe gezogen, können die in der Land und Forst veröffentlichten N_{min}-Gehalte zur Ermittlung des Düngerbedarfes herangezogen werden. Während der Vegetationszeit können die Anlage eines Düngefensters bzw. zusätzliche Messungen des Nitratgehaltes in der Pflanze (Nitrathek) oder des Chlorophyllgehaltes (Chlorophyllmeter, N-Tester) weitere Entscheidungshilfen bieten. N_{min}-Untersuchungen u.a.durch das Institut für Boden und Umwelt der LUFA Nord-West: - in Hameln: Finkenborner Weg 1A, 31787 Hameln Telefon: 05151 987140	
Gerste	0 – 90	190	50	90 - N _{min}	50		
Roggen	0 – 90	150	60	90 - N _{min}	–		
Triticale	0 – 90	190	50	90 - N _{min}	50		
Futterweizen	0 – 90	210	60	90 - N _{min}	60		
Backweizen	0 – 90	230	60	90 - N _{min}	80		
beim Einsatz von Gülle in Wintergetreide							
Gerste	0 – 90	190	120 - N _{min}	70	–		
Roggen	0 – 90	150	120 - N _{min}	30	–		
Triticale	0 – 90	190	120 - N _{min}	70	–		
Futterweizen	0 – 90	210	120 - N _{min}	50	40		
Backweizen	0 – 90	230	120 - N _{min}	70	40		
Frühjahrsaussaat							
Weizen	0 – 90	200	50	100 - N _{min}	50		
Braugerste	0 – 60	120	120 - N _{min}	–	–		
Futtergerste	0 – 60	140	140 - N _{min}	–	–		
Hafer	0 – 60	100	100 - N _{min}	–	–		
Hackfrüchte und Mais			zur Saat	v. d. Reihen- schließen	Bemerkungen		
Zuckerrüben	0 – 90	160	160 - N _{min}	–	Auf leichten Böden und in Trockenlagen zur Saat nicht über 80 kg N/ha düngen. Düngermenge ggf. teilen.		
Kartoffeln	0 – 60	160	100 - N _{min}	60	Aufteilung nur dann zu empfehlen, wenn genügend Feuchtigkeit im Boden gewährleistet ist.		
Mais	0 – 60	180	180 - N _{min}	–	Die N-Gabe der Unterfuß-Reihendüngung muss bei der Gesamtgabe berücksichtigt werden. Auf auswaschunggefährdeten Standorten ist eine Aufteilung der Düngermenge zu empfehlen.		

Korrekturen des Sollwertes/(kg N/ha):

- a) Standorteigenschaften für Marschböden:
 + 20 bis + 40 W-Getreide, W-Raps
 + 20 bis + 60 W-Weizen
- b) Bewirtschaftungsverhältnisse bei langjährig organischer Düngung*:
 - 20 alle Früchte außer Mais
 - 40 Mais
 *j. d. R bei P-Gehalten in der Krume > 13 mg P-CAL / 100 g Boden
- c) bei einzelnen Früchten:
bei Gründüngungsvorfrucht:
 (je nach Aufwuchsmenge und Abfrietermin):
 bis - 20
- Wintergetreide:**
 + 20 bis + 40
 • bei schlechter Bestandesentwicklung im Frühjahr/
 standortbedingter schlechter N-Nachlieferung - 20
- bei guter Bestandesentwicklung im Frühjahr/
 standortbedingter guter N-Nachlieferung - 20 bis - 40
- Abschlussdüngung bei niedriger Ertragsentwicklung und Trockenschäden entspr. reduzieren + 20
- bei **Stoppelweizen** als Zwischendüngung in der Schossphase
- Winterraps:**
 + 20 bis + 40
 • bei schlechter Bestandesentwicklung im Frühjahr/
 standortbedingter schlechter N-Nachlieferung - 20 bis - 40
- bei guter Bestandesentwicklung im Frühjahr/
 standortbedingter guter N-Nachlieferung

Dünge- empfehlungen

Stickstoff

- Zuckerrübe:**
 + 20 bis + 40
 • bei standortbedingter schlechter N-Nachlieferung - 20
 • bei standortbedingter guter N-Nachlieferung
- Kartoffel:**
 + 20
 • bei schlechter Bestandesentwicklung im Jugendstadium/
 standortbedingter schlechter N-Nachlieferung + 30
 • je 100 dt/ha Ertrag beim Anbau von Industriekartoffeln ab
 einem Ertragsniveau > 500 dt/ha¹⁾
 + 40
 • bei Frühkartoffeln - 20 bis - 40
 • bei standortbedingter guter N-Nachlieferung
 • bei Pflanzkartoffeln; bei Qualitätsspeisekartoffeln je nach
 Sorte
- Mais:**
 + 20
 • bei standortbedingter schlechter N-Nachlieferung - 20
 • bei standortbedingter guter N-Nachlieferung

Die Summe der Zu- und Abschläge unter c) sollte 40 kg N/ha nicht überschreiten (mit Ausnahme von 1)), bei Mais nicht 20 kg N/ha.

Herausgeber:

**Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Geschäftsbereich Landwirtschaft**

Dr. Gerhard Baumgärtel 0511 3665-1295

Dr. Matthias Benke 0441 801-420

Tim Eiler 0441 801-735

Stand: März 2010

Getreide Raps Hackfrüchte Mais

4.1.1.5 Düngungsempfehlungen der LUFA Sachsen-Anhalt

Die für die Region Sachsen-Anhalt verbindlichen Sollwerte sowie die im Hinblick auf Standort und Bewirtschaftung zu berücksichtigenden Zu- und Abschläge zum N-Sollwert sind den nachfolgenden *Tabellen 4c und 4d* zu entnehmen.

Tabelle 4c: N-Sollwerte ausgewählter Fruchtarten und erforderliches Mindest-N-Angebot in der Krume, (n. LUFA Sachsen-Anhalt, 1999)

Kultur	Ertragsbereich (dt/ha)	Sollwert (kg N/ha)	Mindest-N i. d. Krume** (kg N/ha)
Ackerbohnen	30 – 40	60	30
Hafer	45 – 65	100	60
Kartoffeln RG 1 - 2	300 – 350	160	80
RG 3 – 4	300 – 350	140	60
Körnermais	50 – 70	180	80
Silomais	400 – 500	180	80
Sommergerste:			
- Braugerste	45 – 65	80	50
- Futtergerste	50 – 70	120	60
Sonnenblumen	30 – 35	80	50
Triticale	50 – 70	100	40
Wintergerste	55 – 85	100*)	60
Winterraps	30 – 35	180	80
Winterroggen	50 – 70	100*)	40
Winterweizen	55 – 85	120*)	60
Zuckerrüben	450 – 600	140	40

*) Sollwert für die 1. Gabe

**) Mindest-N-Angebot: erforderliches N-Angebot als Summe aus $N_{\min}$ in 0 bis 30 cm Bodentiefe und N-Düngung

Tabelle 4d: Zu- und Abschläge zum N-Sollwert (n. LUFA Sachsen-Anhalt, 1999)

Kriterium	Zu- oder Abschlag zum Sollwert (kg N/ha)
kalter, schlecht durchlüfteter Boden	+ 20
Ertragserwartung gegenüber Richtertrag (Tab. 6) höher / niedriger	Kartoffeln, Silomais, Zuckerrüben: + 20 / 0 Wintergetreide: + 10 / - 10
Bestandsentwicklung im Frühjahr schwach / stark	Bei Wintergetreide: + 10 / - 10
Organische Düngung im Herbst	- 20 bis - 40 (je nach Art und Menge des eingesetzten Düngers)

Um auf Basis der $N_{\min}$ -Methode weitere Einflussfaktoren (wie die Besonderheiten von Standort und Klima in Sachsen-Anhalt) bei der N-Düngebedarfsbestimmung genauer zu berücksichtigen und damit die N-Düngeempfehlung noch stärker abzusichern, benutzt die LUFA Sachsen-Anhalt das **Stickstoff-Bedarfs-Analyse-Verfahren (SBA-Verfahren)**. Kernpunkte sind bei diesem Vorgehen computergestützte Auswertung von $N_{\min}$ -Analysedaten und Erstellung von N-Düngeempfehlungen für die Ackerkulturen.

Über Einzelheiten zur Methodik informiert die Broschüre „Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen“ (LUFA Sachsen-Anhalt, 2. Auflage, Oktober 1999).

4.1.2 Ermittlung des N-Bedarfs für Grünland

Grünland wird im Regelfall nur flach durchwurzelt. Das "klassische $N_{\min}$ -Verfahren" ist dadurch auf diesen Standorten nur bedingt anwendbar. Nachfolgend soll daher an zwei Beispielen gezeigt werden, wie der N-Düngebedarf auf Grünland bei unterschiedlicher Intensität ermittelt wird. Bei abweichender Intensität sind die verwendeten Werte entsprechend zu korrigieren.

Tabelle 5: N-Düngebedarf auf Grünland bei unterschiedlicher Intensität

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

*angenommen wird in beiden Beispielen ein Leguminosenanteil von 5 %

Der beispielhaft errechnete Düngebedarf kann sowohl mineralisch als auch mit Wirtschaftsdüngern (nach Vorgaben der DüV) gedeckt werden. Die einzelnen Düngerteilgaben sind den Wachstumsbedingungen anzupassen. Die Höhe der Teilgaben sollte 60 bis 80 kg N/ha nicht überschreiten. Bei Weidehaltung oder Mähweidenutzung ist der Nährstoffanfall aus den Weideexkrementen bei der Bemessung der Düngung entsprechend der Weidedauer zu berücksichtigen. Der in den Weideexkrementen enthaltene Stickstoff kann dabei mit 50 % in Anrechnung gebracht werden.

4.1.3 Düngebedarfsermittlung bei Dauerkulturen (Obst und Reben)

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 infolge Mulchwirtschaft auf der Fläche und bewirken sehr hohe N-Nachlieferungen des Bodens. Für die Bemessung der N-Düngung gibt es daher drei Möglichkeiten:

1. Kalkulation der N-Düngung aufgrund von Erfahrungswerten. Entscheidende Einflussgrößen sind dafür der Humusgehalt, das Alter der Anlage, die Tiefgründigkeit der Böden und der Witterungsverlauf.
2. Die Analyse des Bodens auf den Gehalt an löslichem Stickstoff ($N_{\min}$) und Ergänzung mit Mineraldünger auf bestimmte Sollwerte. Bei Dauerkulturen

haben sich z.T. zwei Termine für die $N_{\min}$ -Methode als vorteilhaft erwiesen (Austrieb, Blüte).

3. *Die Ergebnisse der Blattanalyse* im Obstbau (Probenahme Mitte Juli bis Ende August) zeigen die aktuelle Nährstoffversorgung an. Wenngleich auf dieser Basis kurzfristig eine wesentliche Nährstoffkorrektur nur über das Blatt möglich ist, so stellt sie doch ein geeignetes Hilfsmittel zur Kalkulation des N-Düngebedarfs für die nächste Vegetationsperiode dar.

4.1.4 Wirkung des Stickstoffs in organischen Düngern

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

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

Das sind bei Rindergülle ca. 60 % und bei Schweinegülle ca. 70 % Ausnutzung des Gesamt-N-Gehaltes. Die Nährstoffgehalte organischer Dünger tierischer Herkunft unterliegen starken Schwankungen. Wichtige Einflussgrößen sind u.a. TS-Gehalt, Futtergrundlage, Milchleistung sowie die Nutzungsrichtung (Bullenmast, Milchvieh).

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

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.
- Schnell und mäßig schnell wirken Kombinationen aus Nitrat- und Ammonium-Stickstoff (z. B. Kalkammonsalpeter, AHL, ASS). Die rasche Wirkung des Nitratanteils ermöglicht die punktgenaue Ernährung der Pflanze exakt zum Bedarfszeitpunkt. Der Ammoniumanteil wird in unmittelbarer Nähe der Wurzel direkt aufgenommen oder nach Umwandlung zu Nitrat.
- Mäßig schnell wirken die Ammoniumdünger (z.B. SSA bzw. Ammonsulfat) und Amid Dünger (z.B. Harnstoff). 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. Da dieser Prozess temperaturabhängig ist, ist vor allem im Frühjahr mit einer verzögerten Wirkung dieser Dünger zu rechnen.
- Langsamer und nachhaltig wirkend ist Kalkstickstoff, weil dieser über mehrere Zwischenstufen zum Nitrat umgesetzt wird.
- Stabilisierte N-Dünger: Sie unterscheiden sich von herkömmlichen Ammonium-u./o. Nitratdüngern durch den Zusatz von Nitrifikationsinhibitoren. Diese bewirken, dass die von Bodenmikroben durchgeführte Umsetzung von Ammonium zu Nitrat im Boden für einen Zeitraum von vier bis zehn Wochen verzögert wird. Damit wird die Nitratfreisetzung aus Ammonium im Boden verlangsamt. Auf dem Markt sind stabilisierte Dünger auf Basis Nitrat / Ammoniumdünger oder Harnstoff.
- Sehr langsam und nachhaltig wirken Handelsdünger besonders für den Erwerbsgartenbau und bestimmte Sonderanwendungen (Golfplätze). Der

Stickstoff liegt in diesen Produkten in besonders langkettiger chemischer 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/fungiziden 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 (= Kalkwert bzw. Basenäquivalent) (vgl. Anhangstabelle 4).

4.1.6 Kalkstickstoff

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

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

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

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

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 (nach Lösung pflanzenverfügbar),
- stabiles Phosphat (komplex 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 3.000 und 6.000 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 sind locker gebundene P- Formen, wie spezifische Sorptionen von Phosphatverbindungen an Oxide und Hydroxide des Eisens und des Aluminiums oder an Tonminerale. Des weiteren gehören dazu Calcium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium- und Ammoniumphosphate je nach 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 P-Gehalts der Bodenlösung durch Phosphataufnahme der Pflanzen leicht gebundenes Phosphat aus der labilen Fraktion nachgeliefert und somit die Bodenlösung wieder aufgefüllt. Eine ausreichend schnelle Nachlieferung von gebundenem Phosphat in die Bodenlösung setzt einen entsprechenden Bodenvorrat 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. Lediglich auf sauren Moorstandorten kann P- Verlagerung in größerem Maße auftreten.

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 5,5 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 (ATP) ist es an allen Stoffwechselvorgängen wie Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißstoffwechsel beteiligt.

Aufgrund der elementaren Funktionen in der Pflanze trägt Phosphor zur Pflanzengesundheit bei, z.B. Krankheits- und Frostresistenz.

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 darin, dass Blüten- und Samenbildung, Fruchtausatz und Kornzahl pro Ähre erhöht werden. Daneben verbessert Phosphor Qualitätsmerkmale des Erntegutes wie Tausendkornmasse, Rohproteingehalt und 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 deutlich höher sein als die tatsächlich von den Pflanzen aufgenommene Phosphatmenge. Weiterhin ist aus diesem Sachverhalt leicht abzuleiten, dass Kulturen mit einem weitverzweigten Wurzelsystem (Getreide) ein größeres Bodenvolumen erschließen und damit ein besseres Phosphataneignungsvermögen besitzen als Pflanzenarten mit einem rel. 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. Das vom VDLUFA entwickelte Konzept der Gehaltsklassen dient zur Klassifizierung der ermittelten Nährstoffgehalte im Boden.

Die Phosphatverfügbarkeit im Boden wird durch die Bodenuntersuchung erfasst. Als optimal zur Ausschöpfung des Ertragspotentials ist dabei die Gehaltsklasse C (*Tabelle 6*) anzusehen. Hier wird in der Regel eine Phosphatdüngung in Höhe der Erhaltungsdüngung empfohlen. Ernterückstände sind anzurechnen. In den Gehaltsklassen D sollte die Phosphatdüngung unterhalb der Erhaltungsdüngung

liegen und 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 (*siehe Tab. 6*).

Tabelle 6a: Düngeempfehlungen in kg/ha P_2O_5 bei mittleren Erträgen nach Richtwerten für die Düngung (LWK Niedersachsen)

Nährstoff	Boden, Fruchtart	Gehaltsklasse				
		A	B	C	D	E
Phosphor (P_2O_5)	Acker, alle Böden					
	Getreide, Raps, Leguminosen	140 – 120	110 – 90	80 – 50	40 – 0	0
	Rüben, Kartoffeln	180 – 150	140 – 110	100 – 70	60 – 40	0
	Mais, Feldgras	190 – 160	150 – 120	110 – 80	70 – 50	0
	Futter-Zwischenfrüchte	60 – 50	40 – 30	20 – 10	0	0
	Grünland, alle Böden					
	4 Schnitte, Rest weiden	220 – 180	160 – 130	120 – 60	50 – 20	0
	3 Schnitte, Rest weiden	180 – 160	140 – 110	100 – 40	30 – 10	0
	2 Schnitte, Rest weiden	160 – 140	120 – 90	80 – 30	20 – 0	0
	1 Schnitt, Rest weiden	140 – 120	100 – 70	60 – 120	10 – 0	0
	Weide	120 – 100	80 – 50	40 – 10	0	0

Bei obigen Empfehlungen wird unterstellt, dass zur Abdeckung des P-Bedarfs Kosten für P-Düngemittel entstehen. Ist dies nicht der Fall (z.B. Abdeckung des gesamten P-Bedarfs durch Wirtschaftsdünger), so sind die empfohlenen Gaben um 20 kg/ha zu erhöhen.

Tabelle 6b: Mittlere Phosphatentzüge in kg P/ha verschiedener Kulturen in dt Ertrag/ha mit und ohne Strohbergung auf Börde- und Altmarkstandorten (n. LLGUFA Sachsen-Anhalt)

	Börde (ohne Strohabfuhr)		Börde (mit Strohabfuhr)	
Kultur	Mittlerer Ertrag in dt/ha	P-Entzug kg P/ha	Mittlerer Ertrag in dt/ha	P-Entzug kg P/ha
Körnererbsen	45	22	45	22
Lupinen	25	13	25	13
Silomais	500	35	500	35
Triticale	85	30	85	41
Wintergerste	90	32	90	43
Winterroggen	95	33	95	46
Winterweizen	80	28	80	43
Zuckerrüben	550	22	550	22
Grünland, 3 Aufwüchse	300	33		
Grünland, 4 Aufwüchse	360	44		
	Altmark (ohne Strohabfuhr)		Altmark (mit Strohabfuhr)	
Kultur	Mittlerer Ertrag in dt/ha	P-Entzug kg P/ha	Mittlerer Ertrag in dt/ha	P-Entzug kg P/ha
Körnererbsen	30	14	30	14
Lupinen	18	10	18	10
Silomais	400	28	400	28
Triticale	60	21	60	29
Wintergerste	65	23	65	31
Winterraps	30	24	30	24
Winterroggen	40	14	40	19
Winterweizen	60	21	60	29
Zuckerrüben	450	18	450	18
Grünland, 3 Aufwüchse	300	33		
Grünland, 4 Aufwüchse	360	40		

Dem geringeren Aneignungsvermögen von Rüben, Kartoffeln und Mais ist insofern Rechnung zu tragen, als die optimale Phosphatversorgung im oberen Bereich der Gehaltsklasse C liegen sollte. Reine Getreidefruchtfolgen erbringen ihre volle Ertragsleistung aufgrund des besseren Phosphataneignungsvermögens schon bei niedrigeren Bodengehalten.

Die Phosphatdüngung sollte des weiteren an der Fruchtfolge ausgerichtet werden. Die bedürftigen Kulturen (Hackfrüchte, Mais) erhalten auch in der Gehaltsklasse C eine Phosphatdüngung oberhalb des Entzuges. Das nachfolgende Getreide wird entsprechend weniger mit Phosphat gedüngt, so dass die Phosphatbilanz über die Fruchtfolge betrachtet ausgeglichen ist.

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

Zunahme von	Wirkung auf	Phosphaternährung
Bodenart (Feinanteil)	Phosphatverfügbarkeit	+
Wassergehalt	Phosphatverfügbarkeit	+
Bodenverdichtung	Wurzelwachstum	-
Bodentemperatur	Phosphatverfügbarkeit	+
	Wurzelwachstum	+
	physiologische Aktivität der Pflanze	+
pH-Wert	Phosphatverfügbarkeit (optimal pH 6-7)	+
biologische Aktivität	Phosphatverfügbarkeit (Mineralisierung organischer 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 werden 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 einer verschlechterten Kornausbildung und damit zu einem Rückgang von Tausendkornmasse und Hektolitergewicht. Bei Weizen sinken Klebergehalt und Backvolumen, 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 durch Phosphatdüngung besonders die Gehalte an Carotin, Vitamin D und Vitamin B₁ 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.

1. *Superphosphat, Triplephosphat*

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

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

2. *Nitrophosphate*

Das „Odda“-Verfahren ist ein Produktionsverfahren wo die Rohphosphate nur mit Salpetersäure aufgeschlossen werden. Es entsteht eine Verbindung aus Stickstoff und Phosphat. Die hierbei gewonnenen Phosphatformen sind zu 2/3 wasserlöslich und 1/3 ammoncitratlöslich. Diese Phosphate sind in Volldüngern und NP- Düngern enthalten.

3. *Phosphatdünger aus der Stahlgewinnung*

Eisenerze können nennenswerte Phosphat- Gehalte aufweisen. Nach Gewinnung des Roheisens im Hochofen wird in der Glut des Konverters mit Temperaturen von 1900 °C das im Roheisen enthaltene Phosphat voll aufgeschlossen und verbindet sich mit dem Kalk zu einer flüssigen Schlacke, die vor der Vermahlung im Schlackenlager abkühlt. Das Produkt, das daraus entsteht ist Thomas-kalk mit 4 % P_2O_5 . Die Verhüttung stark phosphorhaltiger Eisenerze ist jedoch rückläufig. Das gilt entsprechend auch für Phosphatdünger aus der Stahlgewinnung.

- **Teilaufgeschlossene Rohphosphate**

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

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

- **Rohphosphate**

Unter bestimmten Voraussetzungen können Rohphosphate direkt als Düngephosphate angewendet werden. In Frage kommen diesbezüglich nur weicherdeige Rohphosphate und diese auch nur nach feinsten Vermahlung. Sie sind in erster Linie geeignet für saure Böden (ab ca. pH 5,5) und für Moorböden.

4.2.6 Phosphat in organischen Düngern

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

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

4.3 Kali (K_2O)

4.3.1 Kali in der Pflanze

In der Pflanze übernimmt Kali folgende Aufgaben:

- **Steuerung des Wasserhaushaltes**

Kali fördert eine optimale Wasserversorgung der Pflanzenzellen (Turgor) und steuert die Öffnungsweite der Stomata (Spaltöffnungen der Blätter): → angepasster Wasserverbrauch, weniger 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 aufzubauen: → gute Standfestigkeit beim Getreide, verbesserte Schalenfestigkeit und geringere Verletzungsempfindlichkeit bei Kartoffeln.

Ausreichend hoher Turgordruck der Pflanzenzellen insgesamt sorgt für stabile Zellverbände.

- **Erhöhung der Krankheitsresistenz**

Gut mit Kali ernährte Pflanzen sind aufgrund hoher Eiweißsyntheseleistung und damit geringerer Gehalte an löslichen N-Verbindungen weniger anfällig für den Befall mit pilzlichen Krankheitserregern und Blattläusen. Dazu

trägt auch die höhere Zellwand- bzw. Zellverbandsfestigkeit bei: → weniger Stengelfäule beim Mais, weniger pilzliche Infektionen, weniger Viruskrankheiten.

- **Verbesserung der Qualitätseigenschaften**

Kalium hilft als Enzymaktivator beim Einbau löslicher N-Verbindungen und niedermolekularer Kohlenhydrate zur Reservestoffbildung und reichert somit gewünschte Inhaltsstoffe in der Pflanze an: → höherer Zuckergehalt in der Rübe, gehobene TKG beim Getreide und durch spezielle Inhaltsstoffe weniger Schwarzfleckigkeit bei Kartoffeln, verbesserte Lagerfähigkeit von Kartoffeln und Gemüse.

4.3.2 Kali im Boden

Der natürliche Kaligehalt im Boden ist abhängig von

- dem Tongehalt und der Tonmineralart des Bodens, weil Kalium unterschiedlich stark in und an Tonteilchen gebunden ist. Schwere Böden brauchen daher höhere K-Gehalte nach Bodenuntersuchung (mg K_2O /100 g Boden) als z.B. Sandböden, um gleiche Kali-Verfügbarkeit für die Pflanzen garantieren zu können.
- der möglichen Kali-Nachlieferung der Böden, die Freisetzung erfolgt boden- und nutzungsabhängig meist jedoch nur in geringen Mengen.
- den Nährstoffverlusten in Form von Festlegung und Fixierung auf tonhaltigen Böden oder durch Verlagerung auf Sandböden.

Die Kaliverfügbarkeit wird zudem von folgenden Boden-Faktoren beeinflusst:

- Kationenaustauschkapazität und Grad der K-Sättigung
- Bodenstruktur und Bodenart

- Wasserhaushalt des Bodens
- K-Gehalt in der Bodenlösung
- Ausmaß der Kalifestlegung bzw. –fixierung durch Tonminerale
- Tiefgründigkeit des Bodens und Durchwurzelung durch die Pflanze
- Antagonismus durch Kationen wie z.B. Calcium, Ammonium und Magnesium

Die austauschbar pflanzenverfügbaren Kaligehalte im Boden werden durch Bodenuntersuchung gemessen und nach Versorgungsstufen (A bis E) bewertet. Der anzustrebende Bodenvorrat (Versorgungsstufe C) an Kalium muss eingestellt werden nach Bodenart und den Kulturfruchtarten, die innerhalb der Fruchtfolge die höchsten Nährstoffansprüche haben, z.B. Zuckerrüben, Kartoffeln, Raps, Feldgemüse und Mais.

4.3.3 Düngbedarf

Die Ermittlung des Kalidüngbedarfes einer Kultur bzw. einer Fruchtfolge basiert auf dem Nährstoffbedarf der Kulturpflanzen und dem Kali-Gehalt im Boden (Bodenuntersuchung). Die konkreten Bruttoentzüge der Kulturen sind im Anhang (Tabelle 1) aufgeführt. Zusätzlich sind Verluste aus Verlagerung und / oder Fixierung zu berücksichtigen.

Der Düngbedarf lässt sich durch langjährige regionale Feldversuche einschätzen. Rechnerische Düngebilanzen können nur Anhaltspunkte liefern, weil sie viele Faktoren der Kaliverfügbarkeit (wie z.B. Kaliverluste durch Festlegung und Verlagerung) nicht genügend berücksichtigen.

Wie nach der Düngeverordnung bei N und P vorgesehen, ist eine Gegenüberstellung der Kalizufuhr und –abfuhr sinnvoll. Bei der Interpretation von Nährstoffsalden müssen die Bodenversorgung, der Austrag von Kalium aus dem Boden und Kali-Verluste durch Festlegung – also Nährstoffverluste - berücksichtigt werden. Besonders auf leichten Böden sind u. U. hohe Kali-Verluste aus Ernterückständen wie Getreidestroh oder Zuckerrübenblatt einzukalkulieren.

Aufgrund stark unterschiedlicher Bodengegebenheiten, differenzierter Wirtschaftsweisen und spezieller regionaler Witterungsverhältnisse werden pauschale überregionale Düngeempfehlungen häufig den standortspezifischen Nährstoffbedürfnissen der Kulturpflanzen nicht gerecht. In *Tabelle 7* sind deshalb für Niedersachsen Kali-Düngeempfehlungen - gegliedert nach Bodenarten -aufgeführt.

Tabelle 7a: KALI - Düngeempfehlungen Niedersachsen (K_2O)

Fruchtart	Raps	W.-Getreide	So.-Getreide	Leguminosen	Kartoffel	Stärke-Kartoffel	Zuckerrüben	Körner-Mais	Silo-Mais		Grünland	
										4 Schnitte	2 Schnitte	Weide
alle Böden außer Marschen												
Gehaltsklasse	durchschnittliche Düngeempfehlung in kg K ₂ O/ha											
A	265	215	185	235	370	265	475	285	285	370	225	125
B	225	175	150	195	325	225	415	250	250	325	210	85
C	170	120	95	140	260	170	335	195	195	255	160	40
D	80	40	20	65	130	80	170	95	90	125	80	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marschen												
Gehaltsklasse	durchschnittliche Düngeempfehlung in kg K ₂ O/ha											
A	170	140	130	150	230	170	295	190	190	260	175	75
B	140	110	100	120	200	140	255	160	160	205	135	55
C	100	70	60	85	155	100	200	120	120	145	90	30
D	35	20	0	30	60	35	80	45	45	65	30	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
mittlere Erträge in dt/ha												
Sand, Moor	30	60	50	35	400	400	500	75	450	80		
andere Böden	35	70	50	45	400	400	500	75	450	100		
Zuschlag für höhere Erträge in kg K ₂ O je 10 dt/ha Mehrertrag												
alle Böden	5	5	5	5	5	5	5	5	5	20		
Abzug für Ernterückstände in kg K ₂ O/ha												
Sand, Moor	80	40	40	40	40	40	110	80				
andere Böden	150	85	85	80	80	80	210	150				

Tabelle 7b: KALI - Düngeempfehlungen Sachsen-Anhalt (K_2O) (gerundet)

Fruchtart	Raps	Getreide	Leguminosen	Kartoffeln	Zuckerrüben	Mais		Grünland		
						Körner-	Silo-	4 Aufwüchse	2 Aufwüchse	1 Aufwuchs
leichte Böden und Moor (BG 1,2 u. 6)										
Ertrag dt/ha	40	70	45	400	450	90	450	360	220	160
Gehaltsklasse	durchschnittliche Düngeempfehlung in kg K ₂ O/ha									
A	290	225	270	400	390	315	295	340	210	130
B	255	190	235	365	355	280	260	320	190	110
C	225	160	205	340	330	250	230	270	140	60
D	185	120	165	300	290	210	190	220	90	15
E	150	85	130	265	255	175	155	0	0	0
Mittlere Böden (BG 3 u. 4)										
Gehaltsklasse	durchschnittliche Düngeempfehlung in kg K ₂ O/ha									
A	320	255	300	430	420	345	325	315	185	105
B	260	195	240	370	360	285	265	300	165	90
C	200	135	180	310	300	225	205	270	140	60
D	120	60	100	235	225	150	125	190	60	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
schwere Böden (BG 5)										
Gehaltsklasse	durchschnittliche Düngeempfehlung in kg K ₂ O/ha									
A	320	255	300	430	420	345	325	310	180	105
B	260	195	240	370	360	285	265	295	165	85
C	200	135	180	310	300	225	205	270	140	60
D	130	60	110	240	228	155	130	185	56	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zu-/Abschlag für höhere/niedrigere Erträge, alle Böden in kg K ₂ O/10 dt										
	50	20	40	8	7	25	5	8	7	4
Abzug für Ernterückstände, alle Böden in kg K ₂ O/ha										
	160	95	120	70	190	180	0	0	0	0

4.3.4 Düngeverfahren

Auf mittleren und schweren Böden ab etwa 35 Bodenpunkten oder 8-10 % Tongehalt ist eine Kali-Düngung im Herbst sinnvoll. Auf solchen Standorten ist dabei auch die arbeitssparende Kali-Vorratsdüngung für mehrere Jahre bzw. für die Fruchtfolge möglich. Die Kalidüngung erfolgt dabei aufgrund guter Ertragswirkung und hohen Bedarfs betont zu Blattfrüchten.

Auf Böden mit Tongehalten unter 8 % Ton (geringe Kalibindung an Tonminerale) ist wegen der zunehmenden Gefahr einer Kaliverlagerung durch Winterniederschläge eine jährliche Kalidüngung in Form der Frühjahrsdüngung anzuraten. Auch hier erfolgen die Kaligaben in der Regel blattfruchtbetont.

Für die praktische Düngung sind folgende Punkte zu beachten:

- Auf mittleren bis schweren Standorten sollte die Kalidüngung grundsätzlich in die durchwurzelbare Ackerkrume eingearbeitet werden. Bei Kalidüngung in Pflanzenbeständen wird der Nährstoff Kali im obersten Krumenbereich an Tonminerale gebunden und steht aktuell den tiefer wurzelnden Kulturpflanzen nur unzureichend zur Verfügung. Kopfdüngung im Bestand ist sonst besonders auf leichten Standorten generell möglich, bei Mais maximal bis zum 2-3 Blatt-Stadium.
- Infolge des schlechten Nährstoffaneignungsvermögens ist bei Mais auf leichteren Böden eine Kalidüngung vor der Aussaat effizient. Entsprechendes gilt auch für den Kartoffelanbau, bei dem die (sulfatische !) Kalidüngung vor dem Pflanzen erfolgen und in den Boden eingearbeitet werden sollte. Auf leichten Standorten ist auch der hohe Kalibedarf von Raps schon im Herbst zu beachten.
- Nach EU- Verordnung ist im ökologischen Anbau die Düngung mit Kali in sulfatischer Bindung (z.B. Patentkali) erlaubt. Auch Magnesia-Kainit ist als (K-Mg-Na-S)-Rohsalz zugelassen. Entsprechendes gilt für Magnesiumsulfat (Kieserit).
- Bei hohem Kalibedarf (z.B. durch Kalifixierung) sollten einzelne Kaligaben 400 kg K₂O/ha nicht überschreiten. Bei höheren Mengen die Gaben teilen.

- Düngung bei Frost ist auf allen Acker- und Grünlandkulturen möglich.
- Kalidünger aus deutscher Produktion unterliegen regelmäßigen, freiwilligen Qualitäts- und Nährstoffgehaltskontrollen des VDLUFA.

4.3.5 Kaliformen

Kali liegt für die Landwirtschaft in zwei Düngerformen vor:

- Kaliumchlorid (KCl) für die meisten Ackerkulturen und Grünland
- Kaliumsulfat (K_2SO_4) für Sonderkulturen, Kartoffeln, Forstpflanzen und Gemüsebau

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.

Die Kulturpflanzen reagieren unterschiedlich auf chloridhaltige Düngemittel:

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

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

- erhält die optimale Bodenreaktion: schädliche Bodensäuren sowie toxische Aluminium- und Schwermetallionen werden wirksam neutralisiert und gebunden,
- stabilisiert die Bodenstruktur: Calciumionen lagern sich an Ton- und Humusteilchen an, verbinden diese und bilden größere Krümel. Die Stabilität der Poren und der Verformungswiderstand des Bodens nehmen zu (Gare),
- sichert durch verbesserte Bodenstruktur gute Wasserführung und Durchlüftung,
- vermindert Verkrusten und Verschlämmung durch stabile Krümelstruktur,
- beugt Erosion vor,
- vertieft den Wurzelraum im Boden; bei Kalkmangel kommt es zur Ton-Schluff-Trennung und zu Verdichtungen im Unterboden,
- verstärkt die biologische Aktivität: nur in kalkreichen Böden finden nützliche Kleinlebewesen gute Lebensbedingungen zur Umsetzung von organischer Substanz und zum Aufbau von wertvollem Dauerhumus,
- hilft Düngekosten sparen, weil sich die Ausnutzung der anderen Pflanzennährstoffe verbessert. Das pflanzenverfügbare Phosphat nimmt zu, die Stickstofffreisetzung aus organischer Düngung steigt und das Pflanzenwachstum wird verbessert (*siehe Abb. 1, Seite 42*).

4.4.1 Düngebedarf

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

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

Dieser Kalkverbrauch findet auf allen Standorten statt, wobei es auf leichten Böden zu einer raschen pH-Wert-Absenkung kommt, während bei schweren Böden zunächst die Kalkreserven - bereits zu Lasten der Bodenstruktur - verbraucht werden, bevor der pH-Wert absinkt. Bei Einsatz von Gülle führt zusätzlich die Nitrifikation von Ammonium-N zu Nitrat-N zu einer Kalkzehrung.

4.4.2 Düngungsempfehlungen

Vom VDLUFA wurde ein Vorschlag für bundesweit einheitliche Kalk-Düngungsempfehlungen und eine neue Einteilung der pH-Wert-Klassen erarbeitet. Die Werte hierzu sind in den *Tabellen 8a, 8b und 8c* aufgeführt.

Grundsätzlich sollte sich die Kalkdüngung wie alle anderen Düngemaßnahmen an den Ergebnissen der Bodenuntersuchungen orientieren. Je nach Bodenart und Flächennutzung unterscheiden sich die optimalen pH-Werte. Die Höhe der erforderlichen Kalkmenge wird in dt CaO/ha angegeben. Für die regelmäßige Erhaltungskalkung des Ackerlandes gilt je nach Bodenart, Humusgehalt und Jahresniederschlag eine Ausbringmenge von 6 – 18 dt CaO/ha alle 3 Jahre.

Tabelle 8a: Aufkalkung der Bodenarten

*Definition der pH-Klassen sowie Kalkdüngungsempfehlungen
(n. VDLUFA-Standpunkt)*

pH-Klasse/ Kalkversor- gung	Beschreibung von Zustand und Maßnahme	Kalkdün- gungs- bedarf
A sehr niedrig	Zustand: Erhebliche Beeinträchtigung von Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, sehr hoher Kalkbedarf, signifi- kante Ertragsverluste bei fast allen Kulturen bis hin zum gänzlichen Ertragsausfall, stark erhöhte Pflanzenverfü- barkeit von Schwermetallen im Boden Maßnahme: Kalkung hat weitgehend unabhängig von der anzubau- enden Kultur Vorrang vor anderen Düngungsmaßnah- men	Gesundungs- kalkung
B niedrig	Zustand: Noch keine optimalen Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, hoher Kalkbedarf, meist noch signifikante Ertragsverluste bei kalkanspruchsvol- len Kulturen, erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden. Maßnahme: Kalkung erfolgt innerhalb der Fruchtfolge bevorzugt zu kalkanspruchsvollen Kulturen.	Aufkalkung
C anzustreben, optimal	Zustand: Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoff- verfügbarkeit sind gegeben, geringer Kalkbedarf, kaum bzw. keine Mehrerträge durch Kalkdüngung. Maßnahme: Kalkung innerhalb der Fruchtfolge zu kalkanspruchsvol- len Kulturen.	Erhaltungs- kalkung
D hoch	Zustand: Die Bodenreaktion ist höher als anzustreben, kein Kalk- bedarf Maßnahme: Unterlassung einer Kalkung	keine Kalkung
E sehr hoch	Zustand: Die Bodenreaktion ist wesentlich höher als anzustreben und kann die Nährstoffverfügbarkeit sowie den Pflan- zenertrag und die Qualität negativ beeinflussen. Maßnahme: Unterlassung jeglicher Kalkung, Einsatz von Düngemit- teln, die in Folge physiologischer bzw. chemischer Re- aktion im Boden versauernd wirken	keine Kalkung und keine An- wendung phy- siologisch bzw. chemisch alkalisch wir- kender Dün- gemittel

Tabelle 8b: Rahmenschema für **Ackerland** zur Einstufung der pH-Werte des Bodens (CaCl₂-Methode) in pH-Klasse C (anzustrebender/optimaler pH-Bereich) sowie Erhaltungskalkung (dt CaO/ha). Die empfohlenen Kalkmengen beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung (nach Ablauf einer Fruchtfolge). Die Ausbringung erfolgt zu kalkanspruchsvollen Kulturen (n. VDLUFA-Standpunkt).

Bodenartengruppe/ vorwiegende Bodenart		Humusgehalt des Bodens (%)				
		≤ 4	4,1 bis 8,0	8,1 bis 15,0	15,1 bis 30	> 30
		pH-Werte der Klasse C und Erhaltungskalkung				
1/Sand	PH-Klasse C dt CaO/ha	5,4 bis 5,8 6	5,0 bis 5,4 5	4,7 bis 5,1 4	4,3 bis 4,7 3	
2/schwach lehmiger Sand	PH-Klasse C dt CaO/ha	5,8 bis 6,3 10	5,4 bis 5,9 9	5,0 bis 5,5 8	4,6 bis 5,1 4	
3/stark lehmiger Sand	PH-Klasse C dt CaO/ha	6,1 bis 6,7 14	5,6 bis 6,2 12	5,2 bis 5,8 10	4,8 bis 5,4 5	
4/sandiger/ schluffiger Lehm	PH-Klasse C dt CaO/ha	6,3 bis 7,0 ¹⁾ 17	5,8 bis 6,5 15	5,4 bis 6,1 13	5,0 bis 5,7 6	
5/toniger Lehm bis Ton	PH-Klasse C dt CaO/ha	6,4 bis 7,2 ¹⁾ 20	5,9 bis 6,7 18	5,5 bis 6,3 16	5,1 bis 5,9 7	
6/Hochmoor und saures Niedermoor ²⁾	PH-Klasse C dt CaO/ha					4,3 3)

¹⁾ Auf carbonathaltigen Böden (freier Kalk): keine Erhaltungskalkung

²⁾ Auf einem Großteil der Niedermoore sind die pH-Werte geogen bedingt > 6,5

³⁾ Keine Erhaltungskalkung

Tabelle 8c: Rahmenschema für **Grünland** zur Einstufung der pH-Werte des Bodens (CaCl_2 -Methode) in pH-Klasse C (anzustrebender/optimaler pH-Bereich) sowie Erhaltungskalkung (dt CaO/ha). Die empfohlenen Kalkmengen beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung (n. VDLUFA-Standpunkt).

Bodenartengruppe/ vorwiegende Bodenart		Humusgehalt des Bodens (%)		
		≤ 15	15,1 bis 30	> 30
		pH-Werte der Klasse C und Erhaltungskalkung		
1/Sand	pH-Klasse C Dt CaO/ha	4,7 bis 5,2 4	4,3 bis 4,7 2	
2/schwach lehmiger Sand	pH-Klasse C Dt CaO/ha	5,2 bis 5,7 5	4,6 bis 5,1 3	
3/stark lehmiger Sand	pH-Klasse C Dt CaO/ha	5,4 bis 6,0 6	4,8 bis 5,4 4	
4/sandiger/ schluffiger Lehm	pH-Klasse C Dt CaO/ha	5,6 bis 6,3 7	5,0 bis 6,7 5	
5/toniger Lehm bis Ton	pH-Klasse C Dt CaO/ha	5,7 bis 6,5 8	5,1 bis 5,9 6	
6/Hochmoor und saures Niedermoor ¹⁾	pH-Klasse C Dt CaO/ha			4,3 2)

¹⁾ Auf einem Großteil der Niedermoores liegen die pH-Werte geogen $> 6,5$

²⁾ Keine Erhaltungskalkung

Für Böden mit einem anzustrebenden pH-Wert 7 ist ein CaCO_3 -Gehalt von ca. 0,3 bis 1 % nützlich.

Die Kalkmengen beziehen sich bei Acker auf 30 cm und bei Grünland auf 10 cm Bodentiefe. Bei deutlich größerer Krumenbearbeitungstiefe kann die auszubringende Kalkmenge entsprechend angepasst werden. Die angegebenen Höchstmengen sollten dennoch nicht überschritten werden.

Die Calciummengen sind dann entsprechend der Düngerform je nach basisch wirksamer Form entweder in CaO oder in CaCO_3 (bei kohlensauren Kalken) umzurechnen. Über den Gehalt in CaO oder in CaCO_3 kann die erforderliche Produktmenge berechnet werden.

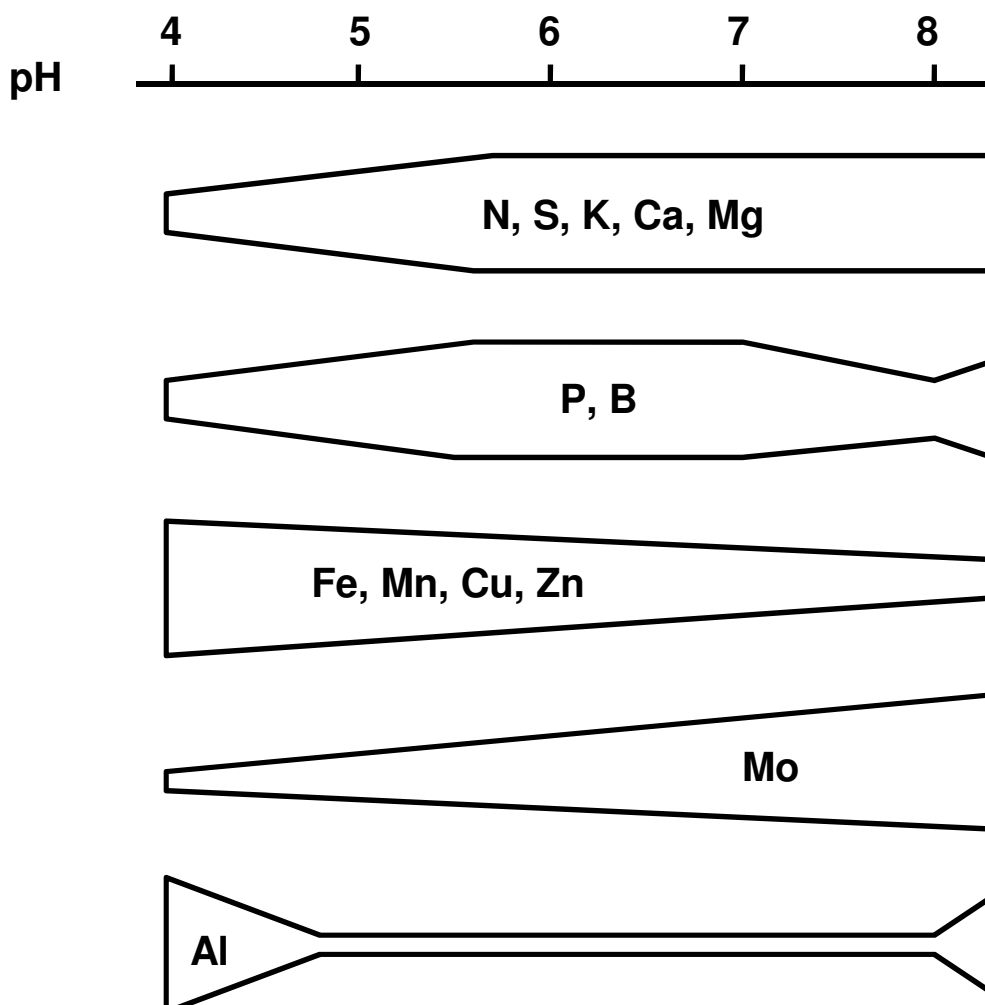
Neben der Kalkung aus Sicht eines optimalen, standortbezogenen pH-Wertes, soll-

ten auch die unterschiedlichen Ansprüche der einzelnen Fruchtarten hinsichtlich des pH-Wertes Beachtung finden. So weisen Zucker- und Futterrüben, Winterraps, Winter- und Sommergerste, Luzerne, Rotklee und Ackerbohnen eine besonders hohe Kalkbedürftigkeit auf, während z.B. Gelbe Lupine, aber auch Kartoffeln auf eine frische Kalkung oft empfindlich reagieren. Diesem Aspekt ist durch eine entsprechende Einordnung von Kalkungsmaßnahmen in die Fruchtfolge Rechnung zu tragen.

4.4.3 pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit

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

Abbildung 1: Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert
(n. FINCK, 1976)



4.4.4 Kalkformen und -wirkung

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

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

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 mindestens ebenso gute basische Wirksamkeit wie 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 schneller wirkt als kohlen-saure und kieselsaure Kalke.

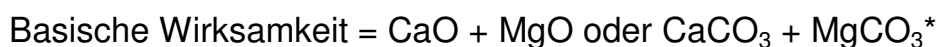
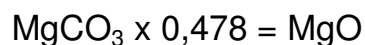
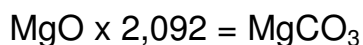
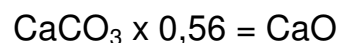
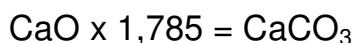
Grundsätzlich gilt daneben für die oben aufgeführten Kalke, dass die Wirkung umso rascher ist, je feiner die Produkte vermahlen sind.

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

Kalkdünger bringen häufig als zweiten Nährstoff auch Magnesium mit, das jeweils in der gleichen chemischen Bindungsform wie das Calcium vorliegt, also als Carbonat, Oxid, Hydroxid oder Silikat.

Zum Preisvergleich der angebotenen Kalksorten sollten die Preise auf die gleiche Basis (entweder Reinnährstoffe CaO und MgO oder CaCO₃ und MgCO₃)

umgerechnet werden anhand folgender Umrechnungsfaktoren:



Aufgrund des geringeren Atomgewichts des Magnesiums hat dieses bei gleicher Menge ein entsprechend höheres Neutralisationsvermögen. Magnesiumreiche Kalke neutralisieren also etwas stärker. Die Kalkulation kann nach folgender Formel erfolgen:

Berechnung des Neutralisationswertes (NW) verschiedener Kalkünger bewertet als CaO	
$\text{NW} = \text{CaO} + (\text{MgO} \times 1,399)$	
Beispiel: Berechnung: Ergebnis:	Branntkalk 90 $\text{NW} = 90 + 0$ NW = 90 % CaO
Beispiel: Berechnung: Ergebnis:	Magnesium-Branntkalk 90 (60+30 MgO) $\text{NW} = (60 + (30 \times 1,399))$ NW = 101,9 % CaO
Beispiel: Berechnung: Ergebnis:	Hüttenkalk CaO 47 (40% CaO + 7% MgO) $\text{NM} = (40 + 7 \times 1,399)$ NW = 49,8 % CaO
Beispiel: Berechnung: Ergebnis:	Konverterkalk feucht-körnig (38 % Ca + 5 % MgO) $\text{NW} = (43 + 5 \times 1,399)$ NW = 45,0 % CaO
$\text{NW} = (\text{CaCO}_3 + (\text{MgCO}_3 \times 1,187)) \times 0,56$	
Beispiel: Berechnung: Ergebnis	Kohlensaurer Kalk 85 $\text{NW} = 85 \times 0,56$ NW = 47,6 % CaO
Beispiel: Berechnung: Ergebnis	Kohlensauer Magnesiumkalk 85 (60+25 MgO) $\text{NW} = (60 + (25 \times 1,187)) \times 0,56$ NW = 50,2 % CaO

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

4.4.5 Kalkausbringung

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

Die Ausbringung von Düngekalken erfolgt heutzutage überwiegend durch Lohnunternehmen mit leistungsfähigen Großflächenstreuern. Dabei ist die Art der Ausbringung von der Kalkform 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 mit Kipper-LKW am Feldrand abgeladen und mittels Großflächenstreuer per Streuscheiben verteilt. Hier liegen die Vorteile insbesondere in der hohen Ausbringleistung und den niedrigen Streukosten 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. granulierte Kalke zur Verfügung (Brantkalk körnig, Granulate aus kohlensaurem 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 Düngemaßnahmen darstellt. Besonders im Hinblick auf die Verfügbarkeit der übrigen Nährstoffe, deren Aufwandmengen in der

Düngerverordnung 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 (MgO)

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 Marschböden häufig ausreichend Magnesium enthalten. Magnesium ist ähnlich wie Calcium im Boden leicht beweglich, so dass auf allen Böden beachtliche Verluste an Magnesium durch Verlagerung und Auswaschung eintreten können.

Magnesium ist zentraler Baustein des Chlorophylls und hat vielfältige 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-/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 einer Erhaltungs- oder Vorausdüngung zur Deckung des Fruchtfolgebedarfs sind die Standortbedingungen hinsichtlich ihrer Magnesium–Verlagerungsneigung sowie die aktuelle Bodenversorgung besonders zu berücksichtigen. Die MgO–Düngeempfehlungen (*Tabelle 9*) sind deshalb auch regional leicht unterschiedlich gestaltet. Grundlage sind Bodenuntersuchungen; generell sollte auch hier die Versorgungsstufe C eingestellt werden.

Magnesium steht bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen in Konkurrenz mit Calcium, Ammonium und Kalium. Der Magnesiumdüngung muss 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).

Tabelle 9a: Magnesium – Düngeempfehlungen in Niedersachsen

Fruchtart	Raps	Getreide	Leguminosen	Kartoffeln Feldgras	Zuckerrüben	Mais -	Grünland
Gehaltsklasse	<i>durchschnittliche Düngeempfehlung in kg MgO/ha (mittlere Erträge)</i>						
A	80	80	80	120	160	80	80
B	60	60	60	90	120	60	60
C	40	40	40	60	80	40	40
D	20	20	20	30	40	20	20
E	0	0	0	0	0	0	0
Abzug für Ernte- rückstände	<i>in kg MgO/ha</i>						
	15	10	10	25 (Kart.)	30	30	

Tabelle 9a: Magnesium - Düngeempfehlungen Sachsen-Anhalt **neu**

	Ackerland	Grünland
leichte Böden und Moor (BG 1,2 u. 6)		
Gehaltsklasse	kg MgO/ha	
A	80	80
B	50	50
C	30	30
D	0	0
E	0	0
mittlere Böden (BG 3 u. 4)		
Gehaltsklasse	kg MgO/ha	
A	70	70
B	45	45
C	25	25
D	0	0
E	0	0
schwere Böden (BG 5)		
Gehaltsklasse	kg MgO/ha	
A	60	60
B	40	40
C	20	20
D	0	0
E	0	0

4.5.3 Magnesiumformen

In der Düngung sind vier Mg-Formen zu unterscheiden:

- Magnesiumcarbonat (MgCO_3) in kohlensaurem Kalk, als Bestandteil vom Dolomit im Kalkammonsalpeter mit Magnesium und in verschiedenen PK- und NPK-Düngern
- Magnesiumoxid (MgO) im Magnesium-Brannkalk
- Magnesiumsilikat in Düngemitteln, die bei der Eisenverhüttung gewonnen werden (z.B. Hüttenkalk)
- Magnesiumsulfat (MgSO_4) in Korn-Kali, Patentkali, Kieserit und EPSO Produkte (Bittersalz)

Während Magnesium, das in Carbonat-, Oxid- und Silikatform vorliegt, den Pflanzen erst zugänglich ist, wenn es in pflanzenverfügbar wasserlösliche Form umgewandelt wird, ist wasserlösliches Magnesiumsulfat für die Pflanzen sofort verfügbar. Für alle Mg-haltigen Kalke gilt, dass die Mg-Wirkung langsam und nachhaltig ist und mit abnehmender Mahlfineinheit 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 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. Ebenso auf Böden mit freiem Kalk, in denen sich Magnesiumcarbonat und -oxid nur sehr langsam umsetzen, bietet sich die sulfatische Mg-Düngung an. Auf auswaschungsgefährdeten Böden empfiehlt sich die Frühjahrsdüngung.

- Falls auf schwach sauren Böden mit Rücksicht auf die Fruchtfolge die Einstellung einer 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 MgSO_4 -haltigen Düngern sinnvoll sein.
- Um dem hohen Mg-Bedarf des Maises Rechnung zu tragen und sein geringes Nährstoffaneignungsvermögen zu berücksichtigen, gibt es auf Mangelstandorten die Möglichkeit, die Unterfußdüngung durch Kieserit „gran“ zu ergänzen.
- Magnesiumdünger in sulfatischer Form enthalten in beachtlichen Mengen den Pflanzennährstoff Schwefel als wichtigen Nährstoffpartner.
- Die Höhe der Magnesiumdüngung richtet sich nach der Mg-Bilanz der Fruchtfolge unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Verlagerungsverluste. Dabei sollte man besonders dem hohen Mg-Bedarf der Hackfrüchte Aufmerksamkeit schenken.
- Akuter oder latenter Mg-Mangel kann über die Mg-Blattdüngung (z.B. 5 %ige Bittersalzlösung) schnell behoben werden. Da die ausgebrachten Mg-Mengen gering sind, sollte in den Folgejahren der Pflanzenbedarf über eine Mg-Bodendüngung gesichert werden.

Entsprechendes gilt auch für Schwefel.

4.6 Schwefel (S)

Schwefel ist durch die Entschwefelung der Kraftwerksabgase und schwefelärmeres Heizöl bzw. Dieselmotorkraftstoff in den letzten Jahrzehnten auf den Ackerflächen ins Minimum geraten. Der S-Eintrag aus der Luft liegt derzeit bei nur noch 5 kg/ha und Jahr.

Gemessen am Schwefelbedarf der Kulturen (Getreide bis 30 kg/ha S oder Raps bis zu 70 kg/ha S) ergibt sich eine negative Bilanz. Auf die geordnete dem Pflanzenbedarf entsprechende Schwefelzufuhr ist deshalb zu achten.

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 S/ha 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 Vorrats-

düngung mit Schwefel nicht möglich ist, sondern die Schwefelzufuhr zeitlich an die Aufnahme durch die Pflanzen angepasst werden muss.

Bei der Schwefelaufnahme bevorzugen die Pflanzen die Sulfatform (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 1).

90 % des Schwefels ist in Eiweißbausteinen 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 liegt das aufgenommene Sulfat nur zum Teil im Zellsaft, überwiegend aber in organischer Bindung vor.
- Zusammen mit Stickstoff ist Schwefel essentieller Baustein beim Aufbau der Aminosäuren und damit von Eiweiß.
- Schwefel ist am Aufbau von Kohlenhydraten beteiligt, beeinflusst damit die Synthese von Zucker, Stärke und Geschmacksstoffen.
- Schwefel ist bei der Bildung von wichtigen Vitaminen unersetzlich (Biotin, Thiamin, Vitamin B).
- Bei Kreuzblütlern (Raps, Senf) und Liliengewächsen (Zwiebeln, Lauch, Knoblauch) wird Schwefel zur Bildung sekundärer Inhaltsstoffe, wie z.B. Senföl, Lauchöl benötigt.
- Schwefel ist am Aufbau wachstumsfördernder Enzyme beteiligt.

Mit diesen wichtigen Funktionen trägt Schwefel maßgeblich zur Sicherung der Erträge und der Qualität des Ernteguts bei (*Tabelle 10a*).

*Tabelle 10a: 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) • Nahrungs (Futter)-qualität • Leguminosen • Futterqualität (z.B. Cruciferen)	biol. Wertigkeit (S-Aminosäuren) Proteingehalt, Kleberqualität Enzymgehalt, Enzymaktivität verbesserte N ₂ -Fixierungsleistung, Proteineintrag, biol. Wertigkeit Verminderung des NO ₃ -Gehaltes
2. sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe • Gemüse, Gewürzpflanzen • Ölraps	höherer Gehalt an Senfölen (Geschmack!) Qualitätsabfall durch Anstieg der Glucosinulatgehalte 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 Schwefelaufnahme verläuft leicht zeitversetzt zur Stickstoffaufnahme. Die Schwefeldüngung sollte daher frühzeitig zur jeweiligen Kultur erfolgen. Damit wird latenter Schwefelmangel bzw. eine Unterversorgung zu einer Zeit vermieden, in welcher die Mineralisierung im Boden unzureichend ist. Gleichzeitig wird die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs gesichert.

4.6.3 Schwefelformen

Für die Düngung sind folgende Schwefelformen relevant:

- Ammoniumsulfate (ASS, SSA, Ureas, Entec 26)
(mit und ohne Nitrat)
- Kaliumsulfate (Kaliumsulfat „gran.“, Patentkali)
- Magnesiumsulfate (Kieserit, EPSO- Produkte, YaraBela Optimag)
- Calciumsulfate (YaraBela Sulfan)
- Calciumsulfit (Brannkalk mit Schwefel 80/2
kohlens. Magnesiumkalk mit Schwefel 80/2)
- Netzschwefel (geringe Wirkung, muss erst oxidiert werden)

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

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

4.6.4 Schwefelbedarfsbestimmung

Die grundsätzliche Notwendigkeit einer S-Düngung lässt sich hinreichend sicher mit einem Schätzrahmen (*siehe Seite 57, Abbildung 2*) bestimmen.

Die S-Bestimmung mittels Bodenprobe ($S_{\min}$) ist nur begrenzt aussagefähig. Bei $S_{\min}$ -Werten unter 60 kg/ha ist in Abhängigkeit von den Bedingungen eine S-Düngung vorzusehen.

Der aktuelle S-Versorgungszustand einer Pflanze kann sicher über eine Analyse ausgewählter Pflanzenteile (*siehe Tabelle 10b*) erfasst werden. Allerdings lassen sich zu dem Termin in der Regel S-Mangelzustände durch Düngungsmaßnahmen (über den Boden) nicht mehr beheben.

Abbildung 2:

Schätzrahmen für die Notwendigkeit einer S-Düngung für Ackerbaukulturen				
Merkmal		Bewertung mit Punktezahl	Zutreffende Punktezahl	
Standorteigenschaften:				
Bodenarten	sandiger Boden	1		
	lehmiger Boden	3		
	toniger Boden	5		
Humusgehalt	arm (<2% Humus)	2		
	mittel (2-4% Humus)	3		
	reich (>4% Humus)	4		
Verfügbare Wurzelraum (Krume + durchwurzelter Raum)	flachgründig	2		
	tiefgründig	4		
Strukturschäden (Verschlammung, Bodenverdichtung, Pflugsohle)	vorhanden	1		
	stellenweise vorhanden	3		
	nicht vorhanden	4		
Nmin-Gehalt zu Vegetationsbeginn im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	unterdurchschnittlich	1		
	durchschnittlich	3		
	überdurchschnittlich	5		
Witterung:				
Niederschläge (Oktober-März) im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	überdurchschnittlich	1		
	durchschnittlich	3		
	unterdurchschnittlich	5		
Bewirtschaftung:				
Schwefelzehrende Kulturen in der Fruchtfolge (Raps, Kohlgarten, Leguminosen)	Anbau jedes 3. Jahr	2		
	Anbau jedes 4. Jahr	3		
	Anbau jedes 5. Jahr	4		
In diesem Jahr angebaute Kultur	Raps, Kohl, Leguminosen	1		
	andere Kulturen	3		
Schwefelmangel bereits aufgetreten (Ertragseinbußen, Blattanalysen, Mangelsymptome)	ja	1		
	nein oder unbekannt	3		
Ertragsniveau (dt/ha)	hoch - Raps >40, Getreide >75	2		
	mittel - Raps 30-40, Getreide 50-75	3		
	niedrig - Raps <50; Getreide <50	4		
Düngung:				
Einsatz organischer Dünger aus Tierhaltung (keine Gründüngung)	0 GV/ha	1		
	<1,5 GV/ha	2		
	>1,5 GV/ha	3		
In den letzten 3 Jahren Einsatz nennenswerter Schwefelmengen aus Mineraldüngern (z. B. ass, Nitrophoska 13+9+16(+4+7), Kaliumsulfat)	nein	1		
	ja	3		
			Gesamtpunktzahl:	
Auswertung:				
16-29 Punkte	Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel hoch, Düngung mit ass notwendig			
30-37 Punkte	Bestände (besonders Raps) genau beobachten, Düngung mit ass empfehlenswert			
38-47 Punkte	Schwefelmangel zz. nicht zu erwarten			

Tabelle 10b: Richtwerte für ausreichende S-Gehalte in ausgewählten Kulturpflanzen sowie Probenahmeterminen und zu beprobende Pflanzenteile (n. VDLUFA-Standpunkt von 20.10.2000)

Pflanzenart	Probenahmetermin	Pflanzenteil	Richtwerte für ausreichende S-Gehalte der TS in %
Winterraps	Kurz vor Knospenstadium	Gesamte vollentwickelte Blätter	> 0,55
Wintergetreide	Schossbeginn bis 1-Knoten-Stadium	Gesamte oberirdische Pflanze	> 0,30
Zuckerrübe	Bestandesschluss	Blattspreiten aus mittlerem Blattkranz	> 0,30
Grünland	Vor dem 1. Schnitt	Gesamter Aufwuchs	> 0,30

4.6.5 S-Düngungsempfehlungen

Eine optimale S-Versorgung der Pflanzen ist nur dann sichergestellt, wenn das S-Angebot nach Menge und Termin dem Bedarf der jeweiligen Kultur angepasst wird. Einzelheiten weist die nachfolgende *Tabelle 10c* aus. Bedingt durch die zunehmende Verarmung des Bodens an Schwefel und höheren Erträgen können auf Standorten, auf denen in der Vergangenheit schon einmal S-Mangel festgestellt wurde, auch höhere S-Mengen gedüngt werden.

*Tabelle 10c: Empfohlene S-Düngermengen und Düngertermine (Bodendüngung)
(n. VDLUFA-Mitt., H. 2/2000)*

Fruchtart	Düngermenge in kg S/ha	Düngezeitpunkt
Getreide	10 - 20	Vegetationsbeginn bis 1-Knoten-Stadium
Winterraps	20 - 40	Vegetationsbeginn*
Zuckerrübe	10 - 20	Zur Saat bis 8-Blatt-Stadium
Kartoffel	10 - 20	Zur Pflanzung bis vor dem letzten Häufeln
Mais	10 - 20	Zur Saat bis 6-Blatt-Stadium
Grünland	20 - 40	Vegetationsbeginn
Kohl	30 - 50	Zur Pflanzung
Sonstiges Gemüse	20 - 40	Zur Saat bzw. zur Pflanzung

* evtl. Teilgabe im Herbst

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 gern aufgenommen und hat positive Ertragswirkung. 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 durch Kalium und Natrium abhängig gesteuert. Bei Natriummangel ist die Magnesiumresorption im Tier und die Bildung von Sexualhormonen (Fruchtbarkeit) behindert.

Mangelerscheinungen äußern sich wie folgt:

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

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

Entsprechend ist eine kontinuierliche und bedarfsdeckende Natriumversorgung der Milchkühe über das Grundfutter anzustreben. Eine Anhebung der Na-Gehalte im Grundfutter ist besonders in weidelgras- und kleereichen Beständen durch Düngung mit Na-haltigen Düngemitteln zu erreichen. Die Schmackhaftigkeit und Aufnahme des Grundfutters wird dadurch wesentlich verbessert. Dabei ist die Aufnahme von Natrium im Tierkörper unabhängig von der Form der Grünlandnutzung (Weide, Heu oder Silage).

Durch eine Natriumdüngung kann das Kalium-Natriumverhältnis im Grundfutter auf Werte von 15-20 : 1 tiergerecht eingestellt werden. Damit können negative Aspekte hoher Kaligehalte des Grundfutteraufwuchses - für die Ertragsbildung notwendig - im Sinne der Tiergesundheit und der Futterausnutzung wirksam ausgeglichen werden.

Die Natriumdüngung auf Grünland wird vorzugsweise über Na, K, Mg, und S-haltige Rohsalze (Kainit) im zeitigen Frühjahr durchgeführt. Eine Ausbringung ist auch auf gefrorenem Boden möglich.

4.7.3. Düngeempfehlung

Im Zuckerrübenanbau sind bereits relativ geringe Natrium-Düngermengen von 20 - 50 kg Na pro ha ausreichend, um eine optimale Na-Versorgung der Rüben zu sichern.

Aufgrund vielfach deutlich unzureichender Bodenversorgung mit Natrium auf dem Grünland ist zur Anreicherung des Grundfutters und der damit verbundenen besseren Grundfutteraufnahme eine Na-Düngung von 100 –150 kg Na/ha in der Praxis üblich.

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 (*siehe Tabelle 11*). Ausnahmen hierbei sind Moor- und Sandböden.

Die *Verfügbarkeit im Boden* hängt im wesentlichen vom pH-Wert ab (vergleiche *Abbildung 1, S. 37*). Bei steigendem pH-Wert sinkt die Verfügbarkeit von Mn, Fe, Zn und B, während die Verfügbarkeit von Mo zunimmt. Latenter oder vorübergehender Mangel tritt vorrangig in Trocken- und Kälteperioden auf.

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

Im Grünland hat die Spurennährstoffdüngung besondere Bedeutung für die Futterqualität (hier besonders Cu). Bezüglich des zwar nicht für die Pflanzen, wohl aber für Mensch und Tier essentiellen Spurennährstoffs Selen ist Deutschland

ein Mangelgebiet. Selenmangel tritt vor allem bei Weidehaltung auf und führt bei Milchvieh zu Fruchtbarkeitsstörungen, hoher Kälbersterblichkeit und verstärktem Auftreten von Mastitis.

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

Bei der Bodenapplikation kann es aus verschiedenen Gründen (pH-Wert, Trockenheit, Bodenstruktur) zu Versorgungsengpässen kommen. Die Blattapplikation ermöglicht eine gezielte Mikronährstoffversorgung der Kulturpflanzen. Dadurch sind sie in der Lage, Stressfaktoren, wie z.B. ungünstige Witterungsverhältnisse und daraus resultierende Mikronährstoffdefizite zu kompensieren.

Bei akutem Mangel muss die Pflanze direkt über das Blatt mit Spurennährstoffen gedüngt werden. Chelatisierte Formen wirken etwas rascher als Salzformen. Chelate stehen aber nur für die Spurennährstoffe Mn, Fe, Cu und Zink zur Verfügung. Formulierte Produkte enthalten Netzmittel, Haftmittel und Dispergiermittel zur Verbesserung von Pflanzenverträglichkeit, Wirkungssicherheit und zur einfachen Handhabung.

Getreide

Getreide (bes. Hafer) reagiert empfindlich auf Spurennährstoffmangel. So führt Manganmangel zur Dörrfleckenkrankheit. Sichtbar wird dieser Mangel dadurch, dass die Blätter scharf abbrechen und dann am Blattgrund vertrocknen.

Kupfermangel bei Getreide führt zur "Heidemoorkrankheit" bzw. "Urbarmachungskrankheit". 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).

Zinkmangel führt bei Getreide zu einer Verzweigung und Kleinblättrigkeit. Wie auch bei anderen Kulturen, ist bei unzureichender Zinkversorgung die Entgiftung

freier Radikale vermindert, was vor allem bei starker Sonneneinstrahlung oftmals zum Auftreten von Chlorosen und Nekrosen führt.

Zuckerrüben

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

Raps

Zunehmender Bormangel bei Raps. Gestauchtes Wachstum, Einrollen und Nekrosen an den jüngsten Blättern. Absterbende Vegetationsknospen. Verkümmerte Blütenbildung.

Bei Manganmangel zeigen sich zumeist an jüngeren Blättern fleckig verteilte Chlorosen. Durch eine gute Manganversorgung wird die Krankheitsresistenz und die Winterhärte verbessert.

Molybdänmangel führt beim Raps zu löffelförmigen Blättern mit schmalen Blattspreiten.

Kartoffel

Häufig Manganmangel im Kartoffelanbau mit negativen Auswirkungen auch auf Knollenqualitäten. Punktförmige, braune Nekrosen der Blätter. Starkes Auftreten von Kartoffelschorf an den Knollen.

Mais

Mais reagiert empfindlich auf Zinkmangel. Junge Blätter fahlgelb, ältere Blätter mit chlorotischer Streifenbildung.

Obstbau

Spurennährstoffmangel ist im Obstbau von erheblicher Bedeutung. So sind Fe- und Mn-Mangelerscheinungen besonders auf kalkreichen und schweren Böden weit verbreitet. Besonders anfällig sind Apfelsorten wie "Cox Orange" und "Golden Delicious" sowie Birnen, 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, Möhren besitzen einen hohen Bedarf bzw. sind anfällig gegenüber B-Mangel.

Weinbau

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

Weitergehende Informationen finden Sie in der aktuellen Broschüre ‚Mikronährstoffe‘ vom Bundesarbeitskreis Düngung (BAD).

Tabelle 11: 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 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 DüV (Stand 2007) beschreibt die Grundsätze der fachlichen Praxis beim Düngen. Danach sind Düngemittel generell so auszubringen, dass

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

Geräte zum Ausbringen von Düngemitteln müssen den anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Insbesondere sind folgende Punkte der Düngeverordnung zu beachten:

1. Ein direkter Eintrag in Oberflächengewässer ist durch Einhalten entsprechender Abstände zu vermeiden. Zudem ist darauf zu achten, dass keine Abschwemmung von Düngemitteln erfolgt.
2. Stickstoffhaltige Dünger dürfen auf tief gefrorenen, wassergesättigten, überschwemmten und stark schneebedeckten Boden nicht ausgebracht werden.
3. Gülle, Jauche, Geflügelkot und flüssige Sekundärrohstoffdünger müssen auf unbestelltem Ackerland unverzüglich eingearbeitet werden, um gasförmige N-Verluste möglichst zu vermeiden.
4. Auf Ackerland dürfen nach der Ernte der Hauptfrucht Gülle, Gärrückstände, Jauche, Geflügelkot und flüssige N-haltige Sekundärrohstoffdünger nur zu Herbstsaaten, Zwischenfruchtbestellungen oder zum Zweck der Strohdüngung so weit ausgebracht werden, dass 40 kg/ha Ammoniumstickstoff oder 80 kg/ha Gesamtstickstoff nicht überschritten werden. Im Betriebsdurchschnitt dürfen Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft nur so weit ausgebracht werden, dass jährlich auf Grünland 230 kg/ha und auf Ackerland 170 kg/ha Gesamtstickstoff nicht überschritten werden.
5. In der Zeit vom 15. November bis 31. Januar auf Grünland und 1. November bis 31. Januar auf Ackerland dürfen Gülle, Gärrückstände, Jauche, flüssiger und fester Geflügelkot und flüssiger Sekundärrohstoffdünger (z. B. flüssiger

Klärschlamm) nicht ausgebracht werden. Ausnahmen müssen bei den zuständigen Behörden beantragt werden.

6. Auf sehr hoch mit P und K versorgten Böden betriebseigene Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft nur bis in Höhe des Phosphat- und Kalientzuges des Pflanzenbestandes (Abfuhr von der Fläche) ausgebracht werden.
7. Die im Boden verfügbaren Nährstoffmengen müssen ermittelt werden,
 - für Kalk, Phosphat und durch Bodenuntersuchung mindestens alle 6 Jahre, extensives Dauergrünland alle 9 Jahre,
 - für Stickstoff durch jährliche Bodenuntersuchung oder Übernahme von Richtwerten der Landwirtschaftskammern.
8. Der Gehalt an Gesamt-Stickstoff, Phosphat und Kali in Wirtschaftsdüngern und Sekundärrohstoffdüngern muss durch Untersuchung oder Anwendung von Richtwerten vor der Ausbringung ermittelt werden, bei Gülle zusätzlich der Ammonium-N-Gehalt.
9. Betriebe >10 ha oder >1 ha Sonderkulturen müssen Aufzeichnungen über die Zufuhr und Abfuhr der Nährstoffe führen (Nährstoffvergleich), für N jährlich, für P und K mindestens alle 3 Jahre. Der Vergleich kann auf Feld-Stall-Basis oder auf Hoftor-Basis geführt werden. Eine Bewertung des Ergebnisses ist in der Düngeverordnung nicht vorgesehen!
10. Alle Aufzeichnungen (Bodenuntersuchung, Berechnungs- und Schätzverfahren, Nährstoffbilanzen) müssen 9 Jahre aufbewahrt werden.

zu 6)

Sehr hoch mit Phosphat und Kali versorgte Böden sind im Sinne der DüV (§ 3 Abs. 6) Böden, welche die Versorgungsstufe E aufweisen. Verstöße werden als Ordnungswidrigkeit geahndet, wenn pro 100 g Boden mehr als 50 mg P_2O_5 bzw. mehr als 45 mg K_2O auf leichten Böden, mehr als 55 mg K_2O auf mittleren Böden und mehr als 65 mg K_2O auf schweren Böden, gemessen nach der CAL-Methode, enthalten sind. Diese Werte stellen keinen pflanzenbaulichen Richtwert, sondern eine ordnungsrechtliche Obergrenze dar.

zu 9)

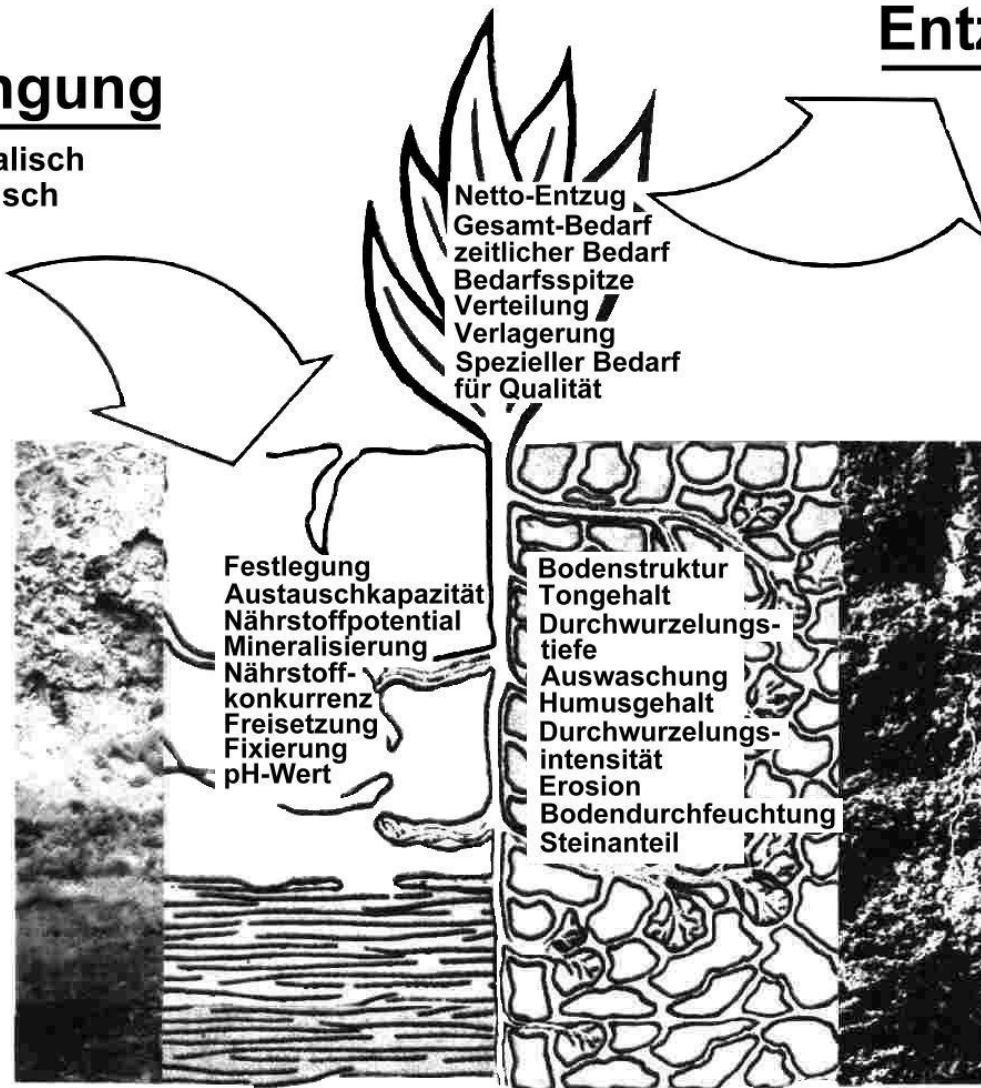
Der im Rahmen der DüV praktizierte Nährstoffvergleich hat zum Ziel, einen Überblick über die Summe der Zu- und Abflüsse der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kali zu gewinnen. Bei welchem Nährstoffsaldo tatsächlich eine Anreicherung/Überdüngung bzw. ein Abbau von Bodenvorräten vorliegt, ist äußerst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

Abbildung 3:

Düngung

mineralisch
organisch

Entzug



6. Anhang

Tabelle 1: Nährstoffgehalte im Haupt- und Nebenerntegut
(nach Musterverwaltungsvorschrift vom 26.01.96)

1. Ackerbau

Pflanzenarten	Ernteprodukte	Ø FM	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
TM-Gehalt in %	Korn : Stroh	dt/ha	kg/dt	kg/dt	kg/dt
Korn:Stroh // Rübe:Blatt	TM, RP-Geh.	FM	FM	FM	FM
Weizen (86% TM)	Korn (12% RP)		1,80	0,80	0,60
1:1	Korn + Stroh		2,30	1,10	2,00
Weizen (86% TM)	Korn (14,5% RP)		2,20	0,80	0,60
1:1	Korn + Stroh		2,70	1,10	2,00
Wintergerste (86% TM)	Korn (12% RP)		1,70	0,80	0,60
1:1	Korn + Stroh		2,20	1,10	2,30
Winterroggen (86% TM)	Korn (11% RP)		1,50	0,80	0,60
1:1	Korn + Stroh		2,00	1,10	2,60
Triticale (86% TM)	Korn (12% RP)		1,80	0,80	0,60
1:1	Korn + Stroh		2,30	1,10	2,30
S-Futtergerste (86% TM)	Korn (12% RP)		1,70	0,80	0,60
1:1	Korn + Stroh		2,20	1,10	2,30
Braugerste (86% TM)	Korn (10,5% RP)		1,40	0,80	0,60
1:1	Korn + Stroh		1,90	1,10	2,30
Hafer (86% TM)	Korn 11% RP)		1,50	0,80	0,60
1:1,2	Korn + Stroh		2,00	1,10	2,60
Körnermais (86% TM)	Korn (10% RP)		1,50	0,80	0,50
(auch CCM)	Korn + Stroh		2,40	1,00	2,50
Ackerbohnen (86% TM)	Korn (30% RP)	40	4,10	1,20	1,40
	Korn + Stroh	40	5,60	1,50	4,00
Erbsen (86% TM)	Korn (26% RP)	40	3,60	1,10	1,40
	Korn + Stroh	40	5,10	1,40	4,00
Raps (91% TM)	Korn (23% RP)		3,30	1,80	1,00
	Korn + Stroh		4,40	2,40	5,00
Sonnenblumen	Korn (20% RP)		2,80	1,60	2,40
	Korn + Stroh		5,50	3,20	11,40
Öllein	Korn		3,50	1,20	1,00
	Korn + Stroh		4,30	1,50	3,10

Fortsetzung siehe folgende Seite

Fortsetzung Ackerbau

Pflanzenarten	Ernteprodukte	Ø FM	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
TM-Gehalt in %	Korn : Stroh	dt/ha	kg/dt	kg/dt	kg/dt
Korn:Stroh // Rübe:Blatt	TM, RP-Geh.	FM	FM	FM	FM
Kartoffeln	Knollen		0,35	0,14	0,60
Zuckerrüben	Rüben		0,18	0,10	0,25
1:0,7	Rüben + Blatt		0,46	0,18	0,75
Gehaltsrüben	Rüben		0,18	0,09	0,50
1:0,4	Rüben + Blatt		0,30	0,12	0,75
Massenrüben	Rüben		0,14	0,07	0,45
1:0,4	Rüben + Blatt		0,25	0,09	0,60
Silomais (28% TM)	130 dt TM	465	0,38	0,16	0,45
Rotklee		500	0,55	0,13	0,60
Luzerne		500	0,60	0,14	0,65
Weidelgras		500	0,48	0,16	0,65
Kleegras	Klee:Gras = 50:50	500	0,52	0,14	0,62
Kleegras	Klee:Gras = 70:30	500	0,53	0,14	0,62
Luzernegras	Luzerne:Gras = 50:50	500	0,54	0,15	0,65
Luzernegras	Luzerne:Gras = 70:30	500	0,55	0,15	0,65
Futterzwischenfrüchte			0,35	0,11	0,45

2. Grünland

	Erträge	Nährstoffgehalte			Entzüge		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	dt/ha	kg/dt	kg/dt	kg/dt	kg/ha	kg/ha	kg/ha
	TM	TM	TM	TM			
1. Nutzung	40	1,30	0,60	1,50	52	24	60
2. Nutzung	55	1,80	0,70	2,50	99	39	138
3. Nutzung	75	2,20	0,95	2,90	165	71	218
4. Nutzung	90	2,70	1,00	3,00	243	90	270
5. Nutzung	110	2,80	1,00	3,00	308	110	330

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 3a: Nährstoffgehalte in Gülle und Jauche in kg/m³
(anrechenbarer N nach Abzug von 10 % Lagerungsverlust)
(n. LUFA Nord-West)

Art	% TM	N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO*	MgO	Cu
Rindergülle, Kühe	10	4,7	2,6	1,9	6,2	-	1,0	0,020
Bullengülle	10	4,7	2,6	2,2	5,5	-	1,0	0,010
Kälbergülle	3	3,6	2,5	1,5	3,7	-	0,2	0,010
Mastschweinegülle	6	5,6	3,9	3,1	3,0	-	1,0	0,025
Sauengülle	4	3,8	2,6	2,3	2,1	-	0,6	0,025
Ferkelgülle	4	3,2	2,2	1,9	2,1	-	0,2	0,020
Hühnergülle	12	11,8	7,0	8,7	6,0	14	1,0	0,010
Rinderjauche	2	3,0	2,7	0,2	10,0	-	0,2	0,003
Schweinejauche	2	5,0	4,5	0,9	4,0	-	0,2	0,003
* in etwa anrechenbare basisch wirksame Menge								

Tabelle 3b: Nährstoffgehalte in Rottemist und Geflügelkot in kg
(anrechenbarer N nach Abzug von 25 % Lagerungsverlust)
(n. LUFA Nord-West)

Menge und Art		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO*	MgO	Cu
1 t (ca. 1,2 m ³)	Rindermist	5,4	3,2	7	-	1,5	0,010
1 t (ca. 1,1 m ³)	Sauenmist	8	8	6	-	2	0,010
1 t (ca. 2,0 m ³)	Hühnertrockenkot	28	21	15	43	6	0,020
1 t (ca. 2,0 m ³)	Hähnchen- u. Junghennenmist	28	21	23	-	4	0,070
1 t (ca. 2,5 m ³)	Putenmist	23	17	16	-	4	0,050
1 t (ca. 2,0 m ³)	Pferdemist	5	3	8	-	0,9	-
* in etwa anrechenbare basisch wirksame Menge							

Tabelle 4: Kalkwerte wichtiger Düngemittel

Düngemittel	Kalkverlust bzw. -gewinn in kg CaO je 100 kg N / P ₂ O ₅ / K ₂ O	
Stickstoffdünger (% N)	Acker	Grünland
Kalkammonsalpeter (27)	-58	-36
YaraBela SULFAN (24)	-92	-87
YaraBela OPTIMAG	-59	
Schwefels. Ammoniak (21)	-300	-280
Ammonsulfatsalpeter, Entec 26 (26)	-196	-173
Stickstoffmagnesia (22)	±0	-18
Harnstoff (46), Alzon 46 (46)	-100	-80
Yara Ureas (38)	-134	-126
Piamon 33 S (33)	-164	-131
Kalkstickstoff (21)	+167	+186
AHL , Liquamon, Alzon flüssig (28)	-100	-80
Piasan 24 S (24) , Alzon flüssig S (24)	-122	-98
Kalksalpeter (15,5)	+80	+100
Phosphatdünger (% P ₂ O ₅)		
Triplesuperphosphat (46)	-6	-6
Dolophos (15)	+400	+400
P 23 / P 35	+56 / +20	+56 / +20
NP-Dünger (% N, % P ₂ O ₅)		
Monoammonphosphat (11/52)	-336	-318
Diammonphosphat (18/46)	-210	-184
Entec 25/15	-128	-128
NP-Dünger (20/20)	-90	-70
NP-Dünger (26/14)	-54	-49
NP-Lösung (10/34)	-250	-240
NPK-Dünger (% N, % P ₂ O ₅ , % K ₂ O)		
6/12/18	-183	-167
12/12/17	-100	-108
15/15/15	-93	-73
20/7/10+3MgO+4S, 20/6/11+3S	-115	-95
23/5/5+6S	-152	-130
18/6/12+4MgO+2S	-90	-85
201010	-96	-75
13/13/21	-92	-69
PK-Dünger (% P ₂ O ₅ , % K ₂ O)		
PK 12+24	+42	+42
PK 14+14+4 MgO	+35	+35
Alle Kali- und MgO-Dünger	± 0	± 0

Bei der Angabe der CaO-Gehalte diverser Düngemittel ist einzig und allein die basische Wirksamkeit entscheidend.

Tabelle 5: Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger

Produkt	Ges. N	Nitrat-N	Ammonium-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)
YaraBela SULFAN,	24	12	12	-	6 % S
YaraBela OPTIMAG	24	12	12		8 % MgO, 6 % S
Stickstoffmagnesia	22	11	11	-	7 % MgO (MgCO ₃)
Ammonsulfatsalpeter	26	7	19	-	13 % S
Entec 26	26	7,5	18,5	-	13 % S, DMPP
Schwefelsaures Ammoniak	21	-	21	-	24 % S
Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL),	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	46	-	-	46	-
Yara Ureas	38	-	6,6	31,4	7,5 % S
Alzon 46	46	-	-	43	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	P₂O₅ %	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
P 23 (Novaphos)	23	mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 50 % wasserlöslich; 13 % CaO, 9 % S; teilaufgeschlossenes Rohphosphat
P 35	33	neutral-ammoniumcitratlösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 30 % wasserlöslich
Dolophos 15	15	mineralsäurelösliches Phosphat, davon 60 % in 2 %iger Ameisensäure, 65 % CaCO ₃ und 15 % MgCO ₃

Tabelle 7: Zusammensetzung wichtiger Kalidünger

Produkt	K₂O %	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 (Kali-magnesia)	30	10	-	17	K-Sulfat, Mg-Sulfat

Tabelle 8: 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 - 65	z.T. MgO
Magnesiummischkalk	CaO/MgO/CaCO ₃	55 - 80	15 – 30 % MgO
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
Hüttenkalk	Ca- + Mg-Silikate	47	7 - 10 % MgO, ca. 32 % lösl. Kieselsäure (SiO ₂), Spurennährstoffe
Konverterkalk feucht-körnig	Ca- + Mg-Silikate	43	5 % MgO, 12 % lösl. Kieselsäure (SiO ₂), Spurennährstoffe
Konverterkalk	Ca- + Mg-Silikate	50	3 %MgO, ca. 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Thomaskalk® 4	Ca- + Mg-Silikate	45	4 % P ₂ O ₅ , MgO, 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Rückstandskalk	CaCO ₃ CaO Ca(OH) ₂	>30	z: T. MgO, Spurennährstoffe

Tabelle 9: Zusammensetzung wichtiger Magnesiumdünger

Produkt	MgO %	S %	Bindungsform, weitere Nährstoffe
Kieserit „fein“	27	22	Magnesiumsulfat
Kieserit „gran.“	25	20	Magnesiumsulfat
EPSO Top (Bittersalz)	16	13	Magnesiumsulfat * 7 H ₂ O
EPSO Microtop	15	12	MgSO ₄ mit 1 % B, 1 % Mn
EPSO Combitop	13	13	MgSO ₄ mit 4% Mn; 1% Zn
Patentkali	10	17	Magnesiumsulfat
Stickstoffmagnesia/	7	-	Magnesiumcarbonat
Kohlensaurer Magnesiumkalk	8 - 17	-	Magnesiumcarbonat
Magnesium-Mischkalk	15 - 25		Magnesiumcarbonat + Magnesiumoxid
Magnesium-Brannkalk	15 - 35	-	Magnesiumoxid
Hüttenkalk	7	-	Magnesiumsilikat

Tabelle 10: Zusammensetzung wichtiger schwefelhaltiger Dünger:

Produkt	S %	Sonstige Nährstoffe %
N-Einzeldünger		
Ammonsulfat	24	21 N
Ammonsulfatsalpeter, Entec 26	13	26 N
YaraBela SULFAN YaraBela OPTIMAG 24	6	24 N, 8 MgO
Yara Ureas	7,5	38 N
Piamon 33 S	12	33 N
P-Einzeldünger		
Superphosphat	12	18 P ₂ O ₅
P 23	9	23 P ₂ O ₅

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 10: Zusammensetzung wichtiger schwefelhaltiger Dünger:

Produkt	S %	Sonstige Nährstoffe %
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-Kainit	4	11 K ₂ O, 5 MgO, 20 Na
Mg-Einzeldünger		
Kieserit „fein“	22	27 MgO
Kieserit „gran“	20	25
EPSO Top (Bittersalz)	13	16 MgO
Kalkdünger		
Granukal S	3	85 CaCO ₃
PK-Dünger	2 - 8	P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO
NPK-Dünger	2 - 8	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO

Tabelle 11: Zusammensetzung wichtiger natriumhaltiger Dünger:

Produkt	Na %	MgO %	sonstige Nährstoffe	Nährstoffform
Magnesia-Kainit	20	5	11 % K ₂ O, 4 % S	Rohsalz = Steinsalz* K in Chloridform, Mg in Sulfatform
Kornkali 40/6	3	6	40 % K ₂ O, 4 % S	K in Chloridform Mg in Sulfatform

Tabelle 12: Zusammensetzung wichtiger Mehrnährstoffdünger

N %	P₂O₅ %	K₂O %	MgO %	Bemerkungen
1. PK-(Mg)-Dünger				
-	7-25	7-40	0-12	PK-Dünger (Teilaufschluss oder Vollaufschluss), Sorten mit bis zu 25 % CaO; bis 9 % S PK-Dünger mit kohlens. Magnesiumkalk P ₂ O ₅ -Löslichkeiten siehe vergleichbare „Phosphatdünger“
2. NK-Dünger				
9-19	-	16-34	2	vom N 50 Anteile NO ₃ -N
3. NP-Dünger				
20-26	14-20	-	-	YaraMila, Nitrophos; 5-11 % CaO vom N ca. 40 % NO ₃ -N; vom P ₂ O ₅ ca. 50-85 % wasserlöslich
25	15	-	-	Entec 25+15, 11 % NO ₃ -N, 13 % NH ₄ -N stabilisiert, P ₂ O ₅ ca. 80 % wasserlöslich
10	34	-	-	Praysol, flüssige NP-Dünger
18	46	-	-	Diammonphosphat; N als NH ₄ ; P ₂ O ₅ zu 90 % wasserlöslich
12	54	-	-	Monoammonphosphat; P ₂ O ₅ zu 90 % wasserlöslich
4. NPK-(Mg)-Dünger				
6-24	4-16	7-21	0-4	YaraMila, Nitrophoska; N zu 20-45 % als NO ₃ -N, sonst NH ₄ -N; Entec, mit stabilisiertem NH ₄ -N P ₂ O ₅ zu 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

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

Tabelle 13: Schüttgewichte von und Lagerungshinweise zu verschiedenen Mineraldüngen
(n. Faustzahlen für Landwirtschaft, 12. Auflage, 1993; ergänzt)

Düngemittel	Schüttgewichte in kg/m ³
Kalksalpeter, SSA, NP, NP mit Entec	ca. 1.000
KAS, Stickstoffmagnesia, YaraBela SULFAN, YaraBela OPTIMAG 24	950 – 1.050
ASS	ca. 800 – 850
Entec 26	950
Harnstoff	ca. 700
Piamon	ca. 800
Kalkstickstoff/Perlka	ca. 1.000
AHL 28, Alzon flüssig	1.280
Kali	1.100
PK-Dünger	950 – 1.000
NPK, NPK mit Entec	1.000 – 1.100
Brantkalk gemahlen (je nach Vermahlung und Feuchte)	800 – 1.200
Kohlensaure Kalke (je nach Vermahlung und Feuchte)	800 – 1.700
Mischkalke (je nach Vermahlung und Herstellung)	1.000 – 1.500
Konverterkalk	ca. 1.500
Hüttenkalk	ca. 1300

Handhabung und Lagerung

Hinweise zur sachgerechten Handhabung und Lagerung mineralischer Düngemittel sind in folgenden Merkblättern zusammengestellt:

1. Muster-Betriebsanweisung für die Lagerung von Düngemitteln
2. Muster-Betriebsanweisung gemäß TRGS 511 Nr. 5 (1) (2)
3. Merkblatt für die Lagerung von ammoniumnitrathaltigen Düngemitteln der deutschen Stickstoffindustrie
4. Hinweise für die Feuerwehr bei Bränden in Düngerlagern oder bei Zersetzung von ammoniumnitrathaltigen Düngemitteln
5. Hinweise zum Umgang mit Löschwässern bei Bränden in Düngerlagern oder bei Zersetzung von ammoniumnitrathaltigen Düngemitteln

Diese Umdrucke können kostenlos angefordert werden beim

Industrieverband Agrar e.V.
Fachbereich Pflanzenernährung
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt a.M.
Tel: 069-25 56-15 96, Fax: 069-23 67 02
www.iva.de

Tabelle 14: Bestimmungsschlüssel für wichtige Nährstoffmangelsymptome
(n. FINCK 1969)

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, Kohllarten (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. Kohllarten: 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
(n. 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 waagerecht 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 geschlossen
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, „Siloreife“, ca. 55 % TS im Korn
34	4. Knoten wahrnehmbar	87	Physiologische Reife, am Korngrund schwarzer Punkt, ca. 60 % TS
53	Spitze der Rispe sichtbar	89	Vollreife, Körner hart und glänzend, 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		

