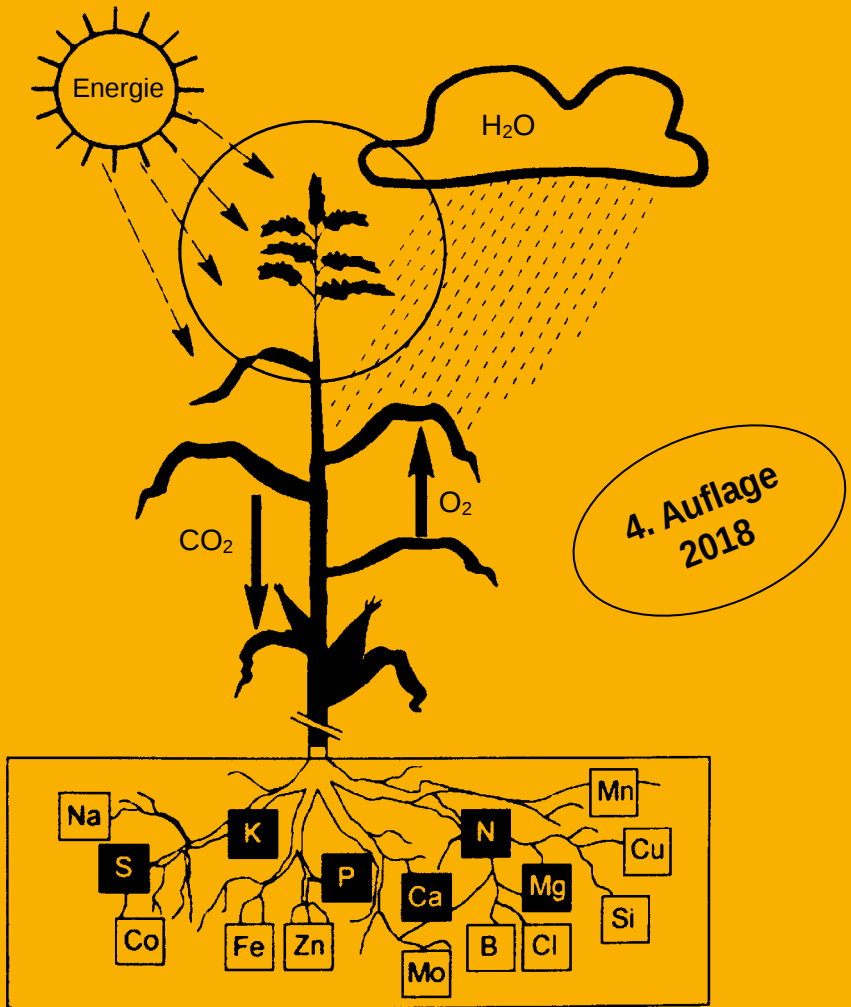


INFORMATIONEN ZUR DÜNGUNG

FÜR AGRARHANDEL UND BERATUNG IM PFLANZENBAU



	Seite
1. Vorwort	1
2. Begriffsbestimmungen	2
3. Bodenuntersuchung	4
4. Abhandlung der Nährstoffe	9
4.1. Stickstoff	9
4.1.1. Ermittlung des N-Bedarfs für Ackerkulturen und Düngungsempfehlungen	9
4.1.2. Ermittlung des N-Düngebedarfs im Grünland	18
4.1.3. Ermittlung des N-Düngebedarfs für Gemüsekulturen	19
4.1.4. Ermittlung des N-Düngebedarfs für Dauerkulturen (Obst, Reben, Beerenobst)	21
4.1.5. Wirkung des Stickstoffs in organischen Düngern	21
4.1.6. Wirkungsweise mineralischer N-Formen	23
4.1.7. Kalkstickstoff	28
4.1.8. N-Ausnutzung verschiedener N-Dünger	28
4.2. Phosphat	30
4.2.1. Phosphat im Boden	30
4.2.2. Phosphat in der Pflanze	32
4.2.3. Phosphaternährung und -düngung im Pflanzenbau	32
4.2.4. Wirkung der Phosphatdüngung auf die Qualität verschiedener Kulturen	35
4.2.5. Phosphatdüngemittel	36
4.2.6. Düngeverfahren	39
4.2.7. Phosphat in organischen Düngern	39
4.3. Kalium	42
4.3.1. Kali in der Pflanze	42
4.3.2. Kali im Boden	44
4.3.3. Düngebedarf	46

	Seite
4.3.4. Düngeverfahren	47
4.3.5. Kaliformen	48
4.4. Kalk	50
4.4.1. Düngungsempfehlung	50
4.4.2. Kalkverbrauch - Erhaltungskalkung	51
4.4.3. Kalkformen und -wirkung	53
4.4.4. pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit	53
4.4.5. Die Kalkung im Jahresablauf	55
4.4.6. Kalkausbringung	56
4.5. Magnesium	57
4.5.1. Magnesium in Boden und Pflanze	57
4.5.2. Magnesiumbedarf	58
4.5.3. Magnesiumformen und deren Wirkungsweise	59
4.5.4. Empfehlungen zur Magnesiumdüngung	60
4.6. Schwefel	62
4.6.1. Schwefel im Boden	62
4.6.2. Schwefel in der Pflanze	63
4.6.3. Schwefelformen	66
4.6.4. Schwefelbedarf	67
4.7. Natrium	69
4.7.1. Natrium im Pflanzenbau	69
4.7.2. Natrium in der Tierernährung	69
4.8. Spurennährstoffe	71
4.8.1. Untersuchungsmethodik und Richtwerte für Spurennährstoffe	72
4.8.2. Deklaration von Spurennährstoffdüngern	74
4.8.3. Bedeutung der Düngung von Spurennährstoffen	76
4.9. Nützliche Begleitnährstoffe	
4.9.1. Kieselsäure	78
4.9.2. Selen	79
4.9.3. Chlorid	80

	Seite
5. Andere Düngungsstrategien	81
5.1. Die Blattdüngung bzw. Flüssigdüngung	81
5.2. Die Platzierte Düngung	82
6. Düngetechnik, Düngerlagerung, Mischbarkeit von (N-)Düngern	83
7. Rechtliche Rahmenbedingungen im Düngebereich	88
7.1. Düngeverordnung	88
7.2. Gute fachliche Praxis	90
7.3. Unvermeidbare Verluste	90
7.4. Kennzeichnungspflicht und Deklaration	92
8. Anhangstabellen	
Tab. 1: Durchschnittlicher Nährstoffbedarf wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen	96
Tab. 2: Durchschnittlicher Nährstoffbedarf bei Gemüse und Sonderkulturen	97
Tab. 3: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern (Auswahl)	98
Tab. 4: Anrechenbare Nährstoffe aus Ernterückständen	99
Tab. 5: Im ökologischen Landbau zugelassene Mineraldünger	99
Tab. 6: Kalkwerte wichtiger Düngemittel	100
Tab. 7: Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger	101
Tab. 8: Zusammensetzung wichtiger Kalidünger	102
Tab. 9: Zusammensetzung wichtiger Magnesiumdünger	102
Tab.10: Zusammensetzung wichtiger Phosphatdünger	103
Tab.11: Wichtige schwefelhaltige Mineraldünger	103
Tab.12: Zusammensetzung wichtiger Kalke	104

	Seite
Tab.13: Zusammensetzung wichtiger Mehrenährstoffdünger	105
Tab.14: Schwefelbedarf verschiedener Kulturarten	106
Tab.15 - 19: Weitere Korrekturen in Form von Zu- und Abschlägen bei der Ermittlung des N-Düngebedarfs für Grünland und im mehrschnittigen Feldfutterbau lt. DüV	107
Tab.20 - 21: Zusammensetzung wichtiger N-Einzeldünger	109
Tab.22: Umsetzungsgeschwindigkeit von N-Einzeldüngern	110
Tab.23: Nährstoffentzüge durch die Reben	111
Tab.24: Stickstoffbedarfswerte für Obstarten	111
Tab.25: Nährstoffbedarf für die Aufdüngung	112
Tab.26: Kali-Fixierungsvermögen verschiedener Tonminerale	113
Tab.27: Richtlinien zur Kali-Düngung auf Fixierungsstandorten	113
Tab.28: Bestimmungsschlüssel für wichtige Mangelsymptome	114
Abb. 1: Mineraldünger-Äquivalente für Stickstoff	110
Abb. 2: Nährstoff-Effizienz in Abhängigkeit der Bodenstruktur	112
Abb. 3: Nährstoffwechselwirkungen	116
 Gebräuchliche Abkürzungen	 117
Umrechnungsfaktoren	119

Nachdruck nur nach Genehmigung durch den LAD Baden-Württemberg.

Bestellung der Broschüre bei allen LAD-Mitgliedern möglich.

Einzelexemplare sind kostenlos.

Sie finden die Broschüre auch in digitaler Form unter

www.iva.de/publikationen, darunter befinden sich auch die LAD-Broschüren

1. Vorwort

Erfolgreicher Pflanzenbau ist nur möglich, wenn den Pflanzen während der gesamten Vegetationszeit eine optimale Nährstoffversorgung angeboten wird. Ein exakt gesteuertes Stickstoffangebot und ein ständig ausreichender Vorrat an Grund- und Spurennährstoffen auf der Basis einer optimalen Kalkversorgung sind Grundvoraussetzung dafür, dass moderne Sorten ihr hohes Leistungspotential voll ausschöpfen können. Die Düngung muss hier zunehmend mit dem gegenwärtig teils rasanten Züchtungs- und Technologiefortschritt mithalten.

Der Agrikulturchemiker Professor Konrad Mengel hat das anschaulich definiert: „Für Hochleistungssorten gilt das Prinzip vom vollen Tisch.“ Dabei lassen sich ökonomische und ökologische Aspekte durchaus in Einklang bringen.

Im Auftrag des Bundesarbeitskreises Düngung werden turnusgemäß Umfragen zum aktuellen Beratungsanspruch von Landwirten durchgeführt. Ein Großteil aller Befragten in dieser Studie richtet sich bei der Düngung nach Empfehlungen von Beratungseinrichtungen und Berufskollegen. Aufgrund der neuen DüV im Jahr 2017 wird der Beratungsbedarf sogar noch steigen.

Besonders geschätzt wird die stets kompetente Beratung, die vom Agrarhandel ausgeht, der wiederum zu einer der wichtigsten Zielgruppen der vorliegenden LAD-Broschüre gehört. Weitere Zielgruppen sind alle möglichen Beratungseinrichtungen für Pflanzenbau, die von Praktikern aus Landwirtschaft, Erwerbsgartenbau sowie Forstwirtschaft in Anspruch genommen werden, sowohl aus dem Haupt-, Zu oder Nebenerwerb. Wir können damit sogar Haus- und Kleingartenbesitzer erreichen.

Diese LAD-Broschüre ist vorrangig ein Leitfaden für Düngemittelkunde, Düngung und Pflanzenernährung mit Schwerpunkt beim Mineraldünger. Im Tabellenanhang finden Sie in übersichtlicher Form alle wesentlichen Daten, die zum Erstellen einer Düngerbedarfsermittlung benötigt werden. Bei Mehrnährstoffdüngern kann jedoch rein aus Platzgründen darin nicht jedes Produkt aufgeführt sein.

Für weitergehende Fragen stehen Ihnen die Mitglieder des LAD (siehe hintere Deckblatt-Innenseite) jederzeit gerne zur Verfügung.

Ihr LAD Baden-Württemberg

2. Begriffsbestimmungen

Man unterscheidet folgende Begriffe:

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

(Gesamt-)Entzug entspricht einem Teil des Nährstoffbedarfs und ist die gesamte Menge an Nährstoffen, die im Ernteprodukt und in Ernterückständen gefunden wird.

Netto-Entzug (= Nährstoffabfuhr) ist die Nährstoffmenge, die über die Ernteprodukte das Feld verlässt. Ernterückstände, die auf dem Feld verbleiben, sind darin eben nicht enthalten.

Düngebedarf ist die Nährstoffmenge, die in Ergänzung zu den verfügbaren Nährstoffen aus dem Bodenvorrat und sonstiger verfügbarer Nährstoffmengen wie z.B. aus Ernterückständen noch gedüngt werden muss. Der Düngebedarf ist unter anderem von Standortfaktoren, Witterung, Bewirtschaftungsintensität und genetischer Veranlagung der Sorte abhängig. Unvermeidbare Verluste (siehe Kap. 5.3.) durch Ausgasung, Auswaschung und Festlegung müssen berücksichtigt werden. Bei Phosphat und Kali ist dabei die Gehaltsklasse C sicherzustellen.

Mineraldüngerbedarf umfasst die Nährstoffmenge, die als Ergänzungsdüngung zum Nährstoffangebot aus allen anderen Nährstoffquellen und in aller Regel als die Differenz von Düngebedarf und anrechenbarem Wirtschaftsdüngeranteil zu verstehen ist.

Nährstoffaufnahme beschreibt den Vorgang der Nährstoffaneignung durch die Pflanzen und beinhaltet den zeitlichen Verlauf des Nährstoffbedarfs während der einzelnen Vegetationsabschnitte bzw. von der Saat bis zur Ernte.

Erhaltungsdüngung umfasst die Nährstoffmenge, die eine weitgehend optimale Pflanzenernährung sicherstellen soll, ökonomisch sinnvoll ist, und langfristig die Bodenfruchtbarkeit, d.h. die Ertragsfähigkeit des Standorts erhält.

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

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

Fruchtfolgedüngung umfasst die Nährstoffmenge, die – vorausgesetzt bei guter Nährstoffversorgung des Bodens – mindestens den Nettoentzug einer gesamten Fruchtfolge so abdeckt, dass die Bodenfruchtbarkeit nicht leidet. Diese Düngung, die ja insbesondere die Grundnährstoffe Phosphat und Kali betrifft, kann beim Einsatz von NPK- und PK-Düngemitteln innerhalb der Fruchtfolge zu jeder Kultur erfolgen, während sie bei Einzeldüngern bevorzugt zur Blattfrucht mit dem jeweils höchsten Einzelnährstoffbedarf durchgeführt wird.

Düngung ist die Zufuhr von Pflanzennährstoffen über Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate oder Pflanzenhilfsmittel zur Erzeugung von Nutzpflanzen sowie zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.

Nährstoffzufuhr ist die Summe der über Düngung und dem Nährstoffeintrag außerhalb einer Düngung zugeführten Nährstoffmengen.

Eine **wesentliche Nährstoffmenge** ist im Sinne der DüV eine zugeführte Nährstoffmenge je Hektar und Jahr von mehr als 50 kg Stickstoff (Gesamt-N) oder mehr als 30 kg Phosphat.

Nährstoff-Effizienz ist das Verhältnis von Nährstoff-Input zum Nährstoff-Output. Es ist also sozusagen die Produktivität der Düngung allgemein oder die eines bestimmten Düngesystems bzw. einer bestimmten Düngestrategie unter dem Blickwinkel von Ausnutzungsraten der eingesetzten Nährstoffeinheiten bzw. Nährstoffmengen im Verhältnis zum individuell definierten Produktionsziel (Ertrag und Qualität). Eine hohe Nährstoff-Effizienz schont die Ressourcen, die Umwelt durch ausgeglichene Nährstoffbilanzen sowie den Geldbeutel der Landwirte. Von **Nährstoffwechselwirkung** (= Interaktion) spricht man, wenn sich mindestens zwei oder auch mehr essentielle Pflanzennährstoffe gegenseitig in ihrer Pflanzenverfügbarkeit bzw. in ihrer Wirksamkeit beeinflussen (→ Seite 116, Anh.-Abb. 3).

3. Bodenuntersuchung (BU)

Laut DüV ist die Bodenuntersuchung auf den pH-Wert sowie die Nährstoffe Phosphat und Kalium verpflichtend. Für P und K muss sie bei Betrieben größer als 10 Hektar mindestens alle sechs Jahre erfolgen (bei Schlaggröße < 1 ha nur eine Mischprobe, ansonsten Teilflächen ≤ 3 ha). Diese beiden Grundnährstoffe und der pH-Wert sind auch Bestandteil der sog. Standard-BU. Aus rein pflanzenbaulicher Sicht wäre es für die Zukunft äußerst wünschenswert, wenn auch Magnesium in der Standard-BU enthalten wäre. Außerdem sollte künftig auf intensiven Nutzflächen die Standard-BU zumindest für die wichtigsten Hauptnährstoffe P und K in noch kürzeren Intervallen erfolgen.

Denn die Kenntnis der Nährstoffgehalte im Boden ist nach wie vor eine äußerst wertvolle Orientierungshilfe für jeden Praktiker und Berater in Bezug auf die Düngebedarfsermittlung. Dafür ist die Bodenuntersuchung unentbehrlich. Erst dadurch ist es möglich, einerseits kostensparend zu düngen und den Pflanzen trotzdem die für ihr optimales Wachstum nötigen Nährstoffmengen gezielt anzubieten sowie andererseits Umweltbelastungen durch Überdüngung zu vermeiden.

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

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

Folglich darf die BU bezüglich ihrer Aussagekraft nicht überschätzt werden, da sie einige Unsicherheiten aufweist. Dennoch gibt es derzeit wohl kein besseres Instrument zur Düngerbedarfsermittlung als die BU. Sie wird daher auch künftig unverzichtbarer Bestandteil der Düngeplanung bleiben. Auch andere Methoden zur Düngerbedarfsermittlung wie zum Beispiel die Pflanzenanalyse und die Nährstoffbilanzierung haben ihre Schwächen. Reines Bilanzdenken, d.h. nur der Vergleich von Nährstoffzufuhr und Nährstoffabfuhr, erlaubt keine korrekte Ermittlung des Düngerbedarfs, da wesentliche Umwelt- und Standortfaktoren nicht berücksichtigt werden (→ u.a. Abb. 13, Seite 95 und Anhangs-Abbildung 2, S. 112).

Im Übrigen sollte das letzte Milligramm hin oder her nicht entscheidend sein, vor allem im Grenzbereich der Versorgungsstufen (Tab. 1). Viel zu selten nämlich ist die mit einer Bodenprobe erfasste Fläche völlig homogen. Das heißt, die Nährstoffgehalte können sogar innerhalb eines Schläges einer erheblichen Streuung unterliegen. Die vielfältige Abhängigkeit der über die BU ermittelten Nährstoffgehalte von spezifischen Standortfaktoren rechtfertigt ohne weiteres Zu- oder Abschläge, in Einzelfällen sogar über die in Tab. 1 genannten Düngungsziele in den einzelnen Gehaltsklassen hinaus.

Tab. 1: Versorgungsbereiche der Bodennährstoffe und allgemeine Düngungsempfehlungen

Gehaltsklasse	Düngung	Kalkung
A =sehr niedrig	stark erhöhte Düngung	Gesundungskalkung
B = niedrig	mäßig erhöhte Düngung	Aufkalkung
C = anzustreben (optimal)	Erhaltungsdüngung	Erhaltungskalkung
D = hoch	verringerte Düngung	Keine Kalkdüngung
E = sehr hoch	vorübergehend keine Düngung	Keine Kalkdüngung

Der beste Zeitpunkt im Jahr für die Bodenprobenahme ist der späte Herbst. Eine Entnahme ist auch im zeitigen Frühjahr möglich. Düngen sollte man vorher nicht.

Bodenuntersuchungs-Methoden

Die BU ermittelt den Nährstoff- und Düngerbedarf mit Hilfe langjährig erprobter Standardmethoden. Die wichtigsten sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Wichtige Bodenuntersuchungsmethoden

Name	Bestimmung von
CAL-Methode (Calcium-Acetat-Lactat)	P, K
DL-Methode (Doppel-Lactat)	P, K
CaCl ₂ -Methode (0,01 M) (Calciumchlorid)	pH-Wert, Mg
EUF-Methode (Elektro-Ultra-Filtration)	N, P, K, Mg, Ca, B
N _{min} -Methode nach DSN = Düngeberatungssystem Stickstoff	NO ₃ -N (nach Bodenschichten von je 30 cm) NH ₄ -N, N-Gesamt
P-Wasser-Methode	P
CAT-Methode)*	Spurenelemente Mn, Zn, Cu und Bor

)* gilt in Baden-Württemberg momentan nur für die vier Spurenelemente Mangan, Zink, Kupfer und Bor, für andere Spurenelemente wie z.B. Molybdän und Eisen werden andere Methoden verwendet

Fehlerquellen bei der BU sind oftmals eine unsachgemäße Probenahme und Probenaufbereitung bzw. -aufbewahrung. Außerdem ist die BU nur eine Momentaufnahme des Nährstoffgehaltes. Das betrifft vor allem die N_{min}-Methode.

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

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

Bodenreaktion (pH-Wert)

Unter Bodenreaktion versteht man die Konzentration der freien und austauschbaren Wasserstoff-Ionen (H^+). Die Messgröße dafür ist der pH-Wert. Die Messung des pH-Wertes erfolgt in einer Bodensuspension (Aufschlämmung) mit einer Messelektrode. Als Suspensionsmittel wird standardmäßig eine 0,01 molare $CaCl_2$ -Lösung verwendet. Alternativ geht die pH-Wert-Messung auch mit KCl-Lösung oder destilliertem Wasser als Suspensionsmittel. Der mit KCl-Lösung ermittelte pH-Wert ist im Vergleich zur Messung mit $CaCl_2$ -Lösung niedriger, das Ergebnis bei der H_2O -Methode dagegen höher.

In der Praxis gut bewährt hat sich auch der Schnelltest vor Ort mit dem „Hellige-pH-Meter“ vom Hersteller PRONOVA.

EUF-Methode

Aufschluss über die pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Boden (Krume) geben die aufgeführten *EUf-Richtwerte in Tabelle 3*:

N-Aufdüngungsbedarf (kg N/ha)	0 50 - 100 > 160	= sehr niedrig = mittel = sehr hoch
Verfügbare Phosphormenge als Gesamt-EUF-P* (mg/100g Boden)	< 1,5 3,0 - 4,0 > 5,0	= sehr niedrig = mittel = sehr hoch
Verfügbare Kaliummenge (mittlerer Boden) Gesamt-EUF-K* (mg/100g Boden)	< 10 15 - 25 > 30	= sehr niedrig = mittel = sehr hoch
Verfügbare Magnesiummenge als Gesamt-EUF-Mg* (mg/100g Boden)	< 1,5 2,0 - 3,0 > 4,0	= sehr niedrig = mittel = sehr hoch
Verfügbare Calciummenge als Gesamt-EUF-Ca* (mg/100g Boden)	< 20 30 - 50 > 60	= sehr niedrig = mittel = sehr hoch

*Phosphor, Kali, Magnesium und Calcium = Elementform

Dazugehörige Umrechnungsfaktoren siehe Seite 120, Tabelle: Umrechnungsfaktoren

Gesamt-EUF-P bzw. Gesamt-EUF-K umfasst jeweils die im Bescheid ausgewiesenen Fraktionen P_1 und P_2 bzw. K_1 und K_2 .

Dabei entspricht in etwa $(P_1 + P_2) \cdot 4 = \text{CAL-Wert } P_2O_5$ und $K_1 + K_2 = \text{CAL-Wert } K_2O$

Alternative Bodenuntersuchungsmethoden

Es ist jeder Institution freigestellt, alternative Bodenuntersuchungen als Dienstleistung anzubieten. In der Regel sind diese speziellen Verfahren teuer, und die Ergebnisse wurden nicht mit unabhängigen Feldversuchen geeicht. Damit sind sie mit den genormten und bewährten Standardbodenuntersuchungen auch nicht oder nur bedingt vergleichbar.

Eine besondere Variante dieser Art sind Komplettuntersuchungen, die aus der Kationenaustauschkapazität eines Bodens in Verbindung mit anderen Methodiken ihre Empfehlungen ableiten (z.B. Kinsey, Unterfrauner). Das Ziel dabei ist, einen „idealen Boden“ mit „idealer Basensättigung“ herzustellen, den es allerdings in Wahrheit gar nicht gibt. Es existieren viele unterschiedliche Böden, mit ganz verschiedenen Ca/Mg-Verhältnissen, die dennoch hohe Erträge hervorbringen.

Weiterhin wird behauptet, dass die Bodenlösung eine „Idealzusammensetzung“ der einzelnen Nährstoffe besitzen soll, da die Pflanzen Nährstoffe nur bedingt selektiv aufnehmen können. Diese Vorstellung stimmt aber nicht, da Pflanzen sehr wohl Nährstoffe selektiv aufnehmen können! Manche werden (teilweise) ausgeschlossen wie z.B. Calcium, andere angereichert wie z.B. Kalium und Phosphor. Es bleibt auch festzustellen, dass bei anzustrebenden pH-Werten in mittelschweren Böden keine schädlichen Nährstoffungleichgewichte oder Nährstoffblockaden zu befürchten sind.

Unterschiedliche Methoden den pH-Wert zu messen führen zu Irritationen. Unsere Standardmethode ist die Calciumchlorid-Methode ($CaCl_2$). Sie hat sich zur Einschätzung einer ertragsrelevanten Basensättigung bestens bewährt. Diese Basensättigung hängt vom pH-Wert ab und nicht umgekehrt, wie gerne auch mal argumentiert wird. Zudem hat das zweiwertige, basisch wirksame Magnesium einen stabilisierenden Einfluss auf die Bodenstruktur.

4. Bedeutung der einzelnen Pflanzennährstoffe

4.1. Stickstoff (N)

Stickstoff ist der Motor des Pflanzenwachstums. Von allen Pflanzennährstoffen beeinflusst Stickstoff die Ertrags- und Qualitätsbildung am stärksten. Deutlich mehr als bei allen anderen Nährstoffen kommt es beim Stickstoff auf eine exakte Dosierung zum richtigen Zeitpunkt an, denn eine Über- oder Unterdüngung führt schnell zu Ertrags- und Qualitätseinbußen. Die Stickstoffdüngung ist sicher das wichtigste Instrument des Landwirtes zur Steuerung des Pflanzenbestandes.

Unter den für die Pflanzenernährung wichtigen Nährstoffen nimmt Stickstoff eine Sonderstellung ein, weil er im Boden zahlreichen Ab-, Um- und Aufbauprozessen unterliegt, die von vielen Faktoren (z.B. Standort, Klima, Bewirtschaftung) beeinflusst werden. Hinzu kommt, dass nicht genutzter Stickstoff leicht in tiefere Bodenschichten verlagert werden kann.

Die Pflanzenwurzel kann Stickstoff nur in mineralischer Form als Ammonium (NH_4) oder Nitrat (NO_3) aufnehmen. Alle anderen Stickstoffverbindungen müssen daher zunächst in diese Formen überführt werden. NH_4 ist an Bodenteilchen (Ton, Humus) gebunden, damit wenig mobil und nicht auswaschbar. NO_3 hingegen liegt gelöst im Bodenwasser vor und kann daher rasch zur Pflanzenwurzel transportiert werden, ist aber andererseits vor Verlagerungen in tiefere Bodenschichten nicht geschützt.

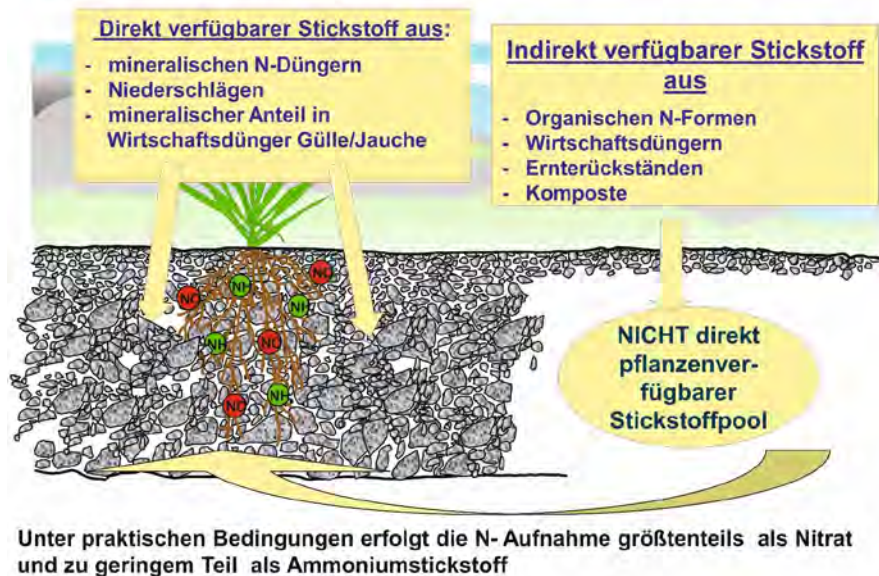
Mit Stickstoff lassen sich direkt und kurzfristig Ertrag und Qualität einer Kultur wesentlich beeinflussen. Daher kommt einer bedarfsgerechten Stickstoffversorgung der Pflanzen besondere Bedeutung zu.

4.1.1. Ermittlung des N-Bedarfs für Ackerkulturen und Düngeempfehlungen

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

Abbildung 1: Stickstoffquellen, die dem Landwirt zur Verfügung stehen

Die verschiedenen Stickstoffquellen



Ein Pflanzenbestand deckt seinen N-Bedarf im Wesentlichen aus

- dem zu Vegetationsbeginn in der Wurzelzone vorhandenen mineralischen Stickstoff (NO_3^- - und NH_4^+ -N, auch $\text{N}_{\min}$ genannt),
- dem während der Vegetationsperiode durch Abbau organischer Stoffe (Humus) frei werdenden Stickstoff (N-Nachlieferung),
- dem pflanzenverfügbaren N-Anteil aus Wirtschaftsdüngern bzw. Sekundärrohstoffdüngern und
- dem durch mineralische Düngemittel zugeführten Stickstoff

Außerdem kann der Stickstoff aus der Luft durch den Anbau von Futter- und Körnerleguminosen wie Klee und Luzerne sowie Ackerbohnen, Sojabohnen und Erbsen gebunden werden. Die sog. Knöllchenbakterien (Rhizobien) fixieren dabei in Abhängigkeit von Bewuchsstärke und Bodenart 50 bis 400 kg N/ha im Jahr.

Bemessung der Gesamt-Stickstoffgabe

Die Höhe der mineralischen N-Düngung ist die Differenz zwischen dem N-Entzug durch die Ernte und der Rückführung von Stickstoff in Ernterückständen und organischen Düngern sowie deren Ausnutzungsgrade (→ auch Anhangstabellen 3 und , Anhangs-Abb.1 auf Seite 110, Tabelle 8 auf Seite 22 und Kap.4.1.8.).

Nach der neuen Düngeverordnung ergeben sich angepasste N-Bedarfswerte/ Sollwerte für Ackerkulturen. Der Bedarf wird je nach Kultur und Ertragsniveau nach oben hin gedeckelt. Ausschlaggebend für den eigenen Ertrag ist die gemittelte Ertragshöhe der letzten drei Jahre:

Tabelle 4: Stickstoff-Bedarfsermittlung für die häufigsten Ackerkulturen

Kultur	Ertragsniveau in dt/ha	N-Bedarfswert in kg/ha	Zu-/Abschlag pro
Winterraps	40	200	(5 dt) 10/15
Winterweizen A,B	80	230	(10 dt) 10/15
Winterweizen C	80	210	(10 dt) 10/15
Winterweizen E	80	260	(10 dt) 10/15
Wintergerste	70	180	(10 dt) 10/15
Sommergerste	50	140	(10 dt) 10/15
Körnermais	90	200	(10 dt) 10/15
Silomais	450	200	(50 dt) 10/15
Zuckerrübe	650	170	(100 dt) 10/15
Kartoffel	400	180	(50 dt) 10/10

Quelle: BMEL DüV 2017

Anmerkung: Roggen und Triticale sind in dieser Tabelle in etwa einzuordnen wie Wintergerste, Hafer wie Sommergerste, Hartweizen (mit Ø-Ertrag von 55 dt/ha) wie C-Weizen. Bei Frühkartoffeln (Ertragsniveau 350 dt/ha) ist der N-Bedarf etwa 40 kg N/ha höher (220 kg N/ha) als angegeben.

N_{min}-Analysen aus eigenen Bodenproben besitzen diesbezüglich natürlich immer den höchsten Aussagewert. Trotzdem darf nicht übersehen werden, dass die Werte aus einer N_{min}-Probe bzw. –analyse immer nur eine Momentaufnahme, womöglich von nur wenigen Tagen darstellen.

Um Getreidepflanzen bedarfsgerecht zu ernähren werden, je nach Entwicklungsstadium, die Düngermengen aufgesplittet. So kennt man beispielsweise die klassische Drei-Gaben-Teilung:

1. Startdüngung → Bestockungsförderung zu Vegetationsstart
2. Schosserdüngung → Ausbildung der ertragsrelevanten Organe
3. Spät- oder Qualitätsdüngung → Sicherstellung des Ertrages und der gewünschten Qualität, z.B. RP-Gehalt

Die wichtigste Grundlage der N-Düngung bildet die standörtliche Erfahrung des Betriebsleiters. Bei gleich bleibender Bewirtschaftung kalkuliert er eine mittlere Düngungshöhe für seine Kulturen ein.

Bei der Aufteilung der Gaben kann er sich auf eigene Erfahrungen stützen oder auf verschiedene Tools- und Serviceangebote der Hersteller zurückgreifen.

Folgende Zusammenstellung zeigt, welche Hilfsmittel die Hersteller dazu bieten:

- ➔ einfache Chlorophyllmessungen im Bestand zur Bestimmung der Höhe der 2. und 3. N-Gabe:
 - Yara N-Tester
 - Borealis N-Pilot (misst auch die Biomasse – siehe auch Seite 16)
- ➔ Abscannen der Bestände durch Sensortechnik. Hierbei wird neben der Bemessung des Chlorophyllgehaltes ebenfalls die Biomasse, bzw. der Bedeckungsgrad des Pflanzenbestands gemessen
 - Yara N-Sensor (Anbringung auf der Schlepperkabine)
 - Fritzmeier Isaria Sensor (Anbringung in der Fronthydraulik)
 - FarmFacts Green Seeker (Anbringung in der Fronthydraulik)

Solche Sensor-basierten Systeme dienen dazu, den Stickstoff gleichmäßiger in der Fläche zu verteilen um homogenere Bestände zu generieren. Der Sensor gibt dabei ein Signal an den Düngerstreuer, welcher die N-Menge dementsprechend korrigiert. Dadurch können Erträge gesteigert, Qualitäten erhöht und N-Mengen eingespart werden. Nicht zuletzt helfen solche Systeme bei der Umsetzung der Vorgaben der aktuellen DüV, um N-Bilanzen dementsprechend zu reduzieren.

- ➔ Smartphone Apps zur Bedarfsermittlung wie Imagelt. Dabei kann durch Fotoaufnahmen mit dem Handy im Bestand die N-Aufnahme zum jeweiligen Zeitpunkt durch den anteiligen Flächenbedeckungsgrad der Pflanzen gemessen werden.
- ➔ Erstellung von Düngekarten (N, P, K, Mg, Kalk, organische Dünger) und Potenzialkarten für Einzelschläge auf Grundlage georeferenzierter Messungen, sowie Schlagdaten. Diese können mit sensorgestützten Systemen kombiniert werden, was eine präzise, teilflächenspezifische Düngung gewährleistet.

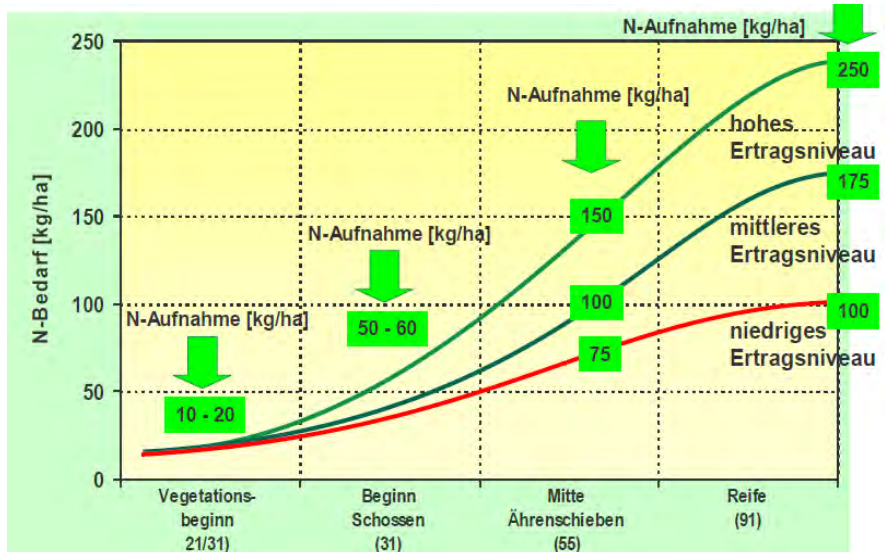
Maßgebend für die Bemessung der Düngungshöhe sind stets die Ertragshöhe und die angestrebte Qualität des Erntegutes. Die Höhe der N-Düngung bewegt sich in dem in der Tabelle 4 (Seite 11) vorgegebenen Rahmen (→ Anhangstabellen 1, 3 sowie 15-19, siehe Seite 107 ff.).

Bemessung der einzelnen Gaben

Für die Bemessung der einzelnen Gaben haben sich bundesweit Verfahren etabliert, die auf der N-min Methode basieren. Die Grundidee geht davon aus, dass jede Fruchtart zu Vegetationsbeginn (zutreffend bei Wintergetreide und Raps) bzw. für die gesamte Wachstumsperiode (zutreffend bei Sommergetreide und bei Hackfrüchten) für ihre optimale Entwicklung ein bestimmtes N-Angebot benötigt. Diese als **Soll- oder Richtwert** bezeichnete N-Menge entspricht dem im Feldversuch ermittelten optimalen N-Angebot im Frühjahr zum ersten Düngetermin.

N-Düngerbedarfsermittlung Beispiel Winterweizen

Abb. 2: Stickstoff-Bedarf in Abhängigkeit von dem Ertragsniveau bei Winterweizen



Quelle: Dr. Erhard Albert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Die Düngbedarfsermittlung für Stickstoff auf Ackerland nach der aktuellen DüV von 2017 errechnet sich wie folgt am **Beispiel**: A-Weizen, Ertragsniveau 70 dt/ha

N-Bedarfswert in kg N/ha		230
+ / -	Korrektur N-Bedarfswert in kg N/ha (Ertragsniveau im Mittel der letzten drei Jahre)	- 15 (70 dt/ha)
-	N _{min} -Gehalt (eigene Untersuchung oder Richtwerte (0 – 90 cm))	60
-	N-Nachlieferung aus dem Boden (> 4,5 % Humus: -20 kg N/ha ≤ 4,5 % Humus: kein Abzug)	+/- 0
-	N-Nachlieferung aus der organischen Düngung des Vorjahres (10 % vom Gesamt N)	keine org. D.
-	N-Nachwirkung von Vor- und Zwischenfrüchten	-10 (VF: Raps)
= N-Düngerbedarf		145 N

Quelle: gemäß DüV 2017

Siehe dazu auch zum Vergleich von Bedarfswerten die Tabelle 4 (Seite 11) und die Anhangstabelle 1 (Seite 96).

Wichtig: Diese N-Düngebedarfsermittlung muss einzelschlagbezogen vor der ersten Düngung vorliegen und ist aufzeichnungspflichtig!

Zusammenfassende Zu- und Abschlüsse

- Vorfrucht, Zwischenfrucht
- Sorte, Ertragsniveau
- Einsatz organischer Dünger (Viehbesatz)
- Humusgehalt des Bodens

Regionale Zuschläge aufgrund nachträglich eintretender Umstände, wie:

- Bestandesentwicklung
- Witterung
- ...

erfolgen nach Vorgaben der LTZ (siehe auch Anhangstabellen 16 – 19 und S. 29).

N_{min}

Die Höhe des N_{min}-Gehaltes zu Vegetationsbeginn hängt ganz wesentlich von der Bodentemperatur, Bodenart und den Winterniederschlägen ab. Deswegen ist eine Messung kurz vor Vegetationsbeginn noch am sinnvollsten und entspricht den Regeln der „guten fachlichen Praxis“. Dazu werden im durchwurzelbaren Bereich (0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 90 cm) pflanzenverfügbares Ammonium und Nitrat bestimmt. Anderweitig können die Orientierungswerte für die Region vom amtlichen Dienst hinzugezogen werden. Durch die gedeckelten N-Obergrenzen wird mit Beginn der neuen DüV den N_{min}-Werten ein wesentlich größerer Stellenwert zugesprochen. Dennoch bedeutet der N_{min}-Wert nur eine Momentaufnahme.

Folgende Faktoren beeinflussen die Bemessung der Nachdüngung:

- Wirtschaftsdüngergaben
- Nachlieferungspotential des Bodens
- Anbau von Zwischenfrüchten
- Temperaturentwicklung während der Vegetation
- Verteilung der Niederschläge während der Vegetation

Die N-Düngung kann durch Feldversuche ermittelt oder mit anderen Hilfsmitteln geschätzt werden:

- Anlage eines Düngefensters
- Nitrat Schnelltest (nach Scharf und Wehrmann)
- N-Tester, N-Pilot, N-Sensor, Isaria Sensor, Greenseeker
- Blatt –und Pflanzenanalysen

Soll ein Teil des N-Düngebedarfs durch Wirtschaftsdünger abgedeckt werden, ist dabei die verzögernde Wirkung durch die langsamere Mineralisation zu beachten. Gerade bei der Grünlanddüngung zum ersten Schnitt, oder bei der Düngung von Ackerflächen während der Bestockung, wirkt der organisch gebundene Stickstoff und Schwefel aus der Gülle entsprechend langsam und steht zum jeweiligen Entwicklungsstadium nur bedingt zur Verfügung.

Zu- bzw. Abschläge erfolgen je nach Vorfrucht, Zwischenfrucht, Sorte, Ertragsniveau und Bestandsentwicklung, sowie nach dem Einsatz organischer Dünger und dem Viehbesatz des Betriebes. Über Einzelheiten zur Methode und zu Basisdaten informiert die Fachbrochure der LTZ Augustenberg mit dem Titel „Beratungsgrundlagen für die Düngung“, dazu bitte die aktuelle Auflage beachten. (→ auch Anhangstabellen 16 – 19 auf den Seiten 107 und 108).

Bemessung der Nachdüngung

Aus der organischen Bodensubstanz und organischen Düngestoffen (Stallmist, Gülle, Zwischenfrüchte, Sekundärrohstoffdünger) wird bei steigender Bodentemperatur und ausreichender Feuchtigkeit Stickstoff von den Mikroorganismen mineralisiert. Diese Mengen sind für Wintergetreide bei der Bemessung der 2. und 3. N-Gabe bzw. bei den übrigen Kulturen bei Festlegung der Gesamt-N-Menge zu berücksichtigen.

Die N-Nachlieferung kann durch Feldversuche ermittelt oder mit anderen Hilfsmitteln geschätzt werden.

Es bieten sich folgende Methoden an:

- Anlage eines Düngefensters
- Nitrat-Schnelltest (nach Scharf und Wehrmann)
- N-Tester oder N-Sensoren
(optische Messung der Biomasse und/oder der Grünfärbung)

Soll ein Teil des N-Düngebedarfs durch Wirtschaftsdünger abgedeckt werden, ist dabei die – aufgrund der Mineralisation – verzögerte Wirkung zu beachten.

Außerdem sind die Verluste durch gasförmige Entbindung bzw. durch Auswaschung von der Gesamt-N-Zufuhr aus dieser Quelle in Abzug zu bringen.

*Tabelle 5: N-Ausnutzung verschiedener N-Dünger in Prozent)¹
(siehe auch Seite 28 und 29)*

	Anwendungsjahr	2. Jahr ²	spätere Jahre
Mineraldünger	Ø 60 (20 - 80)	8 (6-10)	2-5
Rindergülle	20 - 25	6 (4-8)	2-5
Stallmist	10 - 20	8 (4-8)	2-5
Kompost	0 - 10	4 (3-5)	2-5

¹ jeweils bezogen auf Gesamt-N im 1. Jahr des Ausbringens

² abhängig von der Kulturart: bei Hackfrüchten ist die Ausnutzungsrate etwas höher anzusetzen als bei Getreide

Quelle: GUTSER, Lehrstuhl f. Pflanzenernährung der TU-Weihenstephan

Zur N-Düngebedarfsermittlung für Ackerkulturen siehe auch auf Seite 29 dieser Broschüre die offiziell empfohlene Vorgehensweise nach LTZ.

4.1.2. Ermittlung des N-Düngebedarfs im Grünland

Die Bestimmung der notwendigen Nährstoffzufuhr auf Grünland orientiert sich wie bei Ackerkulturen an dem zu erwartenden Aufwuchs und dessen Inhaltsstoffen. Es erfolgt in den seltensten Fällen eine tatsächliche Ermittlung des Ertrages, daher wird beim Grünland die Düngeintensität von der Häufigkeit der Schnittnutzung bzw. dem Weidemanagement abgeleitet. Die nachfolgende Tabelle zeigt, welcher N-Bedarfswert auf Grünland bei unterschiedlicher Intensität laut der neuen Düngeverordnung (DüV) angesetzt werden darf. Bei abweichender Intensität sind die Werte entsprechend zu korrigieren.

Tabelle 6: N-Bedarfswerte/Sollwerte für Grünland bei unterschiedlicher Intensität

Nutzungsart und Nutzungsintensität	Ertragsniveau (Netto)	Rohprotein-gehalt (RP)	Stickstoff-Bedarfswert
	in dt TM / ha	in % RP i.d.TM	in kg N / ha
Grünland			
1-Schnittnutzung	40	6,6	55
2-Schnittnutzung	55	11,4	100
3-Schnittnutzung	80	15,0	190
4-Schnittnutzung	90	17,0	245
5-Schnittnutzung	110	17,5	310
6-Schnittnutzung	120	18,2	350
Weide / Mähweide			
Weide intensiv	90	18,0	130
Mähweide, 60 % Weideanteil	95	17,6	190
Mähweide, 20 % Weideanteil	100	17,2	245
Weide extensiv	65	12,5	65
Mehrschnittiger Feldfutterbau			
Ackergras (3-4 Schnitte/Jahr)	120	16,2	310
Klee- und Luzernegras (3-4 Schnitte/J.)	120	18,2	350
Acker- und Klee gras (5 Schnitte/Jahr)	150	16,6	400
Rotklee oder Luzerne in Reinkultur	110	20,5	360

Quelle: BMEL DüV 2017, modifiziert nach LTZ Augustenberg sowie nach LAD Baden-Württemberg

Rechengang: $\text{TM-Ertrag} \times \% \text{ RP-Gehalt} : 6,25$ (zur Umrechnung von RP in N)

Zur Ermittlung des tatsächlichen N-Düngerbedarfs sind von den N-Bedarfswerten künftig folgende Korrekturen vorzunehmen (→ auch Anhangstabellen 15 und 16):

1. Zu- und Abschläge für Abweichungen beim Ertrag und beim Rohprotein
2. Abschläge für die Stickstoffbindung durch den Leguminosenanteil
3. Abschläge für die N-Nachlieferung aus dem Boden und der organischen Düngung der Vorjahre

Der überwiegende Anteil der Nährstoffzufuhr auf Grünland erfolgt über eine organische Düngung mit Gülle, Mist oder Gärresten. Die jährlichen Gaben aus organischen Düngemitteln sind gem. den Vorgaben der Düngeverordnung auf max. 170 kg $N_{ges}/ha \cdot a$ zu begrenzen. Eine Ausnahme bilden Flächen, die über die Derogationsregelung mit bis zu 230 kg $N_{ges}/ha \cdot a$ aus organischen Düngemitteln beaufschlagt werden dürfen. Neben der Berücksichtigung der maximal auszubringenden Gesamt-N-Menge ist der Anteil an verfügbarem Ammoniumstickstoff (NH_4-N) über eine Analyse regelmäßig zu bestimmen. Der gesamte N-Düngebedarf wird neben der Lieferung aus organischen Düngemitteln ergänzt durch eine angepasste Mineraldüngung, da bei intensiver Nutzung die maximale N-Menge aus organischen Düngern nicht ausreicht (siehe Tab.8 auf Seite 22, Anhangstabelle 3 auf Seite 98, oder → Nährstoffgehalte organischer Dünger LTZ Augustenberg).

Die Aufteilung nach den einzelnen Nutzungen und eventuelle Ergänzungen mit Mineraldünger müssen nach sinnvollen Regeln der Grünlanddüngung erfolgen.

4.1.3. Ermittlung des N-Düngebedarfs für Gemüsekulturen

Bei Gemüsekulturen erfolgt die Ernte fast ausnahmslos im vegetativen Zustand, d.h., dass sich die Pflanze noch im vollen Wachstum und mehr oder weniger deutlich vor der generativen Abreifephase befindet. Bis zum Erntezeitpunkt ist daher eine ausreichende N-Versorgung sicherzustellen, damit der vegetative Pflanzenteil keine optischen Beeinträchtigungen durch Nährstoffmangel aufweist. Optisch nicht einwandfreie Gemüsepflanzen sind nicht vermarktbare. In Gemüsekulturen muss über die gesamte Vegetationszeit ausreichend Stickstoff zur Verfügung stehen. Die Ermittlung des N-Gesamtbedarfs orientiert sich dabei am N_{min} -Wert vor der Pflanzung bzw. Aussaat und weiteren N_{min} -Messungen während der Vegetation und dem daraus zu ermittelnden Ergänzungsbedarf. Für jede Kultur ist in Abhängigkeit von der Ertragserwartung eine Düngebedarfsermittlung zu erstellen. Diese muss neben dem N-Gesamtbedarf die im Boden vorgefundenen N-Mengen sowie die während der Vegetationszeit mobilisierten N-Mengen und weitere Zu- und Abschläge berücksichtigen (→ auch Anhangstabelle 2).

Nachfolgende Tabelle zeigt ein Beispiel für die N-Bedarfsermittlung bei Blumenkohl.

Tab. 7: N-Düngebedarfsermittlung für Gemüsekulturen, Beispiel Blumenkohl

1. Kultur	Blumenkohl
2. Stickstoffbedarfswert in kg/ha	300
3. Ertragsniveau lt. Tabelle in dt/ha	350
4. Betriebliches Ertragsniveau im Ø der letzten 3 Jahre dt/ha	400
5. Ertragsdifferenz in dt/ha	50
Zu- und Abschläge in kg N /ha für	
6. Im Boden verfügbare Stickstoffmenge (N _{min}) kg N/ha	- 46
7. Ertragsdifferenz in dt/ha	0
8. Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat in kg N/ha	0
9. N-Nachlieferung aus der organischen Düngung der Vorjahre	- 14
10. Vorfrucht bzw. Vorkultur (Ackerbau/Gemüse)	- 20
11. Verfrühung bei Gemüse	+ 20
12. Stickstoffdüngerbedarf während der Vegetation in kg N/ha	240)*

Quelle: gemäß DüV 2017

Rechengang)* 300 – 46 -14 - 20 + 20 = **240**

Eine Orientierung der Stickstoffbedarfswerte in kg N/ha je Gemüseart gibt auch die Tabelle 2 im Anhang (Seite 98).

Düngeempfehlungen für Gemüse:

- für die meisten Gemüsekulturen empfiehlt sich eine N-min Analyse und Düngung vor dem Kulturbeginn
- Gemüsearten mit langer Auflaufphase und langsamer Jugendentwicklung sollen erst in der 4. bis 6. Kulturwoche gedüngt werden
- bei hohen Düngergaben sowie auf leichten Standorten sollen die Düngergaben geteilt oder stabilisierte Dünger verwendet werden
- N-min Analysen sollen immer kurz vor geplanten Düngungsterminen vorgenommen werden

4.1.4. Ermittlung des N-Düngebedarfs für Dauerkulturen (Obst, Reben, Beerenobst usw.)

Das bisher erläuterte Prinzip ist bei Dauerkulturen wie Obst, Reben usw. nur sehr schwer zu verwirklichen, da diese als Nettoentzug oftmals nur wenig Stickstoff entziehen. 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 hohe N-Nachlieferungen des Bodens.

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

1. Die Kalkulation der N-Nachlieferung aufgrund von Erfahrungswerten (siehe Anhangstabellen). Entscheidende Einflussgrößen sind dabei 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). Gute Erfahrungen liegen im Weinbau mit der EUF-Methode vor.

Siehe dazu auch die Anhangstabellen 24 und 25 auf der Seite 112.

4.1.5. Wirkung des Stickstoffs in organischen Düngern

Organische Düngemittel sind so anzuwenden, dass der Stickstoff weitestgehend der angebauten Kultur zur Verfügung steht. Zur Vermeidung von gasförmigen NH_3 -Verlusten sind alle organischen Dünger auf unbestellten Flächen umgehend einzuarbeiten. Auf bestellten Flächen ist unbedingt eine bodennahe Ausbringung anzustreben. Für die Düngebilanzierung der ausgebrachten N-Mengen sind nachfolgend aufgeführte Wirksamkeiten in Prozent vom Gesamt-N-Gehalt (org. gebundener N und NH_4 -N) der organischen Düngemittel anzusetzen:

Tabelle 8: Wirksamkeit organischer Dünger

Düngemittel	Mindestwirksamkeit im Jahr des Aufbringens in % des Gesamtstickstoffgehaltes¹⁾
Rindergülle	50
Schweinegülle	60
Rinder-, Schaf- und Ziegenfestmist	25
Schweinefestmist	30
Hühnertrockenkot	60
Geflügel- und Kaninchenfestmist	30
Pferdefestmist	25
Rinderjauche	90
Schweinejauche	90
Klärschlamm flüssig (< 15 % TM)	30
Klärschlamm fest (≥ 15 % TM)	25
Champignonkompost	10
Grünschnittkompost	3
Sonstige Komposte	5
Biogasanlagengärrückstand flüssig	50
Biogasanlagengärrückstand fest	30

Quelle: BMEL DüV 2017 und LTZ Augustenberg

(→ Anhangstabelle 3 auf Seite 99, Anhangs-Abbildung 1 auf Seite 111, und Kap. 4.1.8. auf Seite 28)

Die Nährstoff- und Trockenmassegehalte organischer Dünger unterliegen durch unterschiedliche Futtergrundlagen, Haltungsformen und Leistungen (Milch, Tageszunahmen) starken Schwankungen. Deshalb sollten als Grundlage für eine gezielte Düngung Gülleanalysen durchgeführt werden. Es wird empfohlen, 1-2 mal jährlich im Betrieb eine Gülleanalyse auf den TM-Gehalt und auf Gesamt-N, Phosphat, Kali, Magnesium und Kalk durchführen zu lassen. Bei der Schweinegülle ist auch die gelegentliche Analyse von Kupfer vorteilhaft. Für die Bestimmung des Ammoniumstickstoffs haben sich z.B. der „Gülle-Max“ und das „Quantofix“-Gerät gut bewährt. Diese Analyse kann auf dem Hof durchgeführt werden. Für die Höhe der Einzelgabe ist der Ammonium-Gehalt die wichtigste Größe.

Liegen keine Analysenwerte vor, ist mit den Faustzahlen für die anrechenbaren N-Mengen in organischen Düngern zu rechnen (→ Anhangstabelle 3, Anhangs-Abbildung 1 auf Seite 111, und Kap. 4.1.8. auf Seite 28).

Auch eine Ansäuerung von Gülle z.B. durch Schwefelsäure auf einen pH-Wert von 5 - 6 verbessert die N-Effizienz, weil damit Ammoniak-Verluste vermindert werden.

4.1.6. 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. Anzahl und optimaler Einsatzzeitpunkt der Teilgaben sind abhängig von der gewählten Düngerform.

Übersicht 1: Die wichtigsten Stickstoffformen in Mineraldüngern und ihre Wirkungsgeschwindigkeit (→ auch Anhangstabelle 22 auf Seite 111)

Nitrat, Salpeter	NO_3	Kalksalpeter, Kalkammonsalpeter	Schnell
Ammonium	NH_4	schwefels. Ammoniak	
Amid	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	Harnstoff	
Cyanamid	$\text{Ca}(\text{CN})_2$	Kalkstickstoff	langsam

Quelle: LAD Baden-Württemberg

- Sehr schnell wirksam sind N-Dünger mit hohem Nitratanteil (z.B. Kalksalpeter, KAS). Sie sind daher als Kopfdünger besonders geeignet.
- Schnell und mäßig schnell wirken Kombinationen mit Nitrat und höherem Ammonium-Anteil (z.B. ASS, Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung AHL).
- Mäßig schnell wirken die reinen Ammoniumdünger und amidhaltigen Dünger wie z.B. SSA, Ammonsulfat und 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. In diese Gruppe können auch amidhaltige Dünger wie beispielsweise Harnstoff eingereiht werden. Amidstickstoff muss im Boden zu Ammoniumstickstoff umgewandelt werden, damit eine nennenswerte Pflanzenaufnahme möglich ist. Dieser Prozess (Hydrolyse) kann insbesondere bei niederen Bodentemperaturen verzögert sein.

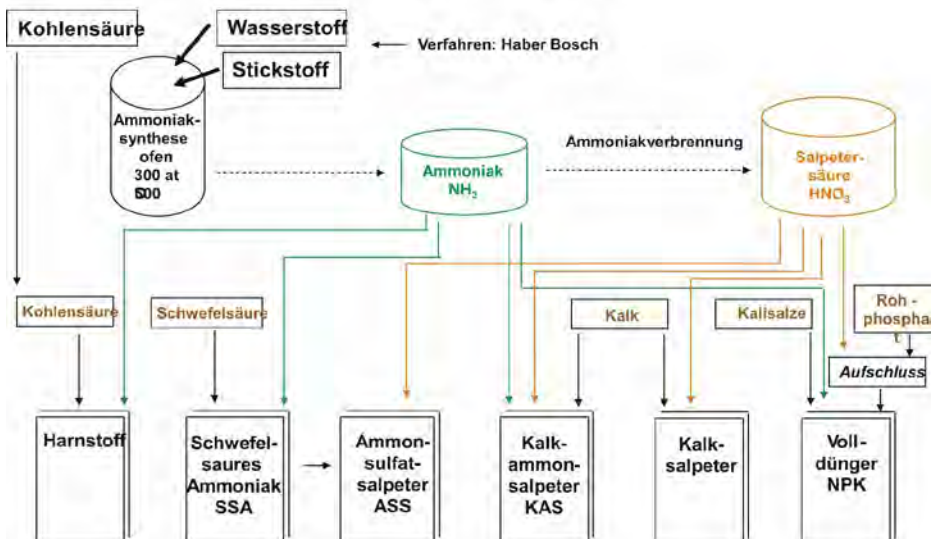
- Langsam und nachhaltig wirken stabilisierte Dünger und Kalkstickstoff.
- Sehr langsam und nachhaltig wirken N-Dünger, die Stickstoff in besonderer organischer Bindung enthalten, oder die mit Zusätzen bzw. Hüllen den Stickstoff nur sehr langsam an die Umgebung abgeben (Depotdünger, Langzeitdünger)

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 zu berücksichtigen. Um beispielsweise bei einem AHL-Einsatz die Gefahr von Ätزشäden an Blättern zu vermeiden, sollte Markenware mit hoher Oberflächenspannung verwendet werden (→ auch Anhangstabellen 7, 20 und 21).

Von den Nebenwirkungen interessiert - neben der herbiziden Wirkung des Kalkstickstoffs - vor allem der Einfluss auf die Bodenreaktion. Die scheinbare Vorliebe mancher Pflanzen für eine bestimmte N-Form (Nitrat für Zuckerrüben, Ammonium für Kartoffeln) ergibt sich unter anderem aus dem unterschiedlichen Einfluss der N-Dünger auf die Bodenreaktion (→ auch Anhangstabelle 6).

Abbildung 3: Die synthetische Herstellung von Stickstoffdüngern

Schema der Herstellung von N-Düngern

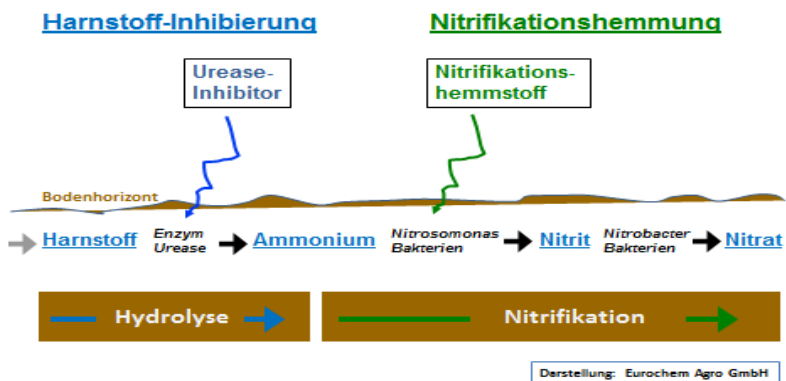


Stabilisierte Stickstoff-Dünger

Auf dem Mineraldüngermarkt werden unter dem Oberbegriff „Stabilisierte Stickstoffdünger“ Spezialprodukte angeboten, die nach ihrer Wirkungsweise in zwei Gruppen eingeteilt werden: Zum einen handelt es sich um Düngemittel mit Ammonium-Stabilisator für ammonium- und harnstoffhaltige Düngemittel, zum anderen um Produkte mit Urease-Inhibitor nur für harnstoffhaltige Produkte.

Die Wirkstoffe, die den Düngemitteln jeweils zugesetzt sind, beeinflussen unterschiedliche biochemische Vorgänge. Auch sind die Effekte in Bezug auf die Stickstoffdynamik im Boden unterschiedlich. Das heißt in der Folge, dass auch die Einsatzmöglichkeiten unterschiedlich sind.

Abbildung 4: Möglichkeiten der Stickstoff-Stabilisierung



Düngemittel mit Ammonium-Stabilisator

Ammonium-Stabilisatoren werden zur Verzögerung der Nitrifikation im Boden eingesetzt und werden auch als Nitrifikationshemmstoffe bezeichnet. Ammonium wird im Boden durch Mikroorganismen über Nitrit zu Nitrat umgewandelt. Dieser Vorgang verläuft in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Temperatur in der Vegetationszeit normalerweise innerhalb von 10-14 Tagen. Mit dem Zusatz des Nitrifikationshemmstoffs zu Ammonium- bzw. auch zu Amid-haltigen Düngemitteln verlängert sich der Zeitraum der Ammoniumphase im Boden. Diese Nitrifikations-

hemmung hält in Abhängigkeit von Bodentemperatur und Bodenart etwa 4 bis 8 Wochen an (ansteigende Bodentemperaturen verkürzen die Wirkungsdauer).

Da auch das Pflanzenwachstum temperaturabhängig ist, ermöglicht eine verzögerte Nitratanlieferung aus dem Ammonium-Vorrat der Düngung eine bedarfsgerechte Versorgung der Pflanzen. Gegenüber einer Düngestrategie mit konventionellen Stickstoffdüngern können Einzelgaben zeitlich vor- und zusammengelegt werden. Die angebotenen stabilisierten Dünger unterscheiden sich hinsichtlich des verwendeten Stickstoffdüngemitteltyps und des eingesetzten Nitrifikationshemmstoffes.

Harnstoff-Dünger mit Urease-Inhibitor

Eine Gruppe der stabilisierten Stickstoffdünger bildet Harnstoff mit dem Zusatz von Urease-Inhibitoren. Urease-Inhibitoren greifen bei der Umsetzung der Stickstoffform Amid (Harnstoff) zu Ammonium ein, der sogenannten Hydrolyse. Hierbei handelt es sich um den biochemischen Schritt vor der Nitrifikation. Die Umwandlung des Harnstoffs erfolgt – ebenfalls temperaturabhängig – mit Hilfe des im Boden vorhandenen Enzyms Urease (bei Bodentemperaturen von 10°C innerhalb von zwei Tagen). Die Hydrolyse-Reaktion bewirkt einen deutlichen Anstieg des pH-Wertes in der direkten Umgebung der Harnstoff-Granale. Dabei kann es zu gasförmigen Ammoniak-Verlusten kommen. Die Höhe dieser Stickstoffverluste ist abhängig von den Anwendungsbedingungen, der Bodenart und dem pH-Wert des Bodens. Vor allem unter trockenen Witterungsbedingungen mit intensiver Sonneneinstrahlung und gleichzeitigem Wind kann es zu verstärkten Ammoniak-Ausgasungsverlusten kommen. Der Urease-Inhibitor reduziert die Urease-Aktivität, was zur Folge hat, dass die Umwandlungsgeschwindigkeit von Harnstoff zu Ammonium verlangsamt wird – je nach Bodentemperatur um bis zu 10 Tage. Damit können bei Harnstoff durch Zusatz eines Urease-Inhibitors die Ammoniakverluste deutlich reduziert und gleichzeitig die Stickstoffeffizienz verbessert werden. Im Gegensatz zu Düngemitteln mit Ammonium-Stabilisator haben Harnstoffdünger mit Urease-Inhibitor jedoch keinen Einfluss auf die Nitrifikation. Eine Zusammenlegung von Stickstoffeinzeldosen kommt deshalb nicht in Betracht.

Übersicht 2: Auflistung der stabilisierten N-Dünger (Stand Juni 2017)

Produktnahme	Wirkstoff	Grunddünger	Düngerzusammensetzung	Hersteller
1. Nitrifikationsinhibitoren (NI)				
ENTEC 26	DMPP 3,4-Dimethyl-1H-pyrazol-5-phosphat	Ammonsulfatsalpeter mit Schwefel	26 % N Gesamstickstoff 7,5 % Nitratsstickstoff 18,5 % Ammoniumstickstoff 13 % Wasserlöslicher Schwefel	Eurochem Agro GmbH
Alzon 46	Gemisch aus Dicyandiamid und 1 H-1,2,4 Triazol	Harnstoff granuliert	46 % Gesamstickstoff als Carbamidstickstoff	SKW Piesteritz
2. Nitrifikationsinhibitoren (NI) und (UI)				
Alzon neo N*	Harnstoff mit Nitrifikationshemmstoff (MPA) und Ureasehemmstoff (2-NPT) (N-((3(5)-Methyl-1H-pyrazol-1-yl)methyl)acetamid) + UI (2-NPT) 46	Harnstoff granuliert	46 % Gesamstickstoff als Carbamidstickstoff	SKW Piesteritz
3. Urease-Inhibitoren (UI)				
UTEK 46*	NBPT = N-(n-Butyl)-thiophosphortriamid	Harnstoff granuliert	46 % Gesamstickstoff als Carbamidstickstoff	Eurochem Agro GmbH
YaraVera AMI PLUS	NBPT = N-(n-Butyl)-thiophosphortriamid	Harnstoff granuliert	46 % Gesamstickstoff als Carbamidstickstoff	Yara
Novurea mit Agrotain	NBPT = N-(n-Butyl)-thiophosphortriamid	Harnstoff granuliert	46 % Gesamstickstoff als Carbamidstickstoff	Trierto BV
Ureastabil	NBPT = N-(n-Butyl)-thiophosphortriamid	Harnstoff gepulvert	0,25 % Agrotain 46 % Gesamstickstoff als Carbamidstickstoff	Agro Group a.s Tischechen
piagran pro*	NBPT = N-(n-Butyl)-thiophosphortriamid	Harnstoff granuliert	46 % Gesamstickstoff als Carbamidstickstoff	SKW Piesteritz

* In Deutschland noch nicht auf dem Markt

Quelle: Eurochem Agro GmbH, eigene Recherchen

Vorgaben der neuen Düngeverordnung

Die aktuelle Düngeverordnung schreibt vor, dass Harnstoff ab dem 1. Februar 2020 nur noch ausgebracht werden darf, sofern ihm ein sog. Urease-Hemmstoff (UI) zugegeben ist, oder sofern er unverzüglich, jedoch spätestens innerhalb von vier Stunden nach der Aufbringung eingearbeitet wird.

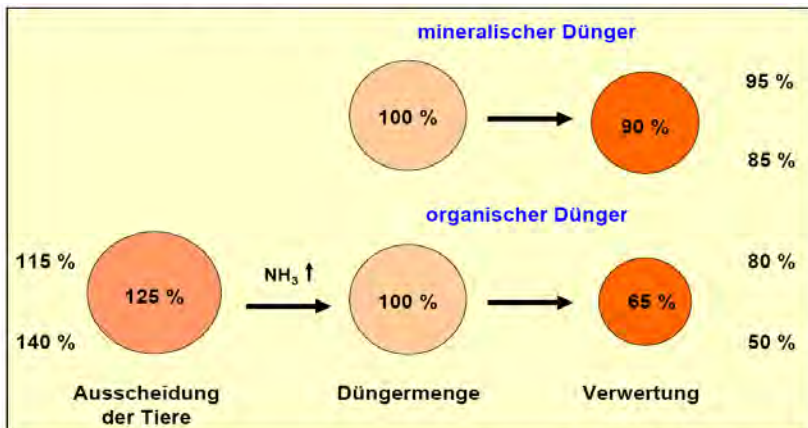
4.1.7. Kalkstickstoff

Beim Kalkstickstoff handelt es sich um eine N-Form, die aufgrund ihrer besonderen Wirkungsweise dazu genutzt werden kann, um das Wachstum und die Gesundheit der Kulturpflanzen zu fördern. Dazu tragen die länger anhaltende und gleichmäßige Stickstoffwirkung sowie der hohe Gehalt an wasserlöslichem Kalk bei. Darüber hinaus entfaltet Kalkstickstoff auch noch Nebenwirkungen gegen pilzliche und tierische Schaderreger im Boden und verbessert dadurch die Bodenhygiene.

So kann eine Düngung mit Kalkstickstoff ganz gezielt dazu genutzt werden, einem Krankheits- und Schädlingsbefall entgegen zu wirken oder den Unkrautdruck zu reduzieren. Auf diese Weise lässt sich vor allem in engen Fruchtfolgen bodenbürtigen Problemen vorbeugen, die mit Pflanzenschutz-Maßnahmen allein nicht mehr beherrschbar sind. Die Kalkstickstoff-Düngung stellt somit ein wichtiges Element des „Integrierten Pflanzenbaus“ dar.

4.1.8. N-Ausnutzung verschiedener N-Dünger

Übersicht 3: Verwertung von Stickstoff-Düngung durch Pflanzenbestände - langfristige Betrachtung bei optimalen Einsatz



Quelle: Gutser, Ebertseder 2002

Tabelle 5: N-Ausnutzung verschiedener N-Dünger in Prozent¹

(siehe auch auf Seite 17)

	Anwendungsjahr	2. Jahr ²	spätere Jahre
Mineraldünger	Ø 60 (20 - 80)	8 (6-10)	2-5
Rindergülle	20 - 25	6 (4-8)	2-5
Stallmist	10 - 20	8 (4-8)	2-5
Kompost	0 - 10	4 (3-5)	2-5

¹ jeweils bezogen auf Gesamt-N

² abhängig von der Kulturart: bei Hackfrüchten ist die Ausnutzungsrate etwas höher anzusetzen als bei Getreide

Quelle: GUTSER, Lehrstuhl f. Pflanzenernährung der TU-Weihenstephan

Zum Abschluss des Stickstoff-Kapitels verweisen wir vom LAD BW auf die vom LTZ offiziell empfohlene N-Düngebedarfsermittlung im Ackerbau nach DüV 2017 mit entsprechender Vorgehensweise in 13 Schritten:

N-Düngebedarfsermittlung Ackerbau DüV (Anlage 4, Tab. 1)

	Faktoren für die Düngebedarfsermittlung	anzuwendende Tabelle/Vorschrift
1	Kultur	Tabelle 2
2	N-Bedarfswert [kg/ha]	Tabelle 2
3	Ertragsniveau [dt/ha] (lt. Tabelle 2)	Tabelle 2
4	Ertragsniveau [dt/ha] - im Mittel der letzten 3 Jahre	Tabelle 3
5	Ertragsdifferenz [dt/ha]	(Zeilen 3 und 4)
	Zu- und Abschläge [kg/ha]	
6	im Boden verfügbare N-Menge (N _{min} , EUF)	§ 4 Abs. 1 Satz 2 Nr. 3 und Abs. 4
7	Ertragsdifferenz	(Zeile 5) Tabelle 3
8	N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat	Tabelle 6
9	N-Nachlieferung aus der organischen Düngung der Vorjahre	§ 4 Abs. 1 Satz 2 Nr. 5
10	Vorfrucht bzw. Vorkultur	Tabelle 7
11	Zuschlag bei Abdeckung m. Folie oder Vlies (zur Ernteverfrühung)	§ 4 Abs. 1 Satz 2 Nr. 2
12	N-Düngebedarf [kg/ha] während der Vegetation	Summe der Werte der Zeilen 2, 6, 7, 8, 9, 10 und 11
13	Zuschläge auf Grund nachträglich eintretender Umstände (Bestandesentwicklung, Witterungsereignisse)	§ 3 Abs. 3 Satz 2



4.2. Phosphat oder Phosphor (P)

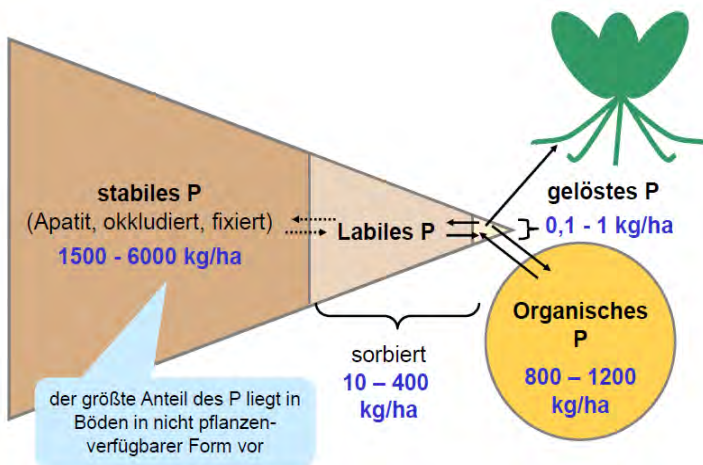
4.2.1. Phosphat im Boden

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

Vereinfacht dargestellt lassen sich drei unterschiedliche Phosphatfraktionen im Boden unterscheiden:

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

Abbildung 5: Phosphat im Boden



verändert nach Mengel und Kirkby: Principles of Plant Nutrition

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

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

Zwischen den einzelnen Fraktionen bestehen dynamische Gleichgewichte. Die Erhöhung der Phosphatkonzentration der Bodenlösung, z.B. durch Düngung, hat zur Folge, dass gelöstes Phosphat rasch in gebundene Fraktionen überführt wird.

Mit zunehmender Dauer steigt die Festigkeit der Verbindungen. Umgekehrt wird bei Absenkung des Gehalts der Bodenlösung durch Phosphataufnahme in die Pflanze aus der labilen Fraktion leicht gebundenes Phosphat nachgeliefert und somit die Bodenlösung wieder aufgefüllt. Eine ausreichend schnelle Nachlieferung von gebundenem Phosphat in die Bodenlösung setzt eine ausreichende Phosphatverfügbarkeit im Boden voraus.

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

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

4.2.2. Phosphat in der Pflanze

Phosphor erfüllt verschiedene Aufgaben in der Pflanze (Übersicht 4:

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

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

Durch die bereits oben erwähnte Förderung des Wurzelwachstums wird allgemein die Wasser- und Nährstoffversorgung verbessert. Die Bestockung des Getreides sowie das vegetative Wachstum der Pflanzen werden positiv beeinflusst. Eine direkte Ertragswirkung besteht, indem Blüten- und Samenbildung, Fruchtansatz und Kornzahl pro Ähre erhöht werden. Daneben verbessert Phosphor die Qualität des Erntegutes (Tausendkorngewicht, Rohproteingehalt) und dadurch auch die Backqualität.

4.2.3. Phosphaternährung und -düngung im Pflanzenbau

Die eingangs beschriebene geringe Mobilität des Phosphats (Kap. 4.2.1.) hat zur Folge, dass nicht das gesamte Bodenvolumen, sondern nur der von den Pflanzen durchwurzelte Teil des Bodens zur Phosphaternährung der Pflanzen beiträgt. Phosphat im Boden, welches weiter als 3 - 5 Millimeter von den Wurzeln entfernt ist, kann in der Regel nicht mehr aufgenommen werden. Daher muss der Vorrat an pflanzenverfügbarem Phosphat im Boden viel höher sein als die tatsächlich von den Pflanzen aufgenommene Phosphatmenge. Weiterhin ist aus diesem Sachverhalt leicht abzuleiten, dass Kulturarten mit einem relativ weitverzweigten Wurzelsystem

(z.B. Getreide) ein größeres Bodenvolumen erschließen und damit ein besseres Phosphataneignungsvermögen besitzen als Pflanzenarten mit einem nur gering ausgebildeten Wurzelsystem (Hackfrüchte, Mais).

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

Die Phosphatverfügbarkeit im Boden wird durch die Bodenuntersuchung festgestellt. Als optimal zur Ausschöpfung des Ertragspotentials ist dabei die Gehaltsklasse C (Tab. 8) anzusehen. Hier wird in der Regel eine Phosphatdüngung in Höhe des Entzuges empfohlen. Ernterückstände sind anzurechnen. In den Gehaltsklassen D und E sollte die Phosphatdüngung unterhalb des Entzuges liegen, bzw. in der Gehaltsklasse E wird keine Düngung empfohlen.

*Tabelle 9: Gehaltsklassen bei Acker und Grünland für Phosphat (P_2O_5) sowie auf anmoorigen Böden in Baden-Württemberg (nach CAL-Methode)
Zur Ableitung von Düngungsempfehlungen aus dieser Tabelle siehe auch Tabelle 1, Seite 5*

Gehalts- klasse	in mg P_2O_5 /100 g Boden		
	Acker und Grünland		Anmoor
A	< 5	< 5	< 3
B	5 - 9	5 - 7	3 - 5
C	10 - 20	8 - 20	6 - 14
D	21 - 30	21 - 30	15 - 21
E	> 30	> 30	> 21

Basisquelle VDLUFA (Standpunkt 1997)* Umrechnungsfaktor: $P = P_2O_5 \times 0,436$

)* Es gibt seit März 2018 einen neuen VDLUFA-Standpunkt zur Gehaltsklassen-Einteilung bei Phosphat als Empfehlung, der deutlich niedrigere Richtwerte ausweist. Er ist aber weder vom MLR bzw. der LTZ in Baden-Württemberg noch in anderen Bundesländern offiziell übernommen worden, also z.Zt. nicht bindend.

Liegt die Phosphatversorgung des Bodens unterhalb der Gehaltsklasse C, sind nach der aktuellen DüV Zuschläge bei der Düngung nicht mehr erlaubt. Innerhalb der Flächen seines Betriebes besteht allerdings für den Landwirt die Möglichkeit, die Phosphatdüngung zu differenzieren. So kann er auf unterversorgten Flächen (Stufe A und B) die Düngung über der Höhe des Entzuges durchführen, wenn im Gegenzug die Phosphatdüngung auf Flächen, die gut oder sehr gut versorgt sind, reduziert wird. Um trotzdem eine möglichst optimale Nährstoffversorgung der Pflanzen und damit einhergehend hohe Erträge zu erreichen, ist es auf diesen Standorten vorteilhaft, Düngephosphate nach der Ausbringung in den Boden einzuarbeiten bzw. in der Nähe der Wurzeln zu platzieren.

Die Phosphatdüngung sollte desweiteren an der Fruchtfolge ausgerichtet werden. Die bedürftigen Kulturen (Hackfrüchte, Mais) erhalten aufgrund des geringeren Aneignungsvermögens für P auch in der Gehaltsklasse C eine Phosphatdüngung oberhalb des Entzuges. Angestrebt wird hier grundsätzlich der obere Bereich der Gehaltsklasse C. Das nachfolgende Getreide in der Fruchtfolge wird entsprechend weniger mit Phosphat gedüngt, so dass die Phosphatbilanz über die Fruchtfolge betrachtet annähernd ausgeglichen ist.

Übersicht 5: Generell beeinflussen folgende Faktoren die Phosphatverfügbarkeit im Boden und die Phosphataufnahme in die Pflanze:

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

4.2.4. Wirkung der Phosphatdüngung auf die Qualität verschiedener Kulturen

Kartoffeln

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

Zuckerrüben

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

Getreide

Eine ungenügende Phosphatdüngung führt bei allen Getreidearten zu mangelhafter Bestockung, einem Rückgang des Tausendkorngewichtes, des Hektolitergewichtes und zu einer verschlechterten Kornausbildung. 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.

Mais

P-Mangel hier an junger Maispflanze....

Bild 1: Foto LAD Baden-Württemberg



....oder im fortgeschrittenen Stadium (S.120)

Mais leidet aufgrund seiner langsamen Wurzelentwicklung während der Jugendentwicklung besonders häufig unter mehr oder minder starkem Phosphatmangel. Um dies zu vermeiden, ist vor allem auf unterversorgten und strukturschwachen Böden eine Unterfußdüngung mit vollaufgeschlossenem Phosphat anzuraten. Eine Unterversorgung mit Phosphat führt bei Mais vor allem zu einem geringeren Masseertrag und bei Körnermais zu einer reduzierten Kornzahl.

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

4.2.5. Phosphatdüngemittel

Die Düngeverordnung berücksichtigt im Zusammenhang mit der P-Bilanzierung leider nicht die Pflanzenverfügbarkeit des Düngerphosphates. Das heißt, dass alles, was an Phosphat gedüngt wird, unabhängig von seiner tatsächlichen Pflanzenverfügbarkeit voll angerechnet werden muss. So gilt dies auch für Rohphosphate, obwohl hier die aktuelle Ausnutzungsrate nur sehr gering ist. Rein fachlich dürften in die P-Bilanzierung nur gut verfügbare P-Formen einfließen.

• Vollaufgeschlossene Phosphate

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

Beim Aufschluss von Rohphosphat mit Schwefelsäure entsteht Superphosphat, ein Gemisch aus Monocalciumphosphat und Gips.

Ein hochkonzentrierter Phosphatdünger, das Triplesuperphosphat entsteht beim Aufschluss der Rohphosphate mit Phosphorsäure. Dicalciumphosphat bildet sich durch Neutralisation von Phosphorsäure mit Calciumhydroxid. Die technische Herstellung erfolgt durch kontinuierliches Vermischen von feinstvermahlenem Rohphosphat mit den genannten Säuren. Die hier erwähnten Phosphatdünger sind mindestens zu 93 % wasserlöslich.

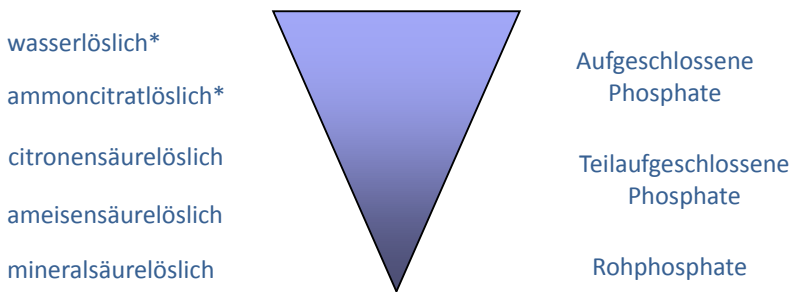
Thomasphosphat (= Thomasmehl) ist heute am Markt nicht mehr erhältlich. Für die Herstellung von hochwertigem Stahl werden heute nur noch phosphatarmer Erze verwendet. Dabei fällt an Stelle von Thomasmehl Konverterkalk an (→ Kap 4.4. und Anhangstabelle 12, Seite 105).

- **Teilaufgeschlossene Rohphosphate**

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

Beim Aufschluss mit Schwefelsäure entsteht Gips (Calciumsulfat, CaSO_4). Mitunter wird Gips mit Kalk gleich gesetzt. Dies ist nicht zutreffend, da Calciumsulfat im Boden neutral wirkt und keinen Einfluss auf den pH-Wert des Bodens ausübt. Eine basische Wirksamkeit besitzt Gips nicht.

Abbildung 6: Schematische Darstellung der Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat



Abnahme der Phosphatverfügbarkeit

*entspricht der Extraktionskraft der natürlichen Chemosphäre des Bodens

Übersicht 6: Grobe Einteilung der Phosphatlöslichkeiten

Vollaufgeschlossenes Phosphat z.B. Triplesuperphosphat (wasserlöslich, neutral-ammoncitrat und citronensäurelöslich)	
Teilaufgeschlossenes Rohphosphat z.B. Novaphos (wasserlöslich, neutral-ammoncitrat und citronensäurelöslich)	mineralsäure-lösl. Phosphat
Rohphosphat (mineralsäurelöslich) z. B. Dolophos (weicherdiges Rohphosphat: mind. zu 55% in 2 %iger Ameisensäure löslich)	

- **Phosphate in NP- und NPK-Düngern**

Ähnlich wie mit Schwefelsäure kann der Phosphataufschluss auch mit Salpetersäure durchgeführt werden. Bei diesem Prozess entstehen Stickstoff-Phosphat-Verbindungen. Ein Teil des eingesetzten Rohphosphates wird dabei in wasserlösliche und ammoniumcitratlösliche P-Formen umgewandelt. Der wasserlösliche Anteil liegt dann je nach Herstellungsverfahren bei über 60 %.

- **Rohphosphate**

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

- **Phosphat in Blattdüngern**

Eine Phosphatdüngung über eine Blattapplikation ist zwar grundsätzlich möglich, beispielsweise über wasserlösliches Monoammonphosphat (MAP), nicht jedoch mit phosphoriger Säure, den sogenannten Phosphonaten (meist Kali-Salze der Phosphonsäure oder Phosphite). Darin liegt P als PO_3^- vor, die Pflanze kann P aber nur in Form von PO_4^{2-} -Ionen aufnehmen. Phosphonate bzw. Phosphite sind also keine Blattdünger, sondern Pflanzenschutzmittel. Die P-Blattdüngung könnte vor dem Hintergrund der Düngeverordnung an Bedeutung zunehmen, weil damit der Druck auf die P-Bilanz vermindert wird.

- **Recycling-Phosphate**

Das Phosphat wird bei Recycling-Phosphaten überwiegend aus Klärschlamm zurückgewonnen. Neben den Aschen aus der Monoverbrennung von kommunalem Klärschlamm wird auch Struvit (Magnesium-Ammonium-Phosphat) als Düngemittel eingesetzt (→ dazu auch Kap. 4.5.4 auf Seite 61). Die Pflanzen-verfügbarkeit des Phosphates in P-Recycling-Düngemitteln ist höher als die von Rohphosphaten und nimmt mit steigendem pH-Wert des Bodens ab.

4.2.6. Düngeverfahren

- Stoppel- und Herbstdüngung ist möglich und sinnvoll; allerdings nicht empfehlenswert auf reinen Sand- und Moorböden. Mit der Herbstdüngung können die positiven Effekte in Form von bodenschonender Überfahrt, Deckung des Pflanzenbedarfes im Herbst und einer verbesserten Wurzelentwicklung der Kulturen genutzt werden. Außerdem gelangt das im Boden sehr unbewegliche Phosphat durch die Grundbodenbearbeitung in den intensiv durchwurzelter Bereich der Böden. Besonders in niederschlagsarmen Regionen ist dies von Vorteil.
- Phosphat ist für die Fruchtfolgedüngung (Schaukeldüngung, Vorausdüngung) besonders gut geeignet (nicht jedoch auf Sand- und Moorböden), sowie auf Grünlandflächen. Die Düngergabe sollte bevorzugt zu den Kulturen erfolgen, welche ein geringeres Phosphataneignungsvermögen besitzen (Hackfrüchte).
- Verfahren zur platzierten P-Düngung (v.a. Unterfußdüngung zu Mais) sind vor allem auf Standorten empfehlenswert, welche eine geringe Phosphat-versorgung aufweisen, eine schlechte Bodenstruktur besitzen und sich im Frühjahr nur langsam erwärmen.

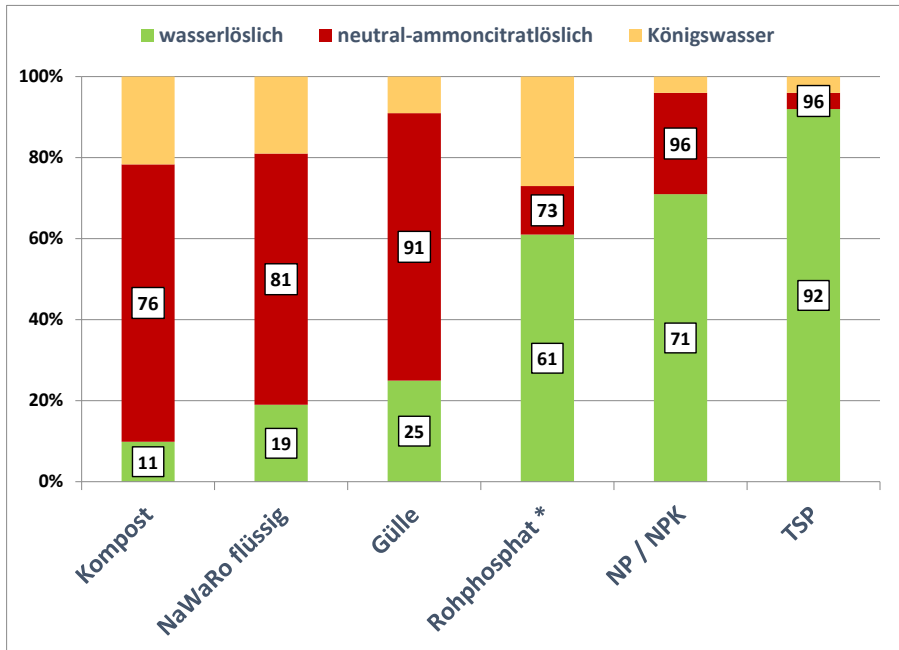
4.2.7. Phosphat in organischen Düngern

Die Rücklieferung über Wirtschaftsdünger ist in viehhaltenden Betrieben erheblich und muss bei der Düngeplanung natürlich berücksichtigt werden. Allerdings schwanken die Gehalte je nach Besatzstärke, Tierart und Fütterung beachtlich. Auch ist davon auszugehen, dass durch Umstellungen in der Fütterung sowie dem TS-Gehalt der Gülle (Verdünnung!) die P_2O_5 -Gehalte besonders in den Rinder- und Schweinegülle 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.

Bioabfallkomposte und Fleischknochenmehle gehören zu den Sekundärrohstoffdüngern. Die darin enthaltenen Phosphate sind zu einem sehr hohen Anteil schwer löslich (Apatite) und deshalb für eine schnell wirkende Phosphatdüngung nicht geeignet.

Abbildung 7: P_2O_5 – Löslichkeiten in organischen und mineralischen Düngern



Quelle: Kratz & Schnug (2008) Agronomische Bewertung von Phosphat-Düngern

Lösliche Phosphatanteile der untersuchten organischen Dünger bezogen auf den P_2O_5 -Gesamtgehalt im Königswasserextrakt ($\approx 100\%$);

Rohphosphat * = hier ein teilaufgeschlossenes Rohphosphat wie z.B. Novaphos, mit doch noch erheblichen wasserlöslichen P_2O_5 -Anteilen im Vergleich zu den typischen Rohphosphaten wie z.B. weicherdigen Rohphosphaten, bei denen der wasserlösliche P_2O_5 -Anteil gegen Null läuft.
TSP: Triplesuperphosphat; NP / NPK: handelsüblicher mineralischer Mehrnährstoffdünger

Zum Kapitel Phosphor / Phosphat bieten sich eine Reihe von Querverweisen an:

- a) Kap. 5.2. (Platzierte Düngung)
- b) Kap. 7.1. (DüV) und Kap. 7.4. (Düngerdeklaration)
- c) die Anhangstabellen 6, 10, 12, 13 und 25

Tabelle 10: Wirkungsweise verschiedener Phosphatdünger

Produkt	Aufschluss grad	P ₂ O ₅ - Gehalt in %	Löslichkeitsform des Phosphats	weitere Nährstoffe
Superphosphat	Vollaufschluss	18	neutral-ammoncitratlöslich, davon 16,7 % wasserlöslich	11 % S
Triplesuperphosphat	Vollaufschluss	46	neutral-ammoncitratlöslich, davon 43 % wasserlöslich	
Dicalciumphosphat	Vollaufschluss	38	alkalisch-ammoncitratlöslich (Petermann)	
Novaphos	Teilaufschluss	23	mineralsäurelöslich, davon 11,5 % wasserlöslich	11 % CaO 8 % S
Dolophos	Weicherdiges Rohphosphat	26	mineralsäurelöslich, in 2 %iger Ameisensäure	31 % CaO 3 % MgO

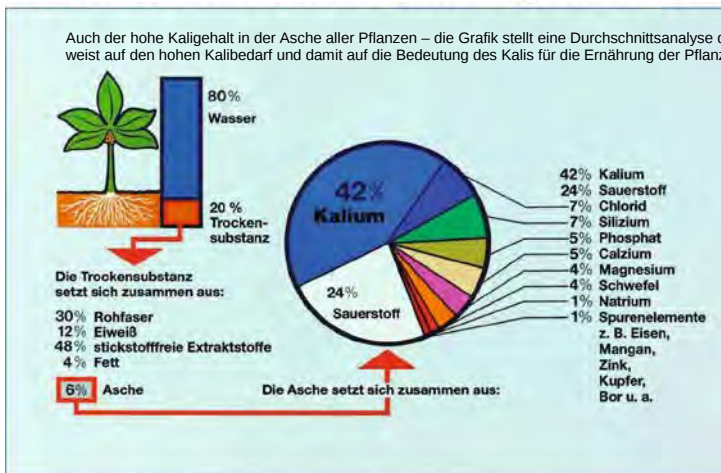
Übersicht 7 Phosphatlöslichkeiten (Angabe als P₂O₅ oder Phosphat)

- | | | |
|----|---|--|
| 1 | Wasserlösliches P ₂ O ₅ | Vollaufschluss |
| 2 | Neutral-ammoncitratlösliches P ₂ O ₅ | Vollaufschluss |
| 3 | Neutral-ammoncitratlösliches und wasserlösliches P ₂ O ₅ | Vollaufschluss |
| 4 | Mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , ausschließlich mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ | Nicht aufgeschlossen |
| 5 | Alkalisch-ammoncitratlösliches P ₂ O ₅ (Petermann) | Vollaufschluss |
| 6 | In 2%iger Zitronensäure lösliches P ₂ O ₅ | Vollaufschluss |
| 7 | Mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon mindestens 75 % des angegebenen Gehalts an P ₂ O ₅ in alkalischem Ammoncitrat (Joulie) löslich | Teilaufschluss |
| 8 | Mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon mindestens 55 % des angegebenen Gehalts an P ₂ O ₅ in 2%iger Ameisensäure löslich | Nicht aufgeschlossen
(weicherdiges Rohphosphat) |
| 9 | Mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon mindestens 45 % des angegebenen Gehalts an P ₂ O ₅ in 2%iger Ameisensäure löslich, mindestens 20 % des angegebenen Gehalts an P ₂ O ₅ wasserlösliches P ₂ O ₅ | Teilaufschluss |
| 10 | In 2%iger Zitronensäure und in alkalischem Ammoncitrat (Petermann) lösliches P ₂ O ₅ | Vollaufschluss |

4.3. Kalium (K) = Kali

4.3.1. Kalium in der Pflanze (Abbildung 8)

Die durchschnittliche Zusammensetzung der Pflanze



Auch der hohe Kaligehalt in der Asche aller Pflanzen – die Grafik stellt eine Durchschnittsanalyse dar – weist auf den hohen Kalibedarf und damit auf die Bedeutung des Kalis für die Ernährung der Pflanze hin.

Beim Nährstoffbedarf fast aller Kulturarten steht Kalium mengenmäßig an erster Stelle. Es steuert viele wichtige Stoffwechselvorgänge in der Pflanze.

Übersicht 8: Steckbrief für Kalium

Kali – wichtige Funktionen in der Pflanze

- aktiviert Enzyme
- ist an der Energieübertragung beteiligt
- fördert das Wurzelwachstum
- regelt die Atmung
- baut Kohlenhydrate auf
- bildet Eiweiß
- steigert den Gehalt an Vitamin C
- transportiert Zucker und Stärke
- hilft Wasser sparen
- verzögert die Welkeerscheinungen
- mindert den Trockenstress
- erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Frost
- hemmt Krankheitsbefall
- festigt das Zellgewebe
- schützt daher vor Schädlingen, die über Zellwände eindringen
- verbessert die innere und äußere Produktqualität
- verbessert die Lagerfähigkeit

- Steuerung des Wasserhaushaltes - „Kali hilft Wasser sparen“

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

- Verbesserung der Frostresistenz - „Kali macht winterhart“

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

- Festigung der Zellwände - „Kali stärkt den Halm“

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

- Erhöhung der Krankheitsresistenz - „Kalidünger - Erntebringer“

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

- Verbesserung der Qualitätseigenschaften - „Kali düngen - Qualität ernten“

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

Bilder 2 und 3 K+S



Kali-Mangelsymptome bei Weißklee....



...und bei Kartoffeln an älteren Blättern

4.3.2. Kalium im Boden

Der Kali-Gehalt im Boden ist abhängig von:

- dem Tongehalt des Bodens, da Kalium fast ausschließlich an die Tonteilchen gebunden ist. Daher brauchen schwere Böden höhere K-Gehaltswerte in mg pro 100 g Boden als z.B. Sandböden, um der Pflanze die gleiche Menge Kali anbieten zu können.
- dem natürlichen K-Gehalt der Tonminerale, die jedoch diesen Nährstoff nur in geringen Mengen freigeben.
- den Düngegewohnheiten des Landwirts, sowie vom organischen Rückfluss aus Viehhaltung und Ernterückständen.
- den Nährstoffverlusten in Form von Fixierung (z.B. auf Pseudogleyen) oder vertikaler Verlagerung bzw. Auswaschung (Sandböden).

Die Kali-Verfügbarkeit des Bodens für die Pflanzenernährung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst:

- Kationenaustauschkapazität und dem Grad der K-Sättigung
- Bodenstruktur und der Bodenart
- Wassernachlieferung/Bodenfeuchte (Wasserhaushalt des Bodens)
- K-Gehalt in der Bodenlösung
- Anteil an Kali-fixierenden Tonmineralen (Kali-Fixierung, → Seite 113)
- Konkurrenz mit anderen Kationen (Magnesium, Ammonium und Calcium)
- Tiefgründigkeit und Durchwurzelbarkeit des Bodens.

Obwohl der Krumenraum am stärksten durchwurzelt ist, decken die Pflanzen doch einen nicht unwesentlichen Teil ihres Wasser- und Nährstoffbedarfs aus dem Unterboden. Die Ansprüche an den Kali-Gehalt in der Krume sind daher höher, wenn der Standort bzw. Boden flachgründig, verdichtet, von Grund- und Stauwasserzonen durchsetzt oder schlecht durchlüftet ist. Dasselbe gilt für Böden mit hohem Stein- oder Humusgehalt.

Je mehr Kali der Boden enthält, wodurch dann auch eine höhere Kali-Konzentration in der Bodenlösung gewährleistet ist, desto besser ist letztendlich die Kaliversorgung der Pflanzen. Diese austauschbare Kali-Menge wird durch die Bodenuntersuchung festgestellt und nach Gehaltsklassen/Versorgungsstufen (A bis E) bewertet.

Tabelle 11: Gehaltsklassen für Kalium (K_2O) auf Acker- und Grünlandböden in Baden-Württemberg (nach CAL-Methode)

Zur Ableitung von Düngungsempfehlungen aus dieser Tabelle siehe auch Tab.1, Seite 5

Gehalts- klasse	mg K_2O je 100 g Boden			
	Ackerböden			Grünland
	leicht)*	mittel	schwer	
A	< 4	< 5	< 7	< 5
B	4 - 7	5 - 9	7 - 14	5 - 9
C	8 - 15	10 - 20	15 - 25	10 - 20
D	16 - 25	21 - 30	26 - 35	21 - 30
E	> 25	> 30	> 35	> 30

Basisquelle VDLUFA

Umrechnungsfaktor $K = K_2O \times 0,830$

)* Die Richtwerte für K_2O auf anmoorigen Acker- und Grünlandböden entsprechen in dieser Tabelle denen von leichten Ackerböden (zweite Spalte von links).

Bei der Interpretation der BU-Ergebnisse kann man grundsätzlich davon ausgehen, dass für eine optimale Kali-Versorgung der Pflanzen höhere Kali-Gehalte im Boden um so erforderlicher sind, je ungünstiger die Feuchtigkeitsverhältnisse im Boden sind, zutreffend z.B. in den Trockengebieten Nordbayerns. Außerdem werden in trockenen bzw. getrockneten Bodenproben etwas höhere Kali-Gehalte gemessen als in feuchten, ursprünglich belassenen Bodenproben. Die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Probenahme spielt daher auch eine Rolle.

4.3.3. Düngebedarf

Die Ermittlung des Kali-Bedarfes einer Kultur bzw. einer Fruchtfolge leitet sich aus dem Nährstoffbedarf in Abhängigkeit von Bodenversorgung und Kali-Verfügbarkeit ab. Dabei sind mögliche Verluste (Verlagerung, Fixierung) zu berücksichtigen. Die konkreten Entzugszahlen der Kulturen sind in der Anhangstabelle 1 zu finden.

Als Düngungsziele der einzelnen Gehaltsklassen A-E gelten die allgemeinen Empfehlungen in Tabelle 1 (Kapitel 3). In der anzustrebenden Gehaltsklasse C soll die Kali-Düngung in Höhe des Entzuges liegen - oder knapp darüber (Faktor 1,2). Damit wird auch dem geringeren Nährstoffaneignungsvermögen von Hack- bzw. Blattfrüchten Rechnung getragen. Diese Kulturen müssen aus dem Vollen schöpfen können, da sie im Vergleich zu Halmfrüchten mit ihrem weitverzweigten Wurzelsystem nur ein geringes Bodenvolumen erschließen.

Je nach Bodenart (leicht/mittel/schwer) und sonstiger Standortfaktoren bewegen sich die Düngungszuschläge zwischen 50 - 100 kg K_2O /ha in Versorgungsstufe A und 25 - 75 kg K_2O /ha in Versorgungsstufe B, jeweils ausgehend von der Kaliabfuhr. Abschläge sind in den Stufen D und E vorzunehmen (→ Anhangstabelle 25).

Der Düngebedarf lässt sich jedoch auch zuverlässig durch langjährige, regionale Feldversuche feststellen, deren Ergebnisse auf vergleichbare Standorte übertragbar sind. Rechnerische Kali-Bilanzen können nur Anhaltspunkte liefern, da sie viele Faktoren der Kaliverfügbarkeit nicht genügend berücksichtigen (→ auch Kap. 4.3.2. und Abbildung 13, Seite 95).

Bilder 4 und 5 K+S



Kali-Mangelsymptome bei Mais...



...und Zuckerrüben (Welketraucht)

4.3.4. Düngeverfahren

Kali wird wie andere Grundnährstoffe häufig über die Fruchtfolge gedüngt. Fachliche und ökologische Zwänge für eine termingebundene Ausbringung gibt es bei diesen Nährstoffen nicht. Die Auswaschungsgefahr ist auf mittleren und schweren Böden als äußerst gering einzuschätzen. Ähnliches trifft für den Nährstoff Magnesium zu, der deshalb in Mineraldüngern gerne an das Kali gekoppelt wird.

Für die praktische Düngung sind folgende Punkte zu beachten:

- Stoppel- und Herbstdüngung ist auf mittleren und schwereren Böden ab etwa 30 Bodenpunkten oder 10 % Tongehalt möglich und sinnvoll; allerdings nicht empfehlenswert auf reinen Sand- und Moorböden. Mit der Herbstdüngung können die positiven Effekte in Form von bodenschonender Überfahrt, Deckung des Pflanzenbedarfes im Herbst und einer verbesserten Winterfestigkeit der Kulturen genutzt werden.
- Fruchtfolgedüngung (Schaukel-, Vorausdüngung) ist ab 35 Bodenpunkten bzw. ab etwa 10 - 12% Tongehalt möglich, nicht jedoch auf Sand- und Moorböden sowie auf Grünlandflächen. Die Düngergabe erfolgt bevorzugt zu der Kulturart mit den höchsten Kalium-Ansprüchen, beispielsweise den Hackfrüchten.
- Düngung bei Frost ist bei allen Acker- und Grünlandkulturen möglich.
- Bei Kaliummangel (z.B. durch Kali-Fixierung) oder sehr schlechter Versorgung des Bodens sollte eine einmalige Kali-Gabe 400 kg K_2O /ha nicht überschreiten. Bei höherem Bedarf sollten die Mengen geteilt werden. Sind hohe Kali-Gaben auf Grünland im Frühjahr notwendig, sollte unbedingt auf einen Na-Ausgleich geachtet werden. Zur Kali-Fixierung auf besonderen Böden → Seite 113.
- Kopfdüngung in den Bestand ist problemlos möglich; bei Mais maximal bis zum 2-Blatt-Stadium, in stehendes Getreide bis zum Ährenschieben.
- Rapsdüngung mit Kali (Mg, S) im Keimblattstadium ist ein bewährtes Mittel, Schneckenbefall zu mindern.
- In Wasserschutzgebieten dürfen Kali-Dünger ganzjährig ausgebracht werden.

- Im Öko-Landbau und in Extensivierungsprogrammen sind K-ED wie Magnesia-Kainit, Patentkali und Kaliumsulfat zugelassen (siehe auch Anhangstabelle 5).
- Das K:Mg-Verhältnis ist als gut anzusehen zwischen maximal 3:1 auf leichten und 1:1 auf schweren Standorten.
- Eine Blattdüngung mit Kalium ist nicht sehr sinnvoll, weil damit nicht annähernd der gesamte Kaliumbedarf einer Kulturart gedeckt werden kann. Eine gewisse Rolle spielt die K-Blattdüngung heute dennoch, so z.B. beim späten Einsatz von chloridischen Kalium-Einzeldünger im Speisekartoffelbau zur Stärkereduzierung in der Knolle oder im Gemüsebau in Kombination mit Stickstoff (NK-Düngung).
- Feinkristalline Kalium-Einzeldünger (z.B. SoluMOP) eignen sich hervorragend für die Fertigation im Unterglasanbau, im Kartoffelanbau oder in Baumschulen.

4.3.5. Kalium-Formen

Kali-Dünger aus deutscher Produktion unterliegen regelmäßigen, freiwilligen Qualitätskontrollen des VDLUFA. Je nach Kulturart kommt Kalium in verschiedenen Düngemittelformen zum Einsatz (→ auch Anhangstabellen 6, 8 und 11):

- Kaliumchlorid (KCl) für die meisten Ackerkulturen und Grünland
- Kaliumsulfat (K_2SO_4 , chloridarm) für viele Sonderkulturen, Forstpflanzen und den Garten- und Zierpflanzenbau sowie im Kartoffelbau
- Kaliumnitrat (KNO_3) fast ausschließlich im Garten- und Zierpflanzenbau (Tröpfchenbewässerung) sowie im Unterglasanbau (Fertigation)
- Kaliumkarbonat (K_2CO_3), auch Pottasche genannt, ist in Holzasche enthalten

Zum Chloridgehalt in Kalium-haltigen Mineraldüngern noch einige Hinweise:

Zur Düngung chloridempfindlicher Pflanzenkulturen empfiehlt sich die Anwendung von Mehr- bzw. Volldüngern mit einer ausschließlich sulfatischen Kalium-Komponente. Die Düngerdeklaration weist dies mit dem Zusatz „chloridarm“ aus. Diesen Zusatz dürfen nur solche Mehrenährstoffdünger führen, deren Restchloridgehalt unter der technisch machbaren Grenze von maximal drei Prozent liegt. Chloridfreie Dünger gibt es nicht (siehe dazu auch Kap.7.4. auf Seite 93).

Bei sog. „chloridreduzierten“, also nicht als „chloridarm“ bezeichneten Volldüngern mit maßgeblichen Schwefelgehalten wie z.B. NPK 12+12+17(+2+7) liegt nur ein Teil des Kali-Gehaltes als Kaliumsulfat vor (S/Cl-Dünger). Anhand der Düngerdeklaration lässt sich hier leider nicht genau ableiten, wie hoch der Kaliumsulfat-Gehalt tatsächlich ist. Laut Düngermittelrecht reicht es nämlich aus, wenn darauf hingewiesen wird, dass sowohl Kaliumchlorid als auch Kaliumsulfat im Dünger (S/Cl) enthalten sind. Das heißt, dass ein solcher Dünger durchaus bis zu 80% Kaliumchlorid enthalten kann. Das ist eine düngemittelrechtliche Grauzone, denn „chloridreduziert“ ist ein dehnbarer Begriff. Die Kennzeichnung als „chloridreduziert“ ist demnach leicht irreführend. Da Kaliumsulfat aufwendiger produziert werden muss und bekanntlich teurer ist als Kaliumchlorid ist, kann sich ein vermeintlich günstigerer Düngerpreis als teuer erweisen, wenn damit chloridempfindliche Kulturen womöglich völlig falsch gedüngt werden.

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

Grad der Chloridempfindlichkeit unserer Kulturarten (Übersicht 9)

Chlorid-liebed:

Zuckerrübe, Futterrübe, Sellerie, Mangold

chlorid-verträglich:

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

bedingt chlorid-verträglich:

Sonnenblume, Weinrebe, Feinkohlarten, Chicoree, Pflanz- und Speisekartoffeln, Tomate, Radies, Rettich, Kohlrabi, Erbse, Spinat, Karotte, Schwarz Johannisbeere

chlorid-empfindlich:

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

4.4. Kalk (Ca = Kalzium)

Kalk ist für Boden und Pflanze gleichermaßen notwendig, wobei die Wirkung des Kalkes auf den Boden im Vordergrund steht.

Kalk fördert:	die Bodengare und Krümelstabilität
	die Wirksamkeit mineralischer und organischer Dünger
	die Nährstoffmobilisierung
	das Bodenleben und
	die Bildung wertvoller Humussubstanzen
Kalk verhindert	die Bodenversauerung
	die Bodenverdichtung
	die Freisetzung schädlicher Schwermetalle

Durch die Gesundungskalkung saurer Böden werden im Boden gebundene Nährstoffe, z. B. Phosphat, in erheblichem Umfang freigesetzt. Zu niedrige pH-Werte führen zu Säureschäden und zur Zerstörung von Tonmineralen. Dadurch erhöht sich die Gefahr der Bodenerosion. Eine hohe Belegung der Tonminerale mit Ionen von Ca (60-80 %) und Mg (10-15 %) ist eine wichtige Voraussetzung für die Bildung von Ton-Humus-Komplexen und damit für eine stabile Krümelstruktur.

4.4.1. Düngungsempfehlung

Die Höhe der erforderlichen Kalkmenge wird bei der Düngungsempfehlung in dt CaO/ha (Reinnährstoff) angegeben.

1 dt CaO entspricht zirka	1,1 dt	Branntkalk 90
	2,0 dt	Kohlensauren Kalk 90 Kohlensauren Magnesiumkalk 90
	2,3 dt	Konverterkalk

Auf schweren Böden ist der Einsatz von Branntkalk zu empfehlen. Auf leichten und mittleren Böden verwendet man Kohlensaure- oder Kieselsaure Kalke.

Auf den Warenbegleitscheinen der Kohlensäuren Kalke bzw. der Kohlensäuren Magnesiumkalke ist neben der Kalkbindungsform(en) (% CaCO_3 / % MgCO_3) der Neutralisationswert (NW), bewertet als CaO (Reinnährstoff) angegeben. Bei allen anderen Kalkdüngemitteltypen wie Branntkalk, Magnesium-Branntkalk, Mischkalk, Hütten- und Konverterkalk sowie „Kalkdünger aus ...“, ist der Kalkgehalt als CaO (Reinnährstoff) deklariert.

4.4.2. Kalkverbrauch - Erhaltungskalkung

Jährlich werden in unseren Böden durch

- Pflanzenentzug und
- Neutralisation von Säure,

die verursacht wird durch organische Säuren, der Wurzel- und Mikrobenatmung, der physiologisch sauer wirkenden Dünger und des atmosphärischen Säureeintrages

zirka 500 kg CaO/ha auf Ackerflächen und
 250 – 300 kg CaO/ha auf Grünland

verbraucht.

Dieser Kalkverbrauch findet auf allen Standorten statt. Auf leichten Böden macht sich dies durch eine rasche pH-Absenkung bemerkbar. Bei schweren Böden werden zunächst die Kalkreserven verbraucht – dies geht bereits zu Lasten der Bodenstruktur – bevor der pH-Wert absinkt.

In Tabelle 6 des Anhangs ist der theoretische Kalkwert (Kalkbedarfswert) nach Sluismans für die wichtigsten Mineraldünger zu ersehen.

Grundsätzlich gilt: je Kilogramm $\text{NH}_4\text{-N}$, das zu $\text{NO}_3\text{-N}$ nitrifiziert wird, entsteht ein Kalkverbrauch von 1 kg CaO. Dabei spielt die Herkunft des $\text{NH}_4\text{-N}$, ob nun aus Mineraldüngern oder organischen Düngern (Gülle, Gärrest) überhaupt keine Rolle.

Die Verwendung Schwefel-haltiger N-Dünger ist kalkzehrender als der Einsatz von Schwefel-freien N-Düngern (→ auch Anhangstabellen 6 und 20).

Tabelle 12: Höhe der Gesundungs- und Erhaltungskalkung in Abhängigkeit von pH-Wert und freiem Kalk auf Acker (Humusgehalt $\leq 4\%$)

Bodenart	Boden-schlüssel	Gesundungskalkung (pH-Klasse A/B)		Erhaltungskalkung (pH-Klasse C)		keine Kalkung bei
		bei pH-Wert	Einmalige Höchstgabe dt CaO/ha	bei pH-Wert	Menge für 3 Jahre dt CaO/ha	
S	01	< 5,4	15	5,4 - 5,8	7	> 5,8
l'S	02	< 5,8	20	5,8 - 6,3	12	> 6,3
IS - uL	03 - 05	< 6,2	60	6,2 - 6,5 und 6,6 - 6,8 (-)	17	> 6,8 und 6,6 - 6,8 (+)
tL - T	06 - 08	< 6,6	100	6,6 - 6,7 und 6,8 - 7,2 (-)	20	> 7,2 und 6,8 - 7,2 (+)

(-) kein freier Kalk (nach Salzsäure-Test): Erhaltungskalkung erforderlich

(+) freier Kalk (nach Salzsäure-Test): Erhaltungskalkung nicht erforderlich

**Tabelle 13: Anzustrebender pH-Bereich auf Grünlandböden mit max.15 % Humus
Düngebedarf für die Erhaltungskalkung und einmalige Höchstgabe der Gesundungskalkung**

Bodenart	anzustrebender pH-Bereich Gehaltsklasse C	Erhaltungskalkung* (in Gehaltsklasse C) (dt CaO/ha)	Gesundungskalkung** (in Gehaltsklasse A/B) (dt CaO/ha)
Sand	4,7 - 5,0	4	15
schwach lehmiger Sand	5,2 - 5,5	5	15
stark lehmiger Sand	5,4 - 5,7	6	20
sandiger Lehm	5,4 - 5,8	6	20
schluffiger Lehm	5,6 - 5,9	7	25
toniger Lehm			
lehmiger Ton	5,7 - 6,1	8	30
Ton			

* Erhaltungskalkung alle 4 Jahre in angegebener Höhe

** einmalige Höchstgabe, höhere Gaben sind aufzuteilen

Quelle für die beiden Tabellen 12 und 13: LfL, Gelbes Heft, 2018, Seiten 20/21

Tabellen zur Ermittlung des Kalkdüngungsbedarfes in Abhängigkeit vom gemessenen pH-Wert sind im Anhang zu finden.

4.4.3. Kalkformen und Kalkwirkung

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Kalkdünger ist ihre unterschiedliche Wirkungsgeschwindigkeit (*Übersicht 10*):

Branntkalk (Calciumoxid, CaO) Magnesiumbranntkalk (CaO , MgO) Mischkalke (CaO , Ca(OH)_2 , CaCO_3)	Kohlensaurer Kalk (CaCO_3) Kohlensaurer Magnesiumkalk (CaCO_3 , MgCO_3)	Kieselsaure Kalke Hütten- und Konverterkalke (CaSiO_3 , MgSiO_3)
hoch		niedrig
Abnehmende Wirkungsgeschwindigkeit		

Für die Wirkungsgeschwindigkeit gilt:

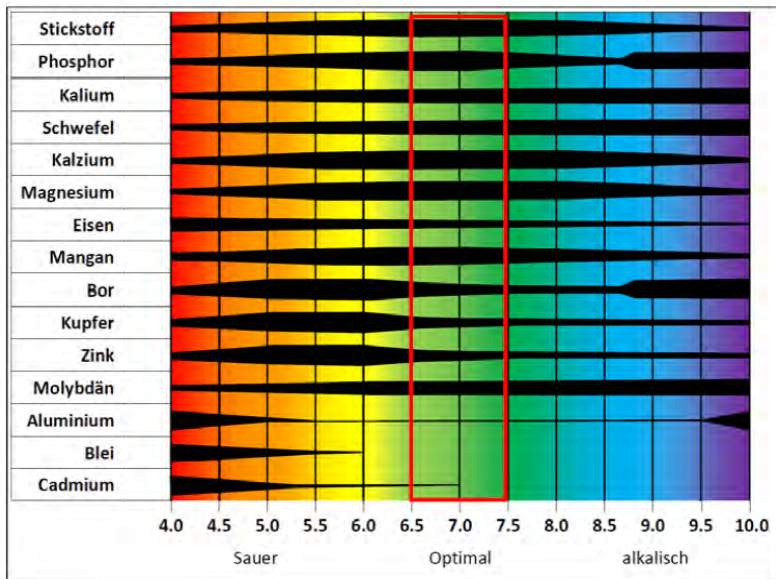
Branntkalk wirkt schneller als Kohlensaure- und Kieselsaure Kalke. Je feiner die Vermahlung ungebrannter Kalke ist, desto schneller ist ihre Wirkung.

Calciumsulfat (Gips) ist ein Neutralsalz, das den pH-Wert des Bodens nicht verändert. Mit Calciumsulfat ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$) werden strukturwirksame Calcium-Ionen und rasch wirksamer Schwefel zur S-Düngung bedürftiger Kulturen ausgebracht (→ dazu auch Anhangstabellen 11 und 12).

4.4.4. pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit

Der pH-Wert ist das Maß für die Wasserstoff-Ionen-(H^+)-Konzentration in der Bodenlösung. Bei pH 7 (neutral) stehen die sauer wirkenden H^+ -Ionen und die basisch wirksamen OH^- -Ionen im Gleichgewicht. Fällt der pH-Wert um eine pH-Stufe, steigt die Säurekonzentration um das Zehnfache; fällt der pH-Wert um zwei Stufen, so steigt sie um das Hundertfache an. Zwischen Bodenreaktion (pH-Wert) und Nährstoffverfügbarkeit der Haupt- und Spurenelemente besteht ein enger Zusammenhang (→ Übersicht 11, nächste Seite).

Übersicht 11: Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert nach der CaCl_2 -Methode)* nach VDLUFA 2007



*) In Deutschland wird der pH-Wert überwiegend nach der CaCl_2 -Methode bestimmt. Die Schweiz z.B. bestimmt dagegen den pH-Wert nach der Wasser-Methode. Auch Kinsey untersucht nach pH-Wasser. Der Unterschied liegt darin, dass bei der Wasser-Methode die Werte vor allem im neutralen und im sauren Bodenmilieu um 0,5 Einheiten höher liegen als bei der CaCl_2 -Methode. In alkalischen Böden sind sie gleich. Also darauf achten, mit welcher Methode gemessen wurde.



4.4.5. Die Kalkung im Jahresablauf

Tabelle 14: Kulturspezifische Kalkempfehlungen

Fruchtart	Nutzen der Kalkung	Kalkzeitpunkt
Erbsen/ Bohnen	besserer Feldaufgang, weniger Säure- und Feuchtigkeitsstress, höhere Aktivität der Knöllchenbakterien	Herbst/Winter auf eingeebnete Pflugfurche
Sommergerste	höherer Ertrag - weniger Eiweiß, Verringerung von Säureschäden	Stoppel der Vorfrucht Frühjahr vor der Saat
Rüben	sicherer Feldaufgang, weniger Verschlammung und Erosion, weniger Melassebildner - bessere Qualität, Reduzierung des Wurzelbrandes	Herbst/Winter auf eingeebnete Pflugfurche
Sonnenblume	besserer Feldaufgang	Herbst bis vor Saat
Mais	weniger Erosion, rasche Jugendentwicklung	Herbst bis vor Saat
Kartoffel	bessere Siebfähigkeit des Bodens, höherer Stärkeertrag, Magnesiumzufuhr durch magnesiumhaltige Kalke	Dammkalkung vor letzter Bodenbearbeitung
Grünland	verbesserte Bestandeszusammensetzung, Futterwert, Mineralstoffgehalt, Heuertrag	ganzjährig, wenn der Boden befahrbar ist
Raps	feines, krümeliges Saatbett - Feldaufgang; Schnecken- und Kohlhernie-Reduzierung	Stoppel der Vorfrucht, Branntkalk 3-4 Tage vor der Saat
Getreide	pH-Regulierung, Strohrotte	Stoppel-/Kopfkalkung
Weiden/ Gehege	Desinfektion - Parasitenbekämpfung mit Branntkalk, Wirkung der Grünlandkalkung	jede Jahreszeit, Tiere 2-3 Wochen fernhalten
Wald	Säurebindung, bessere Humusformen und Nährstoffumsetzung; Wurzelwachstum - Naturverjüngung	Herbst/Winter bis Frühjahr
Teich	Wasserqualität, Desinfektion des Teichbodens	Sommer, Herbst/Winter

4.4.6. Kalkausbringung

- Körnige Kalke und Granulate mit eigenem Düngerstreuer
- Gemahlene, trockene Kalke mit Schneckenstreuer des Lagerhauses ab Vorrats-silo
- Feuchtkalke – Lieferung frei Feld, Ausbringung mit speziellen Feuchtkalk-Groß-flächenstreuern
- Im Forst Hubschrauberausbringung und Verblasung durch Lohnunternehmer, Granulate mit eigenem Düngerstreuer oder per Hand bei Einzelbaumdüngung.

Regional wird die Kalkausbringung auch durch Lohnunternehmer angeboten.

Kalkanwendung – organische Dünger

- Branntkalk
Nach Gülle-/Jaucheausbringung mit anschließender Einarbeitung kann unver-züglich Branntkalk ausgebracht werden.
- Kohlensaure Kalke und Kieselsaure Kalke können mit Gülle/Jauche in Berührung kommen, ohne dass kalkbedingte Stickstoffverluste entstehen.

Vorsaat- und Kopfkalkung

- Kohlensaure Kalke und Kieselsaure Kalke verursachen auch bei hohen Aufwandmengen keine Pflanzen- und Wachstumsschäden.
- Bei Branntkalk sollte die Aufwandmenge 15 – 20 dt/ha nicht überschreiten.

Zur Vorsaat- und Kopfkalkung werden vorzugsweise rasch wirksame Kalkdünger wie Branntkalk (gemahlen/körnig), Mischkalk (FEMIKAL®) sowie auch Schwarzkalk verwendet.

Bei einer Kopfkalkung mit Branntkalk in stehende Bestände sollten die Pflanzen abgetrocknet sein.

Die Aufwandmenge liegt im Regelfall in der Höhe einer Erhaltungskalkung (im Ø 15 dt/ha CaO). Ungebrannte Kalke werden auf leichten, sandigen und kiesigen Standorten verwendet.

4.5. Magnesium (Mg)

4.5.1. Magnesium in Boden und Pflanzen

Ein erheblicher Teil aller untersuchten Bodenproben in BW sind mit Magnesium unterversorgt. Der Mg-Gehalt im Boden ist vorwiegend abhängig vom geologischen Ausgangsmaterial, vom Verwitterungsgrad und vom Grad der Bodenbildung. Durch Gesteinsverwitterung wird Mg gelöst und geht durch Auswaschung verloren. Zu den typischen Mg-Mangelstandorten gehören leichte Muschelkalk-, reine Kalkstein- und Schotterböden. Besonders arm an Magnesium sind jedoch Sandböden. Böden aus Dolomit und Basalt enthalten dagegen viel Magnesium. Von fachlicher Seite besteht die Forderung, Magnesium in die Standard-BU aufzunehmen.

Magnesium ist ähnlich wie Kalzium im Boden gut beweglich, so dass es auf leichten Böden beachtliche Verluste durch Verlagerung und Auswaschung geben kann. Durch überhöhte S-Düngermengen wird das Problem noch verschärft.

In der Pflanze ist Magnesium zentraler Baustein des Blattgrüns und an über 300 Enzymfunktionen besonders im Eiweißstoffwechsel (Anhäufung von Amiden, schlechte N-Verwertung) und im Kohlehydratstoffwechsel (TKG, Siebsortierung) beteiligt → *Übersicht 12: Steckbrief für Magnesium*

Magnesium – wichtige Funktionen in der Pflanze



• wird in das Chlorophyll als Zentralatom eingebaut	• ergibt ein höheres Hektolitergewicht beim Getreide
• wird im Mangel an älteren Blättern sichtbar	• fördert den Mineralstoffgehalt des Grünland Aufwuchses
• steuert Stoffwechselvorgänge	• hebt den Zuckergehalt der Rübe
• hilft bei der Synthese von Karotin (Vitamin A)	• wirkt pH-neutral wenn in Kieserit-Form appliziert
• dient als Baustein von Zellwänden	• vermindert Schorfbefall bei Kartoffeln
• reduziert den Nitratgehalt der Pflanze	• hilft den Leguminosen bei der Stickstoffaneignung
• verbessert die Photosyntheseleistung	• fördert die Ausfärbung und damit die Qualität von Weihnachtsbäumen
• steigert den Proteingehalt des Getreidekorns	



**Tabelle 15: Gehaltsklassen für Magnesium in Acker- und Grünlandböden
und die daraus abgeleitete Düngerbemessung in BW
(nach CaCl_2 -Methode)**

Zur Ableitung von Düngungsempfehlungen aus dieser Tabelle siehe auch Tab.1, Seite 5

Gehaltsklasse	MgO (mg/100g Boden)			Düngeempfehlung (kg MgO/ha)
	Ackerboden leicht	Grünland mittel und schwer		
A	< 3	< 5	< 7	75 - 100
B	3 - 6	5 - 9	< 10	50 - 100
C	7 - 10	10 - 20	10 - 20	0 - 40
D	11 - 49	21 - 49	21 - 30	0 - 20
E	> 49	> 49	> 30	0

Basisquelle VDLUFA

Umrechnungsfaktor Mg = $\text{MgO} \times 1,658$

4.5.2. Magnesiumbedarf

Magnesium steht bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen in Konkurrenz mit Kalium, Calcium und Ammonium. Daher muss der Magnesiumdüngung besondere Aufmerksamkeit zukommen bei:

- ammoniumbetonter N-Düngung (Gülle, AHL, Harnstoff, DAP, ASS, SSA)
- auf Böden mit sehr niedrigem pH-Wert (Aluminium-Mg – Konkurrenz)
- auf Böden mit hohem Gehalt an freien Kalk (Ca-Mg – Konkurrenz)
- Aufkalkungsmaßnahmen mit Mg-freien oder Mg-armen Kalken (z.B. Carbokalk)
- sehr hohen Kaligehalten im Boden
- hohem Blattfruchtanteil, intensiver Grünlandnutzung und hohem Ertragsniveau (hoher Mg-Bedarf)
- und natürlich bei niedrigen Mg-Bodenwerten (z.B. nach hohen Niederschlägen)

Die Düngung sollte am spezifischen Bedarf der angebauten Frucht ausgerichtet sein. Der Magnesiumentzug der landwirtschaftlichen Kulturen liegt zwischen 20 und 80 kg MgO/ha und Jahr. Bei einer Erhaltungsdüngung sind weiterhin die Standortbedingungen sowie die aktuelle Bodenversorgung zu berücksichtigen.

4.5.3. Magnesiumformen und deren Wirkungsweise

Für die Düngung spielen vier Formen eine Rolle:

- Magnesiumcarbonat (MgCO_3) in Kohlensaurem Magnesiumkalk und in verschiedenen PK- und NPK-Düngern sowie i. d. R. im Kalkammonsalpeter
- Magnesiumoxid (MgO) im Magnesium-Branntkalk
- Magnesiumsilikat in Düngemitteln, die aus Hochofenschlacke gewonnen werden (z.B. Hüttenkalk)
- Magnesiumsulfat (MgSO_4) z.B. in K-ED wie Korn-Kali und Patentkali, Kieserit, Bittersalz und Polysulfat

Während Magnesium in Carbonat-, Oxid- oder Silikatform den Pflanzen erst dann zugänglich ist, wenn es in austauschbarer, pflanzenaufnehmbarer Form vorliegt, ist Magnesiumsulfat gut wasserlöslich und für die Pflanzen sehr schnell verfügbar. Für alle Mg-haltigen Kalke gilt, dass die Mg-Wirkung langsam und nachhaltig ist und mit steigender Mahlfineinheit zunimmt.

Bei der Anwendung von Magnesium-haltigen Düngemitteln ist ferner zu beachten: Mg-Sulfat bleibt ohne Einfluss auf die Bodenreaktion (ist also pH-neutral), während Mg-haltige Kalke die Bodenreaktion zur alkalischen Seite verschieben. Außerdem wirkt Mg-Sulfat im Gegensatz zu den Magnesiumformen in den Kalken unabhängig vom pH-Wert und Ausbringungszeitpunkt.

Bild 6 K+S



Typischer Magnesiummangel an Maispflanzen, gut erkennbar durch die perlschnurartigen Aufhellungen in den Blättern. Die Kolben sind dann an der Spitze häufig nicht voll eingekörnt.

4.5.4. Empfehlungen zur Magnesiumdüngung

- Auf Böden, die gleichzeitig kalk- und magnesiumbedürftig sind, werden bevorzugt Mg-haltige Kalke eingesetzt, zumal das Magnesium in diesen Düngemitteln preiswert ist und keinen Mehraufwand erfordert. Für die Ausbringung sind die Monate nach der Getreideernte am besten geeignet.
- Auf Böden ohne Kalkbedarf sollte die erforderliche Magnesiumzufuhr in Form von Magnesiumsulfat erfolgen. Dies gilt ebenso für Böden mit freiem Kalk. Auf auswaschungsgefährdeten Böden empfiehlt sich die Frühjahrsdüngung.
- Um dem hohen Mg-Bedarf des Maises Rechnung zu tragen und sein geringes Nährstoffaneignungsvermögen zu berücksichtigen, gibt es auf Mangelstandorten die Möglichkeit, die Unterfußdüngung durch Kieserit „gran“ zu ergänzen.
- Magnesiumdünger in sulfatischer Form enthalten in beachtlichen Mengen den Pflanzennährstoff Schwefel als willkommenen Partner.
- Akuter oder latenter Mg-Mangel kann über die Mg-Blattdüngung (z.B. 5 %ige Bittersalzlösung) trotz der geringen Ausbringungsmengen schnell behoben werden (sehr hoher Wirkungsgrad). Die Blattdüngung kann die Bodendüngung jedoch nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.

Bilder 7 und 8 K+S



Typischer Magnesiummangel an Weinreben, gut erkennbar durch das Aufhellen zwischen den Blattadern. Liegt akuter Mg-Mangel vor, ist meistens Stielähme die Folge.

Übersicht 13: Bittersalzanwendung bei verschiedenen Kulturen

Kultur	Anwendungszeit	Konzentration
Getreide	Entwicklungsstadium 30 – 71	5 %ig
Raps	Schossen bis Blüte	5 %ig
Erbsen, Bohnen	vor der Blüte	5 %ig
Kartoffeln	vor und in der Blühphase	3-5 %ig
Rüben	zum Reihenschluss	5 %ig
Mais	zur Maiszünslerbekämpfung	5 %ig
Obst	zur Fruchtbildung, mehrfach	2-3 %ig
Hopfen	2 - 3 mal bis zur Blüte	2-5 %ig
Reben	bis Anfang August 1 –2 mal	3-5 %ig
Spargel	ab Mitte Juli 1 –2 mal	3-10 %ig
Gemüse	mit Insektizid-/Fungizidbehandlung	2-3 %ig
Nadelgehölze	mehrfach bei Gelb- und Braunfärbung	3-5 %ig
Unterglasanbau	mit Tröpfchenbewässerung	2-3 %ig

Magnesium fördert auch die Phosphat-Verfügbarkeit im Boden und die N-Effizienz durch Struvitbildung.

Bei der kombinierten Gabe von NP und Mg-Sulfat (z.B. Kieserit) bildet sich unter Einfluss von Feuchtigkeit Ammonium-Magnesium-Phosphat (AMP = Struvit). Laut Versuchen an der Universität Kiel genügt schon das Zusammentreffen 1%-iger Lösungen der beiden Düngemittel, um Struvit entstehen zu lassen. Die Bindung an Magnesium hat den Vorteil, dass der Stickstoff vor vorzeitiger Nitrifikation und damit Auswaschung geschützt wird. Gleichzeitig wird die Bildung von Ca-Phosphat, das längerfristig zur Phosphatalterung führt, gemindert. Struvit ist sehr stabil, unterliegt jedoch nicht dem Alterungsprozess und damit der Festlegung des Phosphates durch Kalk. Insbesondere auf Standorten mit hohem pH-Wert und auf frisch gekalkten Böden kommt dieser Vorteil zum Tragen. Die Nährstoffe im Struvit (N, P, Mg) bleiben nachhaltig, auch über einen längeren Zeitraum pflanzenverfügbar, der pH-Wert ist leicht sauer. Dies ergibt sich bei der Struvitbildung aus dem Proton H^+ : $Mg^{2+} + NH_4^+ + HPO_4^{2-} \rightarrow NH_4MgPO_4 + H^+$.

4.6. Schwefel (S)

Schwefel als sechster Hauptnährstoff ist durch die Rauchgasentschwefelung der Kraftwerke und schwefelärmeres Heizöl sowie Diesel- und Ottokraftstoffe in den letzten Jahrzehnten ins Minimum geraten. Der S-Eintrag aus der Luft beträgt in Baden-Württemberg derzeit weniger als 6 kg/ha und Jahr. Wegen der mittlerweile geringen Schwefeleinträge aus der Atmosphäre nehmen die Bodenvorräte an Schwefel stetig ab. Damit gewinnt die Schwefeldüngung in allen Kulturarten an Bedeutung und zählt bei manchen, insbesondere bei Winterraps, sogar zu den Standardmaßnahmen. Auch im Grünland und im Leguminosenanbau steigt dessen Bedeutung.

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 (Basalt, Schlacken) oder schwefelreichen Sedimenten (Gips) entwickelt haben, besitzen von Haus aus einen höheren Schwefel-Gehalt als solche, deren Ursprung Sandstein oder glaziale Sand- und Schotterablagerungen sind.

Schwefel, der in der mineralischen Bodensubstanz eingebunden ist, hat für die Pflanzenernährung fast keine Bedeutung, denn die Pflanzen nehmen diesen Nährstoff über die Wurzel nur in gelöster Form als Sulfat (SO_4^{2-}) auf.

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

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

Daher tritt Schwefelmangel besonders auf leichten, humusarmen und somit auswaschungsgefährdeten Böden auf. Gleichzeitig bedeutet dies, dass eine Vorratsdüngung mit Schwefel nicht möglich ist, sondern die Schwefelzufuhr zeitlich an die Aufnahme durch die Pflanzen angepasst werden muss. Bei Raps sind dies schon im Herbst etwa 20 kg Schwefel pro Hektar.

Schwefel bzw. seine Umwandlung im Boden zum Sulfat (aufoxidierter Schwefel) wirkt kalkzehrend. S-haltige Dünger sind daher hinsichtlich ihres Kalkverbrauchs durchaus unterschiedlich zu bewerten. So ist der Kalkverbrauch von elementarem Schwefel dreimal so hoch zu bewerten wie beim Schwefel aus ammonium-haltigen Stickstoffdüngern. Darüber hinaus können Nebenbestandteile in den einzelnen Düngemitteln zur Neutralisation beitragen. So sind beispielsweise die S-haltigen Produkte Gips sowie die Kali-Einzeldünger und Magnesium-Einzeldünger als pH-neutral einzuordnen.

Bei der Schwefelaufnahme bevorzugen die Pflanzen die Sulfatform (SO_4). Andere Schwefelformen wie SO_2 aus der Luft oder elementarer Schwefel (Netzschwefel) müssen erst in die Sulfatform überführt werden, z.B. durch Thiobakterien, die erst bei relativ hohen Bodentemperaturen aktiv werden. Diese Zusammenhänge gelten gleichermaßen bei der Boden- und Blattdüngung.

4.6.2. Schwefel in der Pflanze

Schwefel wird von den Pflanzen etwa in gleich hohen Mengen wie Magnesium aufgenommen. Er zählt daher zu den Hauptnährstoffen. Zum S-Bedarf einzelner Kulturarten finden Sie entsprechende Werte in den Anhangstabellen 1 und 14 auf den Seiten 96 und 106. Der S-Bedarf ist zudem stark Standort-abhängig (siehe S-Schätzrahmen Seiten 67 und 68).

90% des Schwefels sind an die Eiweißbausteine gebunden. Schwefelmangel bedeutet daher gleichzeitig eine Störung des N-Stoffwechsels. Außerdem werden bei S-Mangel der Chlorophyllaufbau und die Steuerung wichtiger Stoffwechselenzyme behindert.

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

Übersicht 13: Steckbrief für Schwefel

Schwefel – wichtige Funktionen in der Pflanze



• wird vorwiegend als Sulfat-Ion aufgenommen	• verbessert die Stickstoff-Ausnutzung
• wird im Mangel an jüngeren Blättern sichtbar	• fördert die Ölbildung z. B. bei Kreuzblütlern und Zwiebeln
• steuert Stoffwechselprozesse	• fördert die Mineralstoffgehalte des Grünland Aufwuchses
• hilft bei der Synthese von Vitaminen (Vitamin B)	• hat als Nährstoff fungiziden Charakter
• dient als Baustein von Aminosäuren	• wirkt pH-neutral, wenn der S in Mg ²⁺ - oder K-Sulfatform vorliegt (z.B. als Kieserit/Bittersalz)
• steigert die Eiweißqualität der Pflanze	



*Tabelle 16: S-Versorgung und Pflanzenqualität
(Wirkung der S-Düngung in Mangelsituationen)*

Auswirkungen auf:	in Form von:
1. N-Stoffwechsel • Eiweißqualität allgemein • Backqualität (z.B. Weizen) • Brauqualität (z.B. Gerste) • Futter(Nahrungs)-qualität Leguminosen • Futterqualität (z.B. Cruziferen)	biol. Wertigkeit (S-Aminosäure) 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 Glucosinulat-Gehalte (?) 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 aufgenommenen Schwefel wird in der Pflanze vorwiegend in jüngere Pflanzenteile transportiert und dort fest eingebaut. Es erfolgt später kaum eine Umverlagerung in der Pflanze, wie dies mit anderen Nährstoffen in gewissen Grenzen möglich ist. Es ist also dafür zu sorgen, dass den Kulturen während der gesamten Bedarfsperiode ausreichende Schwefelmengen zur Verfügung stehen.

Die Schwefel-Aufnahme verläuft zeitlich ähnlich der Stickstoff-Aufnahme. Die Schwefeldüngung sollte daher frühzeitig zur jeweiligen Kultur erfolgen. Damit wird latenter Schwefelmangel bzw. eine Unterversorgung in einem Zeitraum vermieden, in welchem einerseits der S_{min}-Gehalt im Boden womöglich sehr niedrig sein kann wegen hoher Winterniederschläge und andererseits die Mineralisierung im kalten Boden noch recht unzureichend ist. Gleichzeitig wird bei frühzeitiger S-Düngung die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs gesichert.

4.6.3. Schwefelformen

Für die Düngung sind folgende Schwefelformen relevant (Beispiele in Klammern):

- Ammoniumsulfate (ASS*, SSA, Piamon 33-S, Piasan 24-S, Alzon flüssig-S, Entec 26*, Domogran 45) (*mit Nitrat)
- Kaliumsulfate (Kaliumsulfat, Patentkali, Polysulfat)
- Magnesiumsulfate (Kieserit, Bittersalz, Polysulfat)
- Calciumsulfate (= Gips)** (Superphosphat, Yara Bela-Sulfan, Dolosul 10+6, NAC+S, Kohlensäurer Kalk mit Schwefel 80/2)
- Elementarer Schwefel (Netzschwefel, geringe Wirkung, da der S erst zum Sulfat aufoxydiert werden muss, stark versauernd)

)** besitzt keine pH-Wirkung

Viele NPK- und PK-Dünger enthalten Schwefel in der Sulfatform (siehe Tabelle 13 im Anhang). Netzschwefel ist rein elementarer Schwefel, stark kalkzehrend und löst daher eine stark versauernde Wirkung aus. Sein Kalkwert liegt bei -140. Der Kalkverbrauch relativiert sich allerdings dann, wenn insgesamt nur eine kleine Menge eingesetzt wird. Bei mehrmaligem Einsatz, wie vor allem im Weinbau, zählt zuletzt in Bezug auf den tatsächlichen Kalkverlust pro Hektar und Jahr die Summe der Einzelgaben. Netzschwefel hat mehr Bedeutung im Pflanzenschutz.

Gülle enthält mit 0,1 – 0,5 kg/m³ nicht nur relativ wenig Schwefel, sondern dieser Schwefel liegt auch noch in organischer Form vor. Davon sind nur etwa 20 % pflanzenverfügbar, weshalb Gülle-Schwefel keine oder nur eine äußerst geringe Sofortwirkung aufweist. Die Schwefelzufuhr über Gülle sollte daher keinesfalls überschätzt werden.

Die S-Gehalte in den verschiedenen mineralischen Düngemitteln sind aus den Anhangstabellen 6 - 13 sowie 20 und 21 zu entnehmen, die jeweils dazugehörige S-Form nur in Anhangstabelle 11. Schwefelgehalte aller EU-Düngemittel können seit 2014 als SO₃ (Schwefeltrioxid) deklariert werden. In dieser Form liegt S im Dünger aber nicht vor. Um auf den Gehalt an den Reinnährstoff Schwefel (S) zu kommen, ist der Faktor 0,4 zu benutzen (→ auch Kap. 7.4. auf den Seiten 93/94).

4.6.4. Schwefelbedarf (mittels Schwefelschätzrahmen in Übersicht 14 und 15)

SCHWEFEL-SCHÄTZRAHMEN ACKERBAU

Merkmal	Bewertung mit Punktzahlen	Punktzahl
Standorteigenschaften		
Bodenart 1) < 0,5 Sand, lehmiger oder schluffiger Sand 2) > 0,5 sandiger, sandig-toniger oder schluffiger Lehm 3) > 0,5 Ton, sandiger oder lehmiger Ton	sandiger Boden, Schotterboden ¹⁾	1
	lehmiger Boden ²⁾	3
	toniger Boden ³⁾	5
Humusgehalt	arm, < 2% Humus	2
	mittel, > 2-4% Humus	3
	reich, > 4% Humus	4
Verfügbare Wurzelraum (Krumme + durchwurzelte Raum)	flachgründig	2
	tiefgründig	4
Strukturschäden (Verschlammung, Bodenverdichtung, Pflugsohle)	vorhanden	1
	stellenweise vorhanden	3
	nicht vorhanden	4
N _{min} -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, Kohlarten, 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 (Ertragsseinbussen, Blattanalyse, Mangelsymptome)	Ja	1
	Nein oder Unbekannt	3
Ertragsniveau (dt/ha) hoch mittel niedrig	hoch	2
Raps > 40 30-40 < 30	mittel	3
Getreide > 75 50-75 < 50	niedrig	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), 20+8+8(+3+4), Kaliumsulfat)	Nein	1
	Ja	3

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 zur Zeit nicht zu erwarten

Summe

VORGEHENSWEISE

1. Bewertung jedes einzelnen Merkmales eines Schlages.
2. Eintragen der angegebenen Bewertungspunkte in die Spalte „Zutreffende Punktzahl“.
3. Nach der Bewertung aller Merkmale Addition der Bewertungspunkte.
4. Ergibt sich als Summe aller Bewertungspunkte eine Zahl.

SCHWEFEL-SCHÄTZRAHMEN GRÜNLAND

Merkmals	Bewertung mit Punktzahlen	Punktzahl
Standorteigenschaften		
Bodenart 1) z. B. Sand, lehmig oder schluffiger Sand 2) z. B. Sandig, sandig-toniger oder schluffiger Lehm 3) z. B. Ton, sandiger oder lehmiger Ton	Sand ¹⁾ , Schotter	1
	Lehm ²⁾	4
	Ton ³⁾ , Moorboden	7
Narbenalter	unter 5 Jahre	1
	über 5 Jahre	3
N _{min} -Situation auf Ackerflächen laut Mitteilung der amtlichen Beratung	unterdurchschnittlich	1
	normal	3
	überdurchschnittlich	5
S-Mangel bereits erkannt/in landwirtschaftlichen Kulturen der Region bereits aufgetreten	Ja	1
	Nein	3
Witterung		
Jahresniederschläge im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	hoch	1
	normal	3
	niedrig	5
Bewirtschaftung		
Bestandeszusammensetzung	Gräserreich	2
	Kräuterreich	3
Nutzung	Portionsweide, intensive Umtriebsweide, Schnittnutzung, 3-4 Schnitte	1
	Umtriebsweide, Schnittnutzung, 1-2 Schnitte	3
	Standweide	5
Ertragsniveau Grünland	hoch	1
	mittel	3
	niedrig	5
Düngung		
Höhe der Organischen Düngung	< 1 GV/ha	1
	1-2 GV/ha	2
	> 2 GV/ha	3
In den letzten 3 Jahren Einsatz nennenswerter Schwefelmengen aus Mineraldüngern (z. B. ass, Nitrophoska® 13+9+16(+4+7), 20+8+8(+3+4), Karnit)	Nein	1
	Ja	3
11-18 Punkte: Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel hoch, Düngung mit ass notwendig 19-28 Punkte: Bestände (besonders Raps) genau beobachten, Düngung mit ass empfehlenswert 29-42 Punkte: Schwefelmangel zur Zeit nicht zu erwarten		
		Summe

Die Vorgehensweise ist im Grünland identisch zu der Feststellung der Punktezah in Ackerbau (siehe Kästchen unten auf der Seite vorher).

Zur Behebung von S-Mangel ist der aufgeführte Ammonsulfatsalpeter (ASS) nur ein Beispiel von mehreren möglichen (siehe Anhangstabelle 11 auf Seite 103).

Quelle der zwei Schwefelschätzrahmen für Acker- und Grünland: EuroChem Agro

4.7. Natrium (Na)

4.7.1. Natrium im Pflanzenbau

Natrium ist für Pflanzen i.d.R. nicht essentiell (= lebensnotwendig), hat allerdings allgemein einen günstigen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Pflanzen.

Es gibt allerdings einige Kulturarten, die durchaus Na-Ansprüche aufweisen. Dazu gehören vor allem Rübe, Sellerie, Spinat sowie Raps und Gerste. So zeigen z.B. Zuckerrüben bei unzureichender Na-Versorgung vorzeitig Welkeerscheinungen, verbunden mit Ertragseinbußen. Darüber hinaus kann Natriumchlorid (NaCl) den Nitratgehalt im Grünlandaufwuchs sowie im Spinat und Blattsalat senken.

Auf Standorten mit niedrigem Na-Gehalt (unter 2 mg/100 g Boden) ist die Anwendung Na-haltiger Düngemittel zu o.g. Kulturen durchaus vertretbar.

4.7.2. Natrium in der Tierernährung

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

Mangelerscheinungen äußern sich in Form von Lecksucht, Appetitmangel, Nervosität, Muskelzittern, struppigem Fell und Leistungsminderung.

Bei Natriummangel sind die Magnesiumresorption im Tier und die Bildung von Sexualhormonen (Fruchtbarkeit) eingeschränkt. Die unvermeidbare Folge sind Fruchtbarkeitsstörungen.

Wegen der durchweg niedrigen Na-Gehalte im Grünlandaufwuchs (< 0,1 % Na i. d. TS) sollte ein Teil des Natriumbedarfes der Tiere über natriumhaltige Düngemittel bei der Grünlanddüngung gedeckt werden (Tab. 17, auf der nächsten Seite). Eine ausschließliche Beifütterung über Viehsalz und Lecksteine reicht vor allem bei einer Hochleistungskuh nicht aus, da deren Tagesbedarf bei rund 40 g Natrium liegt. Hohe Viehsalzgaben allein führen häufig zu erhöhtem Wasserverbrauch und Durchfall.

Die Natriumdüngung auf Grünland wird vorzugsweise im zeitigen Frühjahr, in Trockengebieten teilweise schon im Spätherbst, seltener aber zu den einzelnen Aufwüchsen durchgeführt. Eine Verdoppelung der Na-Gehalte im Futter ist somit in vielen Fällen gewährleistet. Nebenbei wird die Schmackhaftigkeit und Futteraufnahme dadurch wesentlich verbessert.

Die Schmackhaftigkeit hängt jedoch nicht allein vom Natrium im Aufwuchs ab, sondern vielmehr von den Gehalten an Natrium, Kalium und Chlorid in ihrer Summe. Vor allem die kombinierte Aufnahme von Natrium und Chlorid durch die Pflanzen fördert die Schmackhaftigkeit des Futters und somit die für eine optimale Grundfutterleistung so wichtige Grundfutteraufnahme.

Dieses gedüngte Chlorid hat noch einen weiteren positiven Nebeneffekt. In der Bodenlösung konkurriert es nämlich gemeinsam mit den Sulfat-Ionen um die Aufnahme an der Wurzel mit den ebenfalls negativ geladenen Nitrat-Ionen. Dadurch wird eine übermäßige Nitrataufnahme von Pflanzen mit der Folge von zu hohen Nitratgehalten im Futter gebremst (siehe dazu auch Kap. 4.9.3.).

Tabelle 17: Natriumgehalte verschiedener Mineraldünger

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

4.8. Spurennährstoffe

Neben den Hauptnährstoffen (= Makro-Nährstoffe) benötigen die Pflanzen nur acht verschiedene Spurennährstoffe, auch Mikro-Nährstoffe genannt, wovon Bor (B), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo) und Eisen (Fe) deutlich im Vordergrund stehen. Chlorid (Cl⁻) und Nickel (Ni) sind normalerweise in den Böden ausreichend vorhanden. Andere mit dem Saftstrom in die Pflanze gelangende Spurenelemente sind für Pflanzen nicht essentiell. Sie können jedoch – wie z.B. bei Selen – in der Tier- und Humanernährung essentiell sein.

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.

Die Verfügbarkeit hängt im Wesentlichen vom Wassergehalt des Bodens und dem pH-Wert ab (siehe Übersicht 11, Seite 54). Bei steigendem pH-Wert sinkt die Verfügbarkeit der Spurennährstoffe, außer die von Molybdän, welches durch Aufkalkung sogar mobiler wird. Im Bereich des für die einzelnen Bodenarten anzustrebenden pH-Wertes ist in der Regel eine für die Pflanzenernährung ausreichende Verfügbarkeit der Spurennährstoffe um einem pH-Wert von 6,5 sichergestellt. Latenter oder vorübergehender Mangel tritt vorrangig in Trocken- und Kälteperioden auf.

Tabelle 18: Entzug an Spurennährstoffen in g/ha nach LfL Freising und LTZ

Kultur	Bor	Mangan ^{*)}	Zink	Kupfer
Getreide, 80 dt/ha				
Korn,	25 - 35	300 - 600	100 - 200	30 - 40
Korn und Stroh	40 - 50	500 - 800	300 - 400	50 - 60
Zuckerrüben, 600 dt/ha				
Rübe	250 - 350	300 - 400	150 - 200	50 - 60
Rübe und Blatt	450 - 550	600 - 700	250 - 350	80 - 90
Raps, 35 dt/ha				
Korn	250 - 500	1300 - 2500	400 - 700	30 - 60
Mais, 140 dt TM/ha				
Gesamtpflanze	130 - 250	2400 - 3600	310 - 380	100 - 200
Kartoffeln, 400 dt/ha				
Knolle	60 - 160	50 - 60	80 - 160	60

*) Bei guter Mangan-Verfügbarkeit können die Entzüge deutlich über dem Düngebedarf liegen.

4.8.1. Untersuchungsmethodik und Richtwerte für Spurennährstoffe

Seit 2004 wird in Baden-Württemberg die sogenannte CAT-Methode als Standardverfahren genutzt, d.h. eine für alle Spurenelemente einheitliche Untersuchungsmethodik. Verwendet wird hierfür eine Lösung aus Calciumchlorid (CaCl_2) und DTPA (=Diethylentriaminpentaessigsäure). Ergebnisse anderer Untersuchungsmethoden sind damit nicht unmittelbar vergleichbar.

Richtwerte für Spurennährstoffgehalte bei Bor, Mangan, Kupfer und Zink für Ackerböden in mg/kg Boden (nach CAT-Methode), nach LTZ Augustenberg aus der Broschüre „Beratungsgrundlagen für die Düngung“, Tabellen 2-19 auf den Seiten 35-36 und LfL Freising. Diese Quellenangabe gilt für die folgenden Tabellen 19-23.

Tab 19: Richtwerte für Borgehalte (mg/kg Boden) in Mineralböden auf Ackerland (CAT-Methode)

Gehaltsstufe	Bodenart			
	S	I'S	IS	sL - T
pH-Wert $\leq 6,0$ *)				
A	< 0,10	< 0,12	< 0,15	< 0,20
C	0,10 bis 0,30	0,12 bis 0,40	0,15 bis 0,50	0,20 bis 0,60
E	> 0,30	> 0,40	> 0,50	> 0,60
pH-Wert > 6,0				
A	< 0,15	< 0,20	< 0,25	< 0,35
C	0,15 bis 0,40	0,20 bis 0,60	0,25 bis 0,80	0,35 bis 1,0
E	> 0,40	> 0,60	> 0,80	> 1,0

*) Die CAT-Methode ist für die Untersuchung von Böden mit einem pH-Wert < 5 auf den Borgehalt nicht geeignet. Es wird daher auf diesen Böden empfohlen, erst ein Jahr nach erfolgter Aufkalkung die Bodenuntersuchung nach der CAT-Methode durchzuführen.

Tab. 20: Empfohlene Bordüngung in Abhängigkeit vom Borgehalt des Bodens (Bodendüngung)

Gehaltsstufe	empfohlene Bordüngemenge (kg B/ha) für			
	leichte Böden		mittlere und schwere Böden	
	Mais, Raps, Kohl	Rüben, Luzerne	Mais, Raps, Kohl	Rüben, Luzerne
A	0,4 - 0,8	1,0 - 1,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,5
C	0,5	0,5	0,5 - 1,0	0,5 - 1,0
E	0	0	0	0

Für eine Blattdüngung mit Bor ist eine Aufwandmenge von 200 – 400 g Bor/ha in 400 l Wasser zu empfehlen. Zu beachten ist dabei, dass nur Präparate auf Basis von Borsäure den pH-Wert der Spritzlösung leicht absenken, während komplexe

Borverbindungen, wie Boräthanolamin, den pH-Wert der Spritzlösung erhöhen. Das kann negativ Folgen haben für die Stabilität und Wirksamkeit beigemischter Pflanzenschutzmittel.

Tab. 21: Richtwerte für Kupfergehalte (mg/kg Boden) in Ackerböden (CAT-Methode) und Düngeempfehlung in kg Cu/ha (Bodendüngung)

Gehaltsstufe	leichte Böden und stark humose Böden (S - I'S)	mittlere und schwere Böden (IS - T)	empfohlene Düngegaben kg Cu/ha
A	< 0,8	< 1,2	5 - 10
C	0,8 - 2,0	1,2 - 4,0	1 - 3
E	> 2,0	> 4,0	0

Für die **Blattdüngung** eignen sich besonders Cu-Chelatdünger (bis 15 % Cu, ca. 0,3 kg Cu-Chelat/ha in 400 l Wasser), aber auch Cu-Sulfat (stark ätzend). Cu-Oxide und Cu-Hydroxide sind schwer löslich und damit als Blattdünger nicht geeignet. Blattspritzungen sind frühzeitig zu applizieren (z. B. bei Getreide bereits zur Bestockung). Nach Auftreten der ersten Mangelsymptome während des Schossens bzw. Ährenschiebens ist keine Abhilfe mehr möglich. Da Kupfer eine starke Verdrängungswirkung von Mangan zur Folge hat, sollte eine Cu-Düngung immer mit einer Mangandüngung kombiniert werden.

Tab. 22: Richtwerte für Mangangehalte (mg/kg Boden) in Ackerböden (CAT-Methode)

Gehaltsstufe	leichte Böden (S - I'S) pH-Wert					mittlere und schwere Böden (IS - T)
	< 5,0	5,0 - 5,5	5,6 - 6,0	6,1 - 6,5	> 6,5	ohne pH-Begrenzung
A	< 3	< 6	< 10	< 25	< 30	< 30
C	3 - 8	6 - 15	10 - 30	25 - 50	30 - 60	30 - 60
E	> 8	> 15	> 30	> 50	> 60	> 60

Häufig, insbesondere aber auf zur Festlegung neigenden Böden, wie z. B. stark Carbonat-haltigen Niedermoorböden, ist Manganmangel durch Bodendüngung nicht zu beheben. Dagegen bringen jährliche **Blattspritzungen** (z. T. mehrfach wiederholt) mit maximal 1,5%iger Lösung von Mangansulfat (4 - 6 kg in 400 l Wasser) bzw. Manganchelat (1 - 2 l/ha bzw. 0,75 - 1,0 kg/ha bei festen Chelaten) meist gute Ergebnisse. Der Einsatz physiologisch saurer Dünger (schwefelsaures Ammoniak, Ammonsulfatsalpeter etc.) verbessert die Mn-Verfügbarkeit.

Tab.23: Richtwerte für Zinkgehalte (mg/kg Boden) in Ackerböden (CAT-Methode) und Düngeempfehlung in kg Zn/ha

Gehalts- stufe	mg Zn/kg (alle Bodenarten)	Bodendüngung kg Zn/ha für 3 - 4 Jahre	Blattdüngung kg Zn/ha
A	< 1,1	7 - 10 ¹⁾	0,3
C	1,1 - 3,0	5 - 7	0,3
E	> 3,0	0	0

Die Löslichkeit von Zink geht mit steigendem pH-Wert und bei sehr hohen Phosphatgehalten im Boden zurück. Zinkmangel kann daher auf neutralen bis alkalischen, Carbonat-reichen Böden, aber auch nach einer stärkeren Aufkalkung auftreten. Blattreiche, schnellwachsende Kulturen wie Mais, Hopfen und Buschbohnen, sind besonders Zink-bedürftig !

Sonstige Nährstoffe

Auf besonderen Standorten, wie z. B. kalkreichen Tonböden und humusreichen Böden, kann Eisen-Mangel, auf tonhaltigen sauren Böden Molybdän-Mangel (Mo) auftreten. Eine Untersuchung wird nur im Falle eines begründeten Verdachtes empfohlen. Die hohen Natrium-Ansprüche von Zuckerrüben und Raps lassen auf Standorten mit niedrigem Natrium-Gehalt (< 10 mg Na/kg Boden) die Verwendung natriumhaltiger Einzeldünger angeraten erscheinen.

4.8.2. Deklaration von Spurennährstoffdüngern

Spurennährstoffdünger unterscheiden sich generell in ihrer Löslichkeit und damit in ihrer Wirkungsgeschwindigkeit. Bei nicht wasserlöslichen ist in der Deklaration nur der Gesamtgehalt eines Nährstoffes im Produkt angegeben. Wasserlösliche Nährstoffverbindungen sind generell als wasserlöslich gekennzeichnet. Wasserlösliche Anteile in Mischformen sind als wasserlöslich gekennzeichnet, wenn deren Gehalt mehr als 25 % beträgt.

Spurennährstoffe sind immer in Elementform deklariert, Hauptnährstoffe, wie z.B. Magnesium, aber als Oxid. Die Kennzeichnung „wasserlösliches Magnesiumoxid“ bedeutet daher nur, dass das Magnesium in wasserlöslicher Verbindung vorliegt. Ist im Spurennährstoffdünger jedoch reines, nicht wasserlösliches Magnesiumoxid enthalten, dann entfällt bei der Gehaltsangabe der Zusatz „wasserlöslich“.

Nährstoffformen in Düngemitteln

- **wasserlösliche Verbindungen:** Chelate (Voll-/Teilchelate), Salze, Nitrate (Enthalten das Wort „wasserlöslich“ in der Deklaration)
- **wasserunlösliche Verbindungen:** Oxide, Hydroxide, Carbonate, kristalline Silikate, Legierungen (Hier wird in der Deklaration nur der Gesamtgehalt angegeben !)
- **Suspensionen/Dispersionen und Mischformen** (Können wasserunlösliche Bestandteile enthalten)
- **Mischdüngerlösungen, Düngerlösungen** (Sind immer wasserlöslich)

Beachtenswertes bei den Nährstoffformen:

Chelate: Es gibt Voll- und Teilchelate. Vollchelate sind sehr rein und enthalten maximal 1 % Rest-EDTA. Freie EDTA ist dagegen blattaggressiv. Teilchelate sind Mischungen aus Salzlösungen mit EDTA und können bis zu 10 % Rest-EDTA enthalten. Bisher nicht in Deutschland vertrieben, aber in anderen EU-Ländern. Zusatz von Stoffen mit chelatisierenden Eigenschaften zu spurennährstoffhaltigen Düngemitteln, die düngemittelrechtlich auch nicht als Chelat gekennzeichnet sind. Diese sind weniger stabil und nicht mit reinen Chelaten vergleichbar, die immer deklariert werden müssen.

Sulfate sind in Wirkung und Verträglichkeit stark unterschiedlich: Sehr gute Verträglichkeit und Aufnahme von natürlichem Magnesiumsulfat (Bittersalz), gute Verträglichkeit von reinem Mangansulfat, aber Gefahr von Verbrennungen durch starke Säurewirkung von z. B. Kupfer-, Zink- und vor allem Eisensulfat

Oxide und Hydroxide erhöhen oft den pH-Wert in Spritzlösungen, wodurch organische Pflanzenschutzmittel an Wirkung einbüßen können.

Carbonate: Düngemittelrechtliche Einordnung unklar; Wirkung als Blattdünger zur schnellen Behebung von Mangelsymptomen eher fraglich. Beispiele: Mangancarbonat, Zinkcarbonat.

Silikate: Siliziumwirkung nur bei löslichen Formen wie Wasserglas, Kieselsäure oder thermisch aufgeschlossenem Silizium. Silikatisch gebundenes Silicium aus Quarz und anderen Silikaten ist nicht pflanzenverfügbar.

Suspensionen: Sollten von der rein chemischen Begriffsdefinition her wasserlöslich sein. Angeboten werden unter dieser Kennzeichnung aber auch Dispersionen, d. h. die Nährstoffe sind nicht wasserlöslich, sondern nur fein verteilt und mit Trägerstoff(en) versehen (wie Dispersionsfarbe). Grund: höhere Konzentrationsmöglichkeit und Verhinderung von Ausfallreaktionen bei reaktiven Elementen.

4.8.3. Bedeutung der Düngung von Spurennährstoffen

Die gezielte Düngung mit Spurennährstoffen bedarf zunehmender Beachtung bei höheren Erträgen und damit auch höheren Entzügen. Besonders beim Einsatz von hochkonzentrierten Mineraldüngern ohne Nebenbestandteile ist die Spurennährstoffzufuhr über den Boden oder als Blattdünger nicht zu vernachlässigen. Zur Sicherung der Versorgung über den Boden stehen mit Spurennährstoffen angereicherte Düngemittel oder Konverterkalke mit Spurennährstoffen als Nebenbestandteil zur Verfügung. Eine vorbeugende Blattdüngung ist ebenfalls immer möglich. Bei akutem Mangel muss die Pflanze aber direkt über das Blatt mit Spurennährstoffen gedüngt werden. Dazu sind wasserlösliche Formen (Chelate, Salze) mit schneller Wirkung auszuwählen.

Im Grünland hat die Spurennährstoffdüngung speziell bei Kupfer besondere Bedeutung, da es zugleich zur Versorgung der Tiere benötigt wird. Das für Tiere essentiellen Spurenelement Selen ist kein Pflanzennährstoff, wird aber bei dessen Düngung von den Pflanzen sehr gut angereichert.

Sehr gute Aufnahmen von Spurennährstoff-Mangelsymptomen an verschiedenen Kulturpflanzen finden Sie unter: www.tll.de/visuplant.

Tabelle 24: 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 2,5 kg	Hafer Rüben und Raps Mais Kartoffeln Körnerleguminosen Obstarten	pH > 6	überzogene Kalkung Trockenheit gute Durchlüftung
Zink (Zn) 100 - 400 g	Mais und Raps Obstarten Wein Hopfen	pH > 6,5 oder < 5	überzogene Kalkung
Kupfer (Cu) 50 - 200 g	Mais Hafer Weizen und Gerste Zierpflanzen Gemüsearten	pH 6 und viel organische Substanz	Trockenheit
Bor (B) 100 - 500 g	Raps Rüben und Mais 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

** Bei sehr guter Mangan-Verfügbarkeit können die Entzüge deutlich über dem Düngbedarf liegen

4.9. Nützliche Begleitnährstoffe

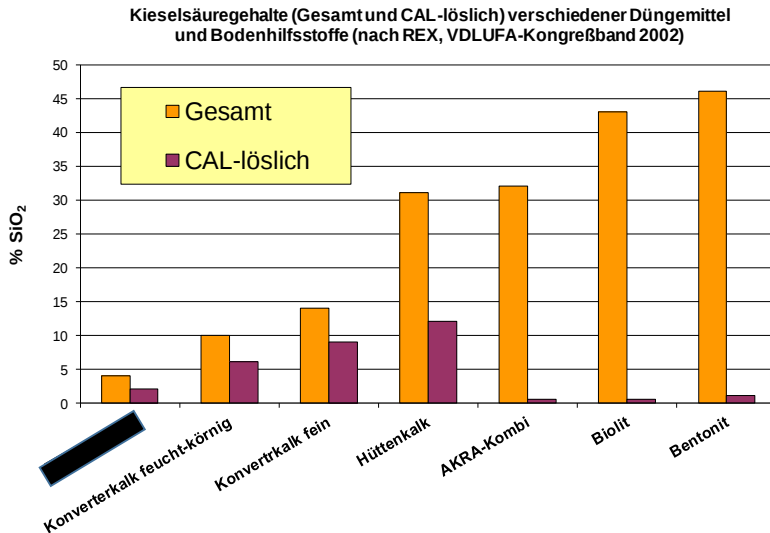
4.9.1. Kieselsäure

Kieselsäure ist kein essentieller Pflanzennährstoff, aber ein Wirkstoff mit positiver Einflussnahme auf Vorgänge im Boden und in der Pflanze. Sie unterstützt infolge ihrer hohen Quellfähigkeit z.B. die Kalkwirkung, indem sie Bodenteilchen verkittet und somit die Krümelstabilität sowie den Wasserhaushalt und den Luftaustausch verbessert. Desweiteren besetzt Kieselsäure dieselben Bindungsstellen wie Phosphat. Daher kann sie bereits an Bodenteilchen gebundenes Phosphat wieder freisetzen oder eine schnelle Festlegung von gedüngtem Phosphat verhindern. Es handelt sich dabei um reine Austauschvorgänge, so dass weder gedüngtes Rohphosphat zusätzlich aufgeschlossen noch die Phosphatdüngung dauerhaft eingespart werden könnte. In der Summe aber wird die Ausnutzung des Düngerphosphates verbessert. Die Pflanzen nutzen Kieselsäure hauptsächlich zur Gewebestabilisierung und zur Krankheitsabwehr.

In der Landwirtschaft wurde die Kieselsäurewirkung erst richtig bekannt mit dem Einsatz von Thomasmehl. Mit dem thermischen Aufschluss im Hochofen werden nämlich sämtliche Siliziumverbindungen in silikatischen Kalk umgewandelt. Heute sind der Hütten- und Konverterkalk die einzigen Dünger mit pflanzenverfügbarer Kieselsäure (→ Abbildung 10, Seite 79). Letzterer enthält etwa 12 % Silizium. In diesem Dünger stimmen in etwa der Gesamtgehalt an Silizium (SiO_2) und der Gehalt an dem Silizium überein, das im Boden als Kieselsäure freigesetzt wird.

Auch im Sand ist Silizium, aber eben keine Kieselsäure. So wird bei Bodenhilfsstoffen und Gesteinsmehlen irreführend immer auf den als SiO_2 umgerechneten Gesamtsiliziumgehalt der chemischen Analyse verwiesen und dieser dann, da es leider umgangssprachlich so üblich ist, als Kieselsäure bezeichnet. Düngemittelrechtlich gibt es bis heute keine Vorschriften, wie Siliziumverbindungen oder deren Löslichkeiten anzugeben sind. Entscheidend für die Wirkungen im Boden und die Pflanzenaufnahme ist jedoch die Bindungsform und damit die Löslichkeit. Lösliche und damit pflanzenverfügbare Siliziumformen sind Wasserglas, freie Kieselsäure und thermisch aufgeschlossenes Silizium.

Abbildung 10: Pflanzenverfügbarkeit von Silizium



4.9.2. Selen (Se)

Selen ist kein Spurennährstoff im Sinne der Pflanzenernährung, doch für Mensch und Tier ein essentielles, also lebensnotwendiges Spurenelement, das stets mit der Nahrung in ausreichenden Mengen aufgenommen werden muss, weil es vom Körper nicht selbst gebildet werden kann. Pflanzen brauchen Selen als Nährstoff nicht, aber sie nehmen es auf und reichern es auch an. Dabei ist zu beachten, dass Selen nur in der Form von Selenat hochgradig pflanzenaufnehmbar ist.

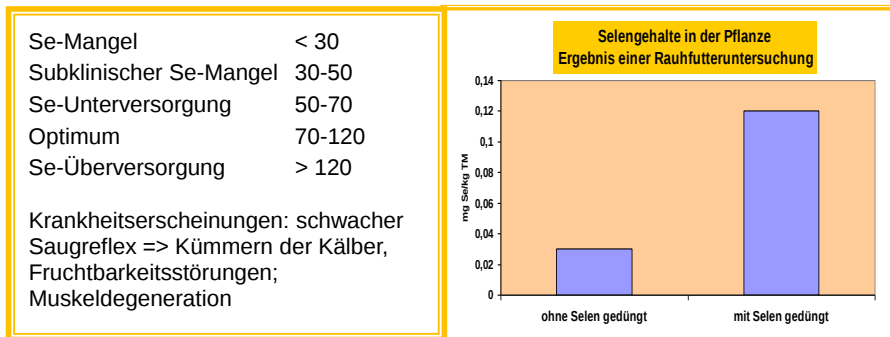
Im landwirtschaftlichen Betrieb spielt Selen insbesondere in der Rinderhaltung eine Rolle. Unzureichende Selenernährung kann dort zu Gesundheitsproblemen führen. Kühe mit Selenmangel werden häufiger krank und Kälber sind besonders anfällig. Neben der Zufuhr von Selen über Mineralfutter bietet sich hierfür auch die Möglichkeit, das Selenangebot über das Grundfutter zu verbessern.

Dazu bedarf es jedoch einer guten Selenversorgung im Boden. Insbesondere Süddeutschland weist diesbezüglich deutliche Defizite auf. Vor allem saure Standorte sind betroffen. Um die Selengehalte im Grundfutter auf ein Niveau von 0,1 mg Selen je kg TM (Grenzwert) anzuheben, reichen generell schon geringe Selengaben von nur wenigen Gramm (2-3 g Se/ha) pro Hektar. Hierfür bieten sich

selenhaltige Dünger an wie z.B. YaraBela Weidesulfan oder Ökophos-Plus. Um Selen jedoch über die gesamte Nutzungsperiode anzureichern, sind praktisch mehrere Gaben in dieser Größenordnung zu den einzelnen Aufwüchsen notwendig. Eine Düngung auf Vorrat ist nämlich nicht sinnvoll, da das gedüngte Selen nach etwa 6 Wochen seine Pflanzenverfügbarkeit verliert.

Tabelle 25: Selengehalte im Blut, µg/l

Abb.11: Gezielte Düngung von Selen



4.9.3. Chlorid

Obwohl wenig beachtet, ist Chlorid für Pflanze, Tier und Mensch ein durchaus lebensnotwendiger Mineralstoff. Der entscheidende Nutzen liegt darin, dass das Chlorid mit dem ebenfalls negativ geladenen Nitrat konkurriert und dadurch hohe und somit unerwünschte Nitratgehalte in der Pflanze verhindert. Pflanzen können Chlorid, je nach Angebot, in relativ großen Mengen (30 – 130 kg/ha) aufnehmen. Dieses Chlorid stammt einerseits aus verwitterten Tonmineralen und zusätzlich aus chloridhaltigen Mineraldüngern wie z.B. Kali-Düngern (>> auch Kap. 4.7.2).

Chlorid ist in diesem Zusammenhang als ein negativ geladenes Ion bzw. Anion (Cl^-) zu betrachten und hat nichts zu tun mit Chlor und dessen teilweise negativen Eigenschaften in elementarer Form (Chlorgas).

5. Andere Düngungsstrategien

Neben der konventionell breitwürfigen Bodendüngung mittels Düngerstreuer gibt es weitere interessante Düngungsstrategien, die hier nur angeschnitten werden:

5.1. Die Blattdüngung bzw. Flüssigdüngung

Bei Spurennährstoffen ist die Blattapplikation heutzutage die gängigere Form der Nährstoffzufuhr. Sie kann bei sichtbaren Mangelerscheinungen, also bei akutem Mangel, als Feuerwehrmaßnahme, ansonsten aber auch prophylaktisch erfolgen. Dazu wird nicht selten ein Spurennährstoff-Cocktail verwendet, möglicherweise noch kombiniert mit irgendeiner Pflanzenschutzmaßnahme. Bevor man jedoch mit der vorsorglichen Spurennährstoffdüngung sozusagen das i-Tüpfelchen im Ackerbau setzen will, muss die Versorgung mit Grundnährstoffen in Ordnung gebracht sein. Das lehrt uns die „Minimumtonne von Liebig“ (siehe folgende *Abbildung 12*).



Wie diese Tonne durch ungleiche Höhe der Dauben nicht voll werden kann, so können auch die Pflanzen bei Mangel eines Wachstumsfaktors – z. B. Kali – keine vollen Erträge bringen.

Die Blattapplikation von Hauptnährstoffen wird heute hauptsächlich bei Stickstoff, Magnesium und Schwefel praktiziert, deutlich weniger bei P, K, und Calcium, weil neben Stickstoff gerade von den letzteren beiden die Bestände doch wesentlich höhere Mengen benötigen. Bei den Hauptnährstoffen kann eine Blattdüngung ebenfalls Feuerwehrmaßnahme sein oder temporäre Defizite ausgleichen, aber so gut wie nie die Bodendüngung ersetzen, sondern nur ergänzen. Dennoch ist sie trotz der relativ geringen Ausbringungsmengen sinnvoll, weil der Wirkungsgrad der über das Blatt ausgebrachten Nährstoffe bis zu fünfmal höher ist als der über den Boden gedüngten Nährstoffe.

5.2. Die Platzierte Düngung

Traditionell ist Mineraldüngung eine breitflächige Nährstoffabgabe. Die neue DüV enthält Reglementierungen, welche für den Landwirt große Herausforderungen bedeuten, vor allem beim Stickstoff und Phosphor. Dazu bedarf es einer möglichst ausgereiften und effektiven Gestaltung der Düngungsverfahren. Neben der schon zielgerichteten Anwendung von geeigneten Stickstoffformen in Mineraldüngern, dem Einsatz von Sensortechnik zur teilflächenspezifischen Düngung sowie der Ausschöpfung aller technischen Möglichkeiten zur Vermeidung von vermeidbaren Nährstoffverlusten ist es der Versuch, über eine platzierte Düngung die Nährstoffe noch besser an und in die Pflanze zu bringen, um damit die Nährstoffeffizienz in der Fruchtfolge zu erhöhen und infolge davon Dünger einzusparen und dem Druck der Nährstoffbilanzierung zu entgehen. Es gibt mittlerweile eine ganze Reihe von Verfahren zur platzierten Düngung, von denen aber viele noch nicht vollständig ausgereift sind. Bisher am besten etabliert hat sich die Unterfußdüngung zu Mais.

Die verschiedenen Verfahren zur platzierten Düngung sind:

- Unterfußdüngung zu Mais und inzwischen auch zu Kartoffeln („All in One“)
- Unterflurdüngung
- (Gülle-) Depotdüngung im StripTill-Verfahren
- Injektionsdüngung im Cultan-Verfahren
- Saatbanddüngung mit Mikrogranulaten
- Reihendüngung obenauf durch pneumatische Düngertechnik
- Schlitz und Schleppschuh bei der Gülleausbringung, v.a. im Grünland

6. Düngetechnik, Düngerlagerung, Mischbarkeit von (N-)Düngern

Die Düngetechnik, ob Schleuderstreuer oder Pneumatischer Streuer, ist heute im Prinzip gut ausgereift. Technische Verbesserungen sollten vor allem noch an den Stellen greifen, wo es gilt, durch feinste Sensorik (sensorgestützte Kontrolle der Düngerverteilung) und Automatisierung (mittels Wiegetechnik überwachte bzw. geregelte Streumengeneinstellung) Bediengenaugkeiten und Schwankungen in der Düngerqualität auszugleichen.

Das Abdrehen seines Düngerstreuers ist sicherlich das wichtigste Instrument des Landwirts, um Streufehler zu vermeiden. Nach einer Erhebung der DLG (Dr. Frank Volz) unter Landwirten gestanden knapp ein Drittel (30 %) der Befragten, den Düngerstreuer noch nie abgedreht zu haben. Weitere 17 % der Befragten machen das scheinbar nur einmal pro Düngersaison, rund 33 % wenigstens einmal pro Düngersorte, was diesbezüglich die Minimalsforderung wäre. Der Rest der hier Befragten dreht den Streuer öfters ab, so etwa 16 % einmal pro Liefercharge und ca. 4 % mehrmals pro Einsatztag.

Streufehler in Form der „technischen Streifenkrankheit“ (siehe *Bilder 9 und 10*)



Wann werden Streufehler sichtbar? (Einschätzung nach Firma Rauch, A. Wagner)

Bis 20 % Fehldüngung → optisch nicht wahrnehmbar, geringe Ertragseinbußen bis 3 %
20 - 30 % Fehldüngung → leichte Verfärbungsunterschiede, Ertragsverluste von 2 – 20 %
30 - 50 % Fehldüngung → deutliche Verfärbung, Lagergetreide, Ertragsverluste 10 – 30 %

Quellen: Wagner, 2016 und Zimmermann, 1983

Wenn Streufehler passieren, hat dies folgende Konsequenzen:

- Ertragspotenzial nicht optimal genutzt
- Ungleichmäßiger Bestand und somit Ernteprobleme
- Verarmung wertvoller Nährstoffe in der Überdüngungszone
- Verstoß gegen die Düngemittelverordnung
- Qualitätsprobleme
- Vermeidbare Umweltbelastungen

Einflussfaktoren für eine präzise Düngung

1. Mensch und Bediener

- Fahrgeschwindigkeit
- Zapfwellendrehzahl
- Korrektes Abdrehen des Düngerstreuers
- Richtiger Dreipunktanbau

3. Umweltbedingungen

- Wind
- Luftfeuchtigkeit
- Bodenunebenheiten
- Relief (Geländeform und Hangneigung)

2. Maschine / Streutechnik

- Art des Streubildes
- Art der Überlappung
- Einstellbarkeit der Streuers
- Auslegung der Maschine Arbeitsbreite und Mengendurchfluss

4. Düngerqualität

- Oberflächenbeschaffenheit
- Kornform
- Kornhärte
- Korngrößenspektrum
- Spezifisches Korngewicht (Dichte)
- Mischdünger (Entmischungsgefahr)

Quelle: Alfred Wagner, Firma Rauch, Landmaschinenfabrik GmbH, Sinzheim

Optimierung der Düngerverteilung, das heißt:

- Der Fahrer bestimmt die Streuqualität
- Düngerqualität geht vor Preis
- Einsatz von Prüfschalen sinnvoll, vor allem wenn für den Dünger keine Standardeinstellwerte verfügbar sind, und am Problembereich Feldrand/Feldgrenze
- Regelmäßige Beanspruchung des Düngerstreuer-TÜV
- Mischdünger ja – aber es geht nicht alles

Quelle: Ullrich Lossie, DEULA Nienburg, modifiziert



Jede Ladung ist anders



Entlang der Lieferkette (oftmals mehrmaliger Umschlag) sind lose Dünger vielen äußeren Einflüssen ausgesetzt (z.B. Feuchtigkeit, Staub, Verunreinigungen). Dadurch verlieren sie mit der Zeit mitunter an Qualität. Trotz größter Sorgfalt beim Lieferprozess und der Lagerung in der Düngerboxe ist ein gewisser Qualitätsverlust bei losen Düngern nicht immer und vollständig zu verhindern. Eine wichtige Maßnahme zur Vorbeugung von schleichenden Qualitätsverlusten in der Düngerboxe ist die konsequente Abdeckung mit dafür geeigneten Folien.

Doch auch bei palettierter und geschrumpfter Sackware ist eine ordnungsgemäße Lagerung unabdingbar. Damit die Düngerqualität nicht beeinträchtigt wird, sollte bei Sackware und BigBags vermieden werden, sie über einen längeren Zeitraum im Freien der Sonneneinstrahlung auszusetzen. Zusätzlich ist bei BigBags noch zu beachten, dass sie nicht dauerhaft auf dem blanken Boden stehen, sondern auf Paletten oder Ähnlichem abgestellt werden.

Hofnahe Düngermischanlagen mit ihren Bulk Blending Produkten, müssen sich mit den wachsenden Arbeitsbreiten der Düngerstreuer und mit den Vorgaben der neuen DüV den erhöhten Anforderungen stellen, können künftig vielleicht aber noch mehr an Bedeutung gewinnen, wenn es um die maximale Nährstoffeffizienz geht.

Tabelle 26: Mischbarkeit von unterschiedlich festen anorganischen Düngermitteln

	Ammonnitrat (Ammonsalpeter)	Kalkammonsalpeter	Kalksalpeter (Düngemittelqualität)	Ammoniumsulfatsalp	Kaliumnitrat (Kalisalpeter)/Natrium	SSA = Ammoniumsulfat	Harnstoff	Rohphosphat	Aufgeschlossenes Rohphosphat	Superphosphat/ Tripletsuperphosphat	Monoammonphosphat	Diammonphosphat	Phosphatkali	Kaliumchlorid	Kaliumsulfat/ Magnesiumsulfat	NPK, NP, NK (auf AN-Basis)	NPK, NP, NK (auf Hst-Basis)	Kalk/Dolomit/kalzium sulfat
Ammonnitrat (Ammonsalpeter)			1	2		3	NM 1		4	4				5		5	NM 1	
Kalkammonsalpeter			6	2		2	NM 1			7				5		5	NM 1	
Kalksalpeter (Düngemittelqualität)	1	6		8	8	8	8			8	8	8	8	8	9	8	8	
Ammonsulfatsalpeter	2	2	8		2		NM 1	1 0	4	7				5		5	NM 1	
Kaliumnitrat (Kalisalpeter) / Natriumnitrat			8	2		1 1										1 2	1 3	
Schwefelsaures Ammoniak = SSA oder Ammoniumsulfat	3	2	8		1 1											5		
Harnstoff	NM 1	NM 1	8	N C 1					1 4	1 5				1 6		NM 1		
Rohphosphat				1 0														
Aufgeschlossenes Rohphosphat mit Säure	4			4			1 4					1 7						
Superphosphat/ Tripletsuperphosphat	4	7	8	7		1 5						1 7				4	1 4	1 7
Monoammonphosphat			8															
Diammonphosphat			8						1 7	1 7								
Phosphatkali			8															
Kaliumchlorid	5	5	8	5			1 6									5		
Kaliumsulfat/Magnesiumsulfat (Kieserit)			9															
NPK, NP, NK (auf AN Basis)	5	5	8	5	1 2	5	NM 1			4				5			NM 1	
NPK, NP, NK (auf Hst-Basis)	NM 1	NM 1	8	NM 1	1 3					1 4						NM 1		
Kalk/Dolomit/Kalziumsulfat/ Kalziumkarbonat										1 7								
Schwefel (elementar)	NM 2	NM 2	8	NM 2	NM 2											NM 2		

HAFTUNGSAUSSCHLUSS: Dieses Dokument wurde für die Mitglieder der Fertiliser Europe (Europäische Vereinigung der Düngemittelproduzenten) erstellt. Die enthaltenen Informationen und Anleitungen werden nach bestem Wissen gegeben. Die Vereinigung, ihre Mitglieder, Berater und Angestellten übernehmen keinerlei Haftung für Verluste oder Schäden, die durch die Benutzung dieses Handbuchs entstehen.

Quelle: Bundesverband der Düngermischer e.V., Stand 2015

	Mischbar
	Begrenzt mischbar im Hinblick auf Qualitätsprobleme
	Begrenzt mischbar im Hinblick auf rechtliche oder Sicherheitsprobleme
NM	Nicht mischbar

Welche Dünger chemisch-physikalisch und aus sicherheitsrelevanten Aspekten mischbar sind, zeigt obige Tabelle. Darüber hinaus sollen sich Mischpartner auch in punkto Korngrößenverteilung, spezifisches Gewicht und Kornoberfläche ähnlich sein und eine ausreichend hohe Kornhärte aufweisen.

Anmerkungen für die Zahlen in den Kästchen von **Tabelle 26**

Begrenzte Mischbarkeit

1. Durch die hygroskopischen Eigenschaften beider Produkte könnte die Stabilitätseinstufung des Ammonitrats die Lagereigenschaften beeinflussen.
2. Auswirkungen auf die Sicherheit hinsichtlich der Explosivität von Mischungen (AN/AS) und gesetzliche Regelungen beachten.
3. Auswirkungen auf die Sicherheit hinsichtlich der Explosivität von Mischungen (AN/AS), Wirkung von freien Säuren und organischen Verunreinigungen, falls vorhanden, und gesetzliche Regelungen beachten.
4. Evtl. vorhandene freie Säure kann eine langsame Zersetzung von AN verursachen, was beispielsweise die Verpackung beeinflussen kann.
5. Mögliche selbsttätige Zersetzung sowie Gesamtniveau der Ölbeschichtung beachten.
6. Durch die hygroskopischen Eigenschaften beider Produkte könnte die Stabilitätseinstufung des auf Ammonitrat basierenden Düngemittels die Lagereigenschaften beeinflussen.
7. Feuchtigkeitsgehalt von SSP/TSP beachten.
8. Relative Feuchtigkeit beim Mischen beachten.
9. Risiko der Bildung von Gips.
10. Keine Erfahrung, es kann jedoch Mischbarkeit erwartet werden. Durch Test bzw. Analyse bestätigen.
11. Verunreinigungen in der AS und Abfall der kritischen relativen Feuchtigkeit der Mischung beachten.
12. Wahrscheinlichen Einfluss von zusätzlichem Nitrat beachten.
13. Zur Vermeidung von Verbackungen während des Mischens auf mögliche Reaktionen von Ammonphosphat/Kaliumnitrat mit Harnstoff und die relative Feuchtigkeit beim Mischen achten.
14. Bei evtl. vorhandener freier Säure besteht die Möglichkeit der Hydrolyse beim Harnstoff mit der Abgabe von Ammonium- und Kohlendioxid.
15. Bildung von sehr klebrigem Harnstoffphosphat.
16. Mögliches Verpackungsproblem durch Feuchtigkeit.
17. Bei evtl. vorhandener freier Säure Reaktionsrisiko beachten, z.B. Neutralisierung durch Ammoniak und Angriff der Säure durch Kohlenstoffe.

Nicht mischbar

- NM1. Die Mischung wird schnell nass und absorbiert Feuchtigkeit, was in der Bildung von Flüssigkeit oder Schlamm resultiert. Es könnte auch Auswirkungen auf die Sicherheit geben.
- NM2. Schwefel ist brennbar und kann mit Nitraten wie AN, KNO_3 und NaNO_3 reagieren.

Hinweis zu Punkt 9 der auf der Folgeseite aufgelisteten Aspekte zur aktuellen DüV:

Zu beachten: Seit 01.01.2014 sind in Baden-Württemberg der Einsatz und die Lagerung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln in einem Bereich von **5 m entlang von Gewässern mit wasserwirtschaftlicher Bedeutung** verboten (Wassergesetz BW v. 03.12.2013, § 29).

7. Rechtliche Rahmenbedingungen im Düngebereich

7.1. Neue Düngeverordnung (DüV)

Am 2. Juni 2017 ist die aktuelle Düngeverordnung in Kraft getreten. Sie dient auch der Umsetzung der EU-Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (EU-Nitrat-Richtlinie).

Der LAD Baden-Württemberg befasst sich in dieser Broschüre allerdings nicht im Detail mit den Inhalten der DüV. Daher mehr dazu unter www.duengung-bw.de.....

Im Folgenden sind im Rahmen der novellierten DüV schwerpunktmäßig nur die Aspekte berücksichtigt, die den Einsatz von Mineraldüngern betreffen/tangieren:

1. **Begrenzung der Nährstoffüberschüsse** bei N und P aus allen Düngerarten
 2. Absenken des zulässigen **N-Saldos** von 60 auf 50 kg N/ha, in NO₃-belasteten, also „roten“ Gebieten sogar auf 40 kg N/ha, im Mittel der letzten 3 Anbaujahre.
 3. Absenken des zulässigen **Phosphor(P)-Saldos** von 20 auf 10 kg P₂O₅/ha ab 2018, im Mittel der letzten sechs Anbaujahre
 4. Begrenzung der N-Düngermenge im Herbst auf 60 kg/ha Gesamt-N bzw. auf 30 kg/ha Ammonium-N bei Raps (Saat bis 15.9.), Wintergerste, Feldfutter und Zwischenfrüchte. Besonderheiten hierzu siehe nächste Seite, Absatz 2.
 5. Düngebedarfsermittlung für Stickstoff und Phosphat (Aufbewahrungspflicht !)
 6. **Längere Sperrfristen für Stickstoffdünger**, auch für Komposte und Festmist
 7. **Verbindliche Vorgaben** zur Ermittlung des N-Düngebedarfs mit einheitlichen N-Bedarfswerten und **Vorgaben für Zu- und Abschläge**
 8. **Verlustarme Ausbringung** → Einarbeitungspflicht und Ausbringtechnik (Hst)
 9. **Mehr Abstand zu Gewässern bei N und P**, in BW generell mind. 5 m (s.S.87)
 10. **Neue Bilanzierungsarten**: plausibilisierte Feld-Stall-Bilanz → Stoffstrombilanz
 11. **Harnstoffdüngung ab 2020** nur noch mit Urease-Hemmstoffen erlaubt
 12. **Weitere Länderbefugnisse** sind möglich in den „roten“ Gebieten (Gebietskulisse ist zum Redaktionsschluss noch nicht bekannt) → „Maßnahmekatalog“
 13. Weniger anrechenbare N-Verluste in der Tierhaltung
 14. Grundfuttergewinnung: Schätzungen der Futtererträge ist nicht mehr möglich
 15. Einbeziehung aller organischen Dünger inklusive des pflanzlichen Anteils in Gärresten beim Berechnen der **Obergrenze von 170 kg N/ha** (Derogation ?)
 16. Schärfere Konsequenzen bei Verstößen
- (In **roten** Lettern die wesentlichen Stichpunkte an Neuerungen / Veränderungen)

Demnach kann sich die Düngungspraxis in sog. Nitrat-belasteten Gebieten („rote“ Gebiete“) durch zusätzliche Länderregelungen noch verschärfen. Dazu stehen den Ländern drei weitere Maßnahmen aus dem 14 Maßnahmen umfassenden Katalog der DüV zur Verfügung. Dies gilt nicht nur für Stickstoff, sondern auch für Phosphat. Die sog. „plausibilisierte“ Feld-Stall-Bilanz gilt vorerst nur für viehhaltende Betriebe, die bislang nicht mit der Hoftor-Bilanz arbeiteten.

Bei der Herbstdüngungsregelung für N geht es, ausgehend von der Bemessung der flüssigen Wirtschaftsdünger, nur um die beiden Kriterien $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt sowie den Gehalt an Gesamt-N bei der Herbstgabe. Je nachdem, welcher Wert von beiden zuerst erreicht ist, stellt die Relevanz für die Limitierung dar. Zum Beispiel bei Kalkstickstoff ist das Limit 60 kg N/ha (3 dt/ha) relevant und nicht der $\text{NH}_4\text{-N}$, den es in der Deklaration nicht gibt. Amid-Stickstoff wirkt deutlich langsamer als $\text{NH}_4\text{-N}$, so dass dasselbe auch für Harnstoff gilt.

Für Grassamenvermehrung und im Feldgemüsebau (mit mehrfacher Nutzung der Anbauflächen pro Jahr) sind Sonderregelungen vorgesehen (siehe LTZ).

Die im Rahmen der DüV praktizierte Nährstoffbilanz (Nährstoffsaldierung) hat zum Ziel, einen Überblick über die Summe der Zu- und Abflüsse von Stickstoff und Phosphor zu gewinnen. Mit dem neuen Düngegesetz wird auch der Weg frei für die sog. **Stoffstrombilanz**. Dabei handelt es sich im Grunde um nichts anderes als die Hoftorbilanz. Die rechtlichen Einzelheiten dazu sollten allerdings noch nicht in der aktuellen DüV verankert werden, sondern in einer separaten Verordnung, die aus momentaner Sicht erst später verpflichtend wird (z.T. erst 2023). Basis dafür wird vermutlich der GV-Besatz pro Hektar sein, z.B. > 2,5 GV/ha.

In der künftigen Stoffstrombilanz können die Landwirte die Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste des Stickstoffs nicht mehr abziehen wie bei der Feld-Stall-Bilanz. Auf Veredelungsbetrieben steigt dadurch der N-Saldo rein rechnerisch um 50 – 90 kg N/ha. Bund und Länder diskutieren jetzt, den erlaubten N-Saldo für diese Bilanz anzuheben. Für die Düngberatung hat die Stoffstrombilanz vermutlich nur begrenzten Wert, weil viele Informationen gegenüber der Feld-Stall-Bilanz verloren gingen und die Aussagekraft wegen schwankender Nährstoffgehalte eingeschränkt wäre.

7.2. Gute fachliche Praxis in der Düngung

Pflanzen benötigen die Nährstoffe in einem ausgewogenen Verhältnis, damit sie optimal wachsen können. Eine Düngung nach guter fachlicher Praxis versorgt die Pflanzen mit den notwendigen Nährstoffen und erhält bzw. fördert zusätzlich die Bodenfruchtbarkeit. Zur Änderung des nationalen Düngerechts kam es deswegen, um es den neuen fachlichen Erfordernissen (Verringerung von akuten Umweltbelastungen) und dem neuesten Stand der Fachkenntnisse (Verbesserung der Düngerwirkung) anzupassen. Ziel ist eine maximale Nährstoffeffizienz. Der Inhalt der neuen DüV gibt die Regeln für die gute fachliche Praxis beim Düngen klar vor.

Eine fachlich gute Düngung muss sich allerdings auch daran orientieren, dass die durch das Pflanzenwachstum dem Boden entzogenen Nährstoffe wieder zurückgeführt werden. Eine permanent negative Nährstoffbilanz ist unter diesem Aspekt nicht als nachhaltig und somit auch nicht als gute fachliche Praxis einzustufen. So garantiert die Optimierung der Düngung auch eine hohe Effizienz der anderen eingesetzten Betriebsmittel und damit letztendlich eine hohe Effizienz aus sozialer und ökonomischer, und nicht nur aus ökologischer Sicht.

Beispielsweise kann übermäßiges Sparen bei der Grunddüngung einem Betrieb wegen unausweichlicher Aufdüngungsmaßnahmen sehr teuer zu stehen kommen. Um den Nährstoffgehalt in einer 30 cm dicken Ackerkrume um nur 1 mg/100 g anheben zu wollen, sind über den Nettoentzug hinaus z.B. bei Phosphat immerhin 80 – 100 kg P_2O_5 /ha und bei Kali 80 (Lehm) – 180 (Sand) kg K_2O /ha notwendig (→ dazu auch Anhangstabelle 25).

7.3. Unvermeidbare Nährstoffverluste

Im Gegensatz zu anderen Wirtschaftsbereichen findet die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion in der freien Natur und damit weitgehend in einem offenen System statt. Daraus resultiert zwangsläufig, dass Nährstoffverluste auftreten, die auch bei guter fachlicher Praxis nicht zu vermeiden sind. Dies gilt generell für alle Bewirtschaftungsformen und auch Intensitäten. Selbst bei nicht bewirtschafteten, naturbelassenen Flächen treten Nährstoffverluste auf.

Auch diesbezüglich ist die neue DüV weitaus restriktiver als bisher. Ein Großteil der unvermeidbaren Verluste bei Stickstoff und Phosphat werden in Zukunft als überwiegend vermeidbar einzustufen sein, sobald die DüV denn richtig greift. Bei Stickstoff zählen dazu die Verlustquellen durch Nitratauswaschung, Ammoniakausgasung sowie die Bildung von Lachgas und anderen Stickoxiden infolge von Denitrifikation in schlecht durchlüfteten Böden bzw. im Unterboden. Die primäre Ursache für solche N-Verluste sind häufig hohe N-Überschüsse im Boden nach Vegetationsende.

Diesen Begriff „Unvermeidbare Nährstoffverluste“ definiert der Bundesarbeitskreis Düngung folgendermaßen: Nährstoffverluste sind unvermeidbar, wenn sie trotz Ausschöpfung aller im Sinne einer „guten fachlichen Praxis“ verfügbaren pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Erzielung optimaler Naturalerträge und ausreichender Produktqualitäten auftreten. Dazu gehört bei N die mikrobielle N-Immobilisierung, welche allerdings nur zu einer temporären Festlegung von Stickstoff führt. Beim im Boden fast unbeweglichen Phosphat gilt es hingegen, die Verlustquelle durch Oberflächenabtrag (vertikale Verlagerung) so weit wie möglich zu vermeiden.

Vermeidbare und unvermeidbare Verluste können auch bei anderen Nährstoffen wie Kalk, Kali, Magnesium und Schwefel auftreten, nur sind sie bei diesen bisher nicht umweltrelevant, aber durchaus relevant aus ökonomischer Sicht. Also auch hier können durch angepasste und bedarfsgerechte Düngung Verluste reduziert werden. Bei einer Vorrats- oder Fruchtfolgedüngung sind jedoch Nährstoffverluste in Abhängigkeit der Standortverhältnisse mitunter unvermeidbar (→ dazu auch Abb.13 auf Seite 95 und Anhangs-Abbildung 1 auf Seite 112).

Eine suboptimale Düngung hat sich in vielen Versuchen zur Reduzierung von Nährstoffverlusten als nicht geeignet erwiesen. So verringert beispielsweise eine suboptimale N-Düngung die Nitratauswaschung kaum, hat jedoch deutliche Ertragsdepressionen und damit finanzielle Einbußen zur Folge. Noch ein Wort zu K-Verlusten durch Auswaschung: sie sind nur auf leichten Standorten relevant mit 20 bis 50 kg K_2O /ha und Jahr, auf besseren Böden liegen sie weit darunter (< 20 kg K_2O /ha und Jahr). Unter Grünland liegen sie infolge ständigen Bewuchses, intensiver Durchwurzelung und längerer Vegetationsdauer um ca. 50 % niedriger.

7.4. Kennzeichnungspflicht und Deklaration

Die Düngemitteldeklaration gibt Aufschluss über Gehalte, Nährstoffformen und Löslichkeitsgrade der im Düngemittel enthaltenen Nährstoffe. Mit den detaillierten Angaben lassen sich die einzelnen Produkte für den zielgerichteten Einsatz deutlich besser beurteilen. Beim Düngereinkauf sollten nicht nur der Preis und der Nährstoffgehalt Beachtung finden, sondern auch die Nährstoffform und die Pflanzenverfügbarkeit der enthaltenen Nährstoffe, also die Nährstofflöslichkeit. Um künftig die Vorgaben der neuen DüV einhalten zu können, ist es unerlässlich, dass die eingesetzten Mineral- und Spurennährstoffdünger eine möglichst hohe Wirksamkeit und einen hohen Wirkungsgrad aufweisen. Das Deklarationsfeld ermöglicht auch Qualitäts-vergleiche zwischen den einzelnen Düngemitteltypen.

Düngemittel müssen einem zugelassenen Düngemitteltyp entsprechen, wenn sie in Verkehr gebracht werden. Zulässige Düngemitteltypen sind genau definiert. Die Kennzeichnung ist durch die Düngemittelverordnung bindend vorgeschrieben und findet sich auf jeder Verpackung oder bei loser Ware direkt an der Düngerbox bzw. auf dem Warenbegleitschein. Die Kennzeichnungspflicht wird auch im Rahmen der Düngemittelverkehrskontrolle stichprobenartig überprüft. Die Kennzeichnung der Düngemittel muss in deutscher Sprache abgefasst sein und folgende Angaben enthalten:

- zum Düngemitteltyp
- zu den Nährstoffgehalten
- zu den Nährstoffformen und Löslichkeiten
- zu den Gefahrstoffgruppen nach Gefahrstoffverordnung
- zum Namen des Inverkehrbringers des Düngers

Die Abgrenzung der Düngemitteltypen erfolgt u.a. anhand der Zusammensetzung, der Art der Herstellung sowie exakt definierter Nährstoffgehalte und deren Formen und Löslichkeiten. Bei Düngemitteln, die nicht als EG-Düngemittel gekennzeichnet sind, müssen zusätzliche Angaben zu finden sein (z.B. Schwermetallgehalte). >>

DüMG unter www.umwelt-online.de

(siehe auch Internetseiten der Herstellerfirmen/Warenbegleitscheine im Deckblatt)

Deklarationspflicht besteht für Mindestgehalte:

bei $N \geq 4\%$ in NP- und NPK-Düngern, bei $P \geq 5\%$ und bei $K \geq 5\%$, bei $Ca \geq 1,5\%$
Liegt die Wasserlöslichkeit eines Nährstoffs unter 25% , bedarf es in der Deklaration
laut DüMG leider keinerlei Angaben zur Wasserlöslichkeit dieses Nährstoffs.

Zur Deklaration von Düngern, v.a. Sekundärrohstoffdüngern und Bodenhilfsstoffen
ist manches unklar. Es ist daher unter anderem auf folgende Punkte zu achten:

Stickstoff: versteckter N z.B. in P-Düngern, $< 3\%$ N ist nicht deklarationspflichtig

bei **Phosphat:** Aufschlussgrad, Löslichkeiten, wasserlösliche P-Anteile

bei **Kali:** Vorsicht bei sog. „Blaudüngern“, wenn da die Rede ist von „chloridarm“
oder „chloridreduziert“ (sind sehr dehnbare Begriffe, z.B. bei nur 10% K-Sulfat)

bei **Magnesium:** wenn die Angabe hier nur als Gesamtmagnesiumoxid MgO erfolgt,
ist dieses Mg nicht wasserlöslich und damit nur sehr langsam verfügbar

bei **Kalk:** pH-Wirkung geht nur von „basisch wirksamen Gehalten in CaO “ aus

Schwefel: pflanzenaufnehmbar ist nur Sulfat-Schwefel, aber nicht elementarer S

Speziell bei Spurenelementen (siehe auch unter Kap. 4.8.2, seiten 74-76):

Pflanzenverfügbarkeit und somit die Wirkung ist abhängig von der Bindungsform:
(Voll)Chelate und sulfatische Salze sind wasserlöslich, andere Bindungsformen wie
Oxide, Hydroxide, Karbonate, Silikate und Legierungen schwerlöslich oder unlöslich
in Wasser; allgemeine Vorsicht bei Suspensionen, Dispersionen und Teilchelaten
(„chelatisiert“) sowie beim Begriff Kieselsäure (siehe Kap. 4.9.1.).

Übersicht 19: Deklarationsbeispiele, aus dem dlz Agrarmagazin von 4/2017

Unterschiedliche Deklaration von Schwefel

NPK 15+15+15 (+2 S)			NPK 15+15+15 (+7 SO ₃ +Zn)		
EG-Düngemittel NPK-Dünger, N+ P ₂ O ₅ + K ₂ O (+S), 15+15+15 (+2)			EG-Düngemittel NPK (S)-Dünger 15+15+15 (+7) mit Spurennährstoff		
15 %	N	Gesamtstickstoff 9 % N Ammoniumstickstoff 6 % N Nitratstickstoff	15 %	N	Gesamtstickstoff 9 % N Ammoniumstickstoff 6 % N Nitratstickstoff
15 %	P ₂ O ₅	neutral-ammonicitratlösliches und wasserlösliches Phosphat 11,3 % P ₂ O ₅ wasserlösliches Phosphat	15 %	P ₂ O ₅	neutral-ammonicitratlösliches und wasserlösliches Phosphat 12 % P ₂ O ₅ wasserlösliches Phosphat
15 %	K ₂ O	wasserlösliches Kaliumoxid	15 %	K ₂ O	wasserlösliches Kaliumoxid
2 %	S	Gesamtschwefel 1,6 % S wasserlöslicher Schwefel	7,5 %	SO ₃	Gesamt-Schwefeltrioxid 6,7 % SO ₃ wasserlösliches Schwefeltrioxid
entspricht 5 % SO ₃			entspricht 3 % S		

Umrechnung: S = SO₃ : 2,5

Nährstoffformen und Löslichkeiten im Direktvergleich

NP 20+20 (+2 S)

EG-Düngemittel

NP-Dünger, N + P₂O₅ (+S), 20+20 (+2)

20 %	N	Gesamtstickstoff 11,8 % N Ammoniumstickstoff 8,2 % N Nitratstickstoff
20 %	P ₂ O ₅	neutral-ammoncitratlösliches und wasserlösliches Phosphat 13 % P ₂ O ₅ wasserlösliches Phosphat
2 %	S	Gesamtschwefel 1,6 % S wasserlöslicher Schwefel

NP 15+20 (+3 Mg+ 7S)

EG-Düngemittel

NP(Mg,S)-Dünger mit teilaufgeschlossenem Rohphosphat 15+20 (+3+7)

15 %	N	Gesamtstickstoff 12 % N Ammoniumstickstoff 3 % N Carbamidstickstoff
20 %	P ₂ O ₅	mineralsäurelösliches Phosphat 15 % P ₂ O ₅ neutral-ammoncitratlösliches und wasserlösliches Phosphat 13,5 % P ₂ O ₅ wasserlösliches Phosphat
3 %	MgO	Gesamt-Magnesiumoxid
7 %	S	Gesamtschwefel 4,8 % S wasserlöslicher Schwefel

Besonders heikel ist die Löslichkeit von Phosphat. Im oberen Beispiel sind die gesamten 20 % P₂O₅ leicht löslich: 13 % davon direkt in Wasser, der Rest von 7 % ist ammoncitratlöslich und damit auch gut löslich. Der Dünger im unteren Beispiel enthält dagegen teilaufgeschlossenes Phosphat. Von ebenfalls 20 % Gesamt-Phosphat (P₂O₅) sind nur 15 % direkt verfügbar, davon 13 % wasserlöslich und 1,5 % ammoncitratlöslich. Die restlichen 5 % P₂O₅ gehören zu den mineralsäurelöslichen Rohphosphaten, deren Aufschluss im Boden erheblich länger dauert.

Pflanzenernährung ist mehr als Nährstoffbilanz

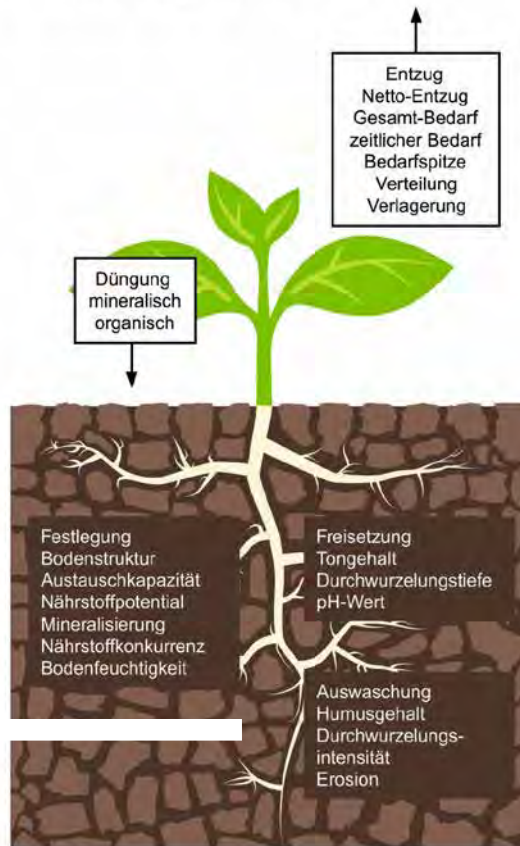


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Zusammenhänge

Ergebnisse von Nährstoffbilanzen, egal von welcher die Rede ist, können nur wie die Bodenuntersuchung eine wertvolle Orientierungshilfe darstellen, also hier über die Nährstoffflüsse im Betrieb. Indes zu zahlreich und mitunter zu gewichtig sind die Einflussfaktoren auf Nährstoffdynamik im Boden, Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffbedarf der Pflanze, um sie einfach unbeachtet zu lassen. Daher wird ein reines Bilanzierungsdenken (= simples Taschenrechner-Denken) einer optimalen Pflanzenernährung nur selten ganz gerecht, unabhängig von der Bilanzierungsart wie Feld-Stall-, Hoftor oder Stoffstrombilanz. Die in der oben stehenden Abbildung genannten Gesichtspunkte sollten daher stets berücksichtigt werden.

8. ANHANG

Für die Anhangstabellen gibt es vom Verfasser keine Gewähr auf Vollständigkeit !
Ferner können Praxiswerte von Tabellenwerten betriebsbedingt abweichen (z.B.Tab.1-5)

Tabelle 1: Durchschnittlicher Nährstoffbedarf wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (≠ Entzug) für Marktware und Ernterückstände

Fruchtarten) ¹	Ertrag pro Hektar	Nährstoffbedarf in kg/ha					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO*	MgO	S
Roggen	50 dt Körner mit Stroh	125	55	130	40	20	20
Weizen) ²	80 dt Körner mit Stroh	240	85	180	50	30	32
Wintergerste	70 dt Körner mit Stroh	160	70	175	70	20	28
Sommergerste	50 dt Körner mit Stroh	100	80	110	50	15	20
Hafer	50 dt Körner mit Stroh	125	60	180	30	20	20
Sonnenblume	35 dt Körner mit Stroh	195	115	400	120	70	20
Körnermais	100 dt Körner mit Stroh	240	100	280	65	70	25
Raps	45 dt Körner mit Stroh	200	100	240	130	30	65
Kartoffel (hier Speise-K.)	500 dt Knollen mit Kraut	195	75	335	120	40	15
Zuckerrübe	600 dt Rüben mit Blatt	275	90	400	500	75	40
Körner-leguminosen) ³	40 dt Körner mit Stroh	40	75	160	130	40	30
		60	110	220	170	50	40
Silomais 32%TS	600 dt FM	255	105	300	110	65	20
Öllein	20 dt + Stroh	85	30	60	40	20	20
Ölkürbis	650 dt + Blatt	100	70	210	60	40	40
Grassamenver.	20 dt + Stroh	280	80	265	100	80	50
Acker-/Kleegras	4-5 Schnitte	250	90	350	140	70	50
Intensives GL) ⁴	100 dt TM	175	75	280	100	70	25
Extensives GL	80 dt TM	175	75	280	100	70	25
Weide extensiv	65 dt TM	200	80	240	110	60	20

)¹ Weitere Getreidearten wie Triticale, Dinkel und Durum (mit einem Ø-Ertrag 60 dt/ha) sind im Nährstoffbedarf etwa gleichzusetzen mit Wintergerste. Dinkel hat jedoch einen höheren K-Bedarf.

)² Zur Differenzierung bei Weizen nach Qualitätsstufen siehe dazu Angaben auf S. 11 (Tab. 4).

)³ inkl. Sojabohne (2. Zeile), bei N ist N-Fixierung durch Knöllchenbakterien schon berücksichtigt

)⁴ Detaillierte Angaben zu Grünland s. Seite 18

* Faustzahlen

Quelle: LAD Baden-Württemberg

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

Gemüseart	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Blumenkohl	2,50	0,70	3,50	1,5	0,90
Buschbohnen	1,40	0,60	2,00	0,75	0,60
Chinakohl	1,80	0,90	3,20	3,00	0,70
Endivien	1,20	0,40	1,50	0,45	0,50
Feldsalat	1,00	0,50	1,40	0,50	0,40
Gurken	1,50	0,60	2,00	0,30	0,80
Kopfkohl (weiß, rot)	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
Petersilie	1,90	0,80	4,20	2,00	0,80
Porree	1,80	0,50	2,30	1,00	0,60
Rharbarber	1,90	0,50	1,80	2,00	0,50
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	2,20	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
Zucchini	2,60	0,40	1,40	0,40	0,30
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

)* P = 0,44 x P₂O₅ und K = 0,83 x K₂O)** Versorgungsstufe C Die Kali- und Magnesium-Düngung erfolgt im Freilandgemüsebau über sulfatische Düngemittel

Quelle: LAD BW

Tabelle 3: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern (Auswahl)

Die folgenden zwei Tabellen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit der möglichen Wirtschaftsdünger und deren Nährstoffgehalte. Wer weitergehende Informationen hierzu benötigt, z.B. über organische Dünger aus dem Futter-mittermittelbereich wie Schlempe, Trester, Schlachtabfälle usw., oder aber auch über Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft je nach Haltungsform, kann sich über Internet informieren oder über verschiedene Quellen Basisdaten abrufen, z.B. in der LTZ-Broschüre „Beratungsgrundlagen für die Düngung“ oder im Bundesgesetzblatt 1297.

Wirtschaftsdünger aus tierischer Herkunft

	% TS-Geh.	kg / m³ bzw. t Frischmasse						
		N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	Ca
Gülle (in kg/m³)								
Rinder)¹	10	4,0	2,3	2,0	5,5	1,0	0,5	2,2
	7,5	3,6	1,9	1,5	4,7	0,8	0,3	1,6
	5	2,9	1,7	1,2	3,2	0,6	0,1	1,2
Schweine	5	4,7	3,1	2,8	3,1	1,0	0,3	2,8
Geflügel	10	6,1	4,3	3,8	3,0	1,4	0,4	12,3
Hühnertrockenkot	40	20		17	14	6,5	1,7	
	55	26		21	18	8,0	2,2	
	70	30		25	22	9,5	2,5	
Festmist (in kg/t)								
Rinder	25	6,1	0,8	3,3	10,0	2,0	1,0	3,5
Schweine	25	7,6	0,9	6,6	6,5	2,0	1,0	4,5
Schafe	30	8,3	0,8	4,3	13,4	2,0	1,0	4,5
Pferde	30	4,5	0,5	3,0	7,2	1,5	1,0	4,3
Geflügel	50	20,0	4,4	16,2	18,0	5,0	3,0	42,0
Jauche (in kg m³)								
Rinder	2	2,6	2,5	0,2	7,9	0,2	0,2	0,1

¹⁾ Die Werte für Rindergülle entsprechen hier **Milchviehgülle**, Schwerpunkt Grünlandfütterung. Bei schwerpunktmäßiger Fütterung von Silomais bzw. Ackerfutter liegen die Gehaltswerte um 0,1 – 0,2 kg pro m³ niedriger. Bei Mastbullengülle liegen die Werte für N etwa gleichauf, für P um 0,4 kg höher, aber für K deutlich niedriger (1-1,5 kg/m³).

Sonstige organische Dünger von Bedeutung

	% TS- Geh.	kg / m³ bzw. t Frischmasse						
		N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	Einheit
Sonstige organische Dünger								
Klärschlamm dünn	5	1,8	0,6	1,6	0,2	0,5		pro m3
Klärschlamm mittel	25	4,5	0,8	6,5	0,8	2,0		pro t
Klärschlamm dick) ²	50	7,5	0,8	12,0	1,0	4,0		pro t
KFW-Konzentrat) ³	48	22,0		12,0	80	7,0		pro m3
Kompost Bioabfall	60	8,5		5,4	7,9	10,0	1,4	pro t
Kompost Grüngut	50	6,6		3,9	5,1	8,2	1,2	pro t
Biogasgärrest flüss.	ähnlich Rindergülle mit 7,5 % TS							pro m3
Biogasgärrest fest	diesbezüglich sind eigene Untersuchungen notwendig							pro t

²⁾ Klärschlämme sind in der Regel reich an Kalzium (CaO).

³⁾ KFW = Kartoffelfruchtwasser

Quelle:

BMEL DüV 2017

Tabelle 4: Anrechenbare Nährstoffe aus Ernterückständen

Art	dt/ha	-----kg/ha-----			
	Anfall ca.	N Ges.*	P ₂ O ₅	K ₂ O **	MgO
Zuckerrübenblatt	350	140	40	250	35
Futterrübenblatt	320	90	30	160	30
Kartoffelkraut	130	50	10	35	25
Körnermaisstroh	100	70	15	160	30
Rapsstroh	50	40	20	140	15
Getreidestroh	60***	30	20	90	10
Körnerleguminosenstroh	60	60	10	100	10
Gründüngung	100	35	10	45	5

Quelle: Musterverwaltungsvorschrift der Düngeverordnung

Für den Anfall der Ernterückstände gelten die Erträge der Anhangstabelle 1 auf Seite 96.

- * Die N-Anrechenbarkeit schwankt je nach Blatt- und Strohanfall innerhalb der Fruchtfolge, der Boden- und Niederschlagsverhältnisse und der angebauten Kultur.
- ** K₂O kann auf Sand- und Moorböden wegen Auswaschungsgefahr meistens nur zu 50 % angerechnet werden, auf mittleren Böden zu 80 – 90%.
- *** Abfuhr vom Feld häufig niedriger.

Tabelle 5: Im ökologischen Anbau zugelassene Mineraldünger

(nach LAD BW)

Produktname	Nährstoff-zusammensetzung	Nährstoffformen	Bemerkungen
Magnesia-Kainit	11 % K ₂ O, 5 % MgO 4 % S, 20 % Na	KCl, MgSO ₄	voll wasserlöslich Grünlanddünger
KaliSOP® Patentkali Polysulphat	50 % K ₂ O, 18 % S 30 K ₂ O, 10 MgO, 17 S 14 K ₂ O, 6 MgO, 19 S	K ₂ SO ₄ K ₂ SO ₄ , MgSO ₄ K ₂ SO ₄ , MgSO ₄	voll wasserlöslich voll wasserlöslich S z.T. aus Gips
Kieserit gran/fein Bittersalz (EPSO)	25/27 % MgO + 20 S 16 % MgO, 13 % S	MgSO ₄ MgSO ₄ x 7 H ₂ O	voll wasserlöslich voll wasserlöslich
Dolophos® 15	15 % P ₂ O ₅ , 7 % MgO	Ca ₃ (PO ₄) ₂ , MgCO ₃ , CaCO ₃	mit 30 % CaO
Dolophos® 26	26 % P ₂ O ₅ , 3 % MgO	Ca ₃ (PO ₄) ₂ MgCO ₃ , CaCO ₃	mit 31 % CaO
Ökophos®-Plus	5 % P ₂ O ₅ , 7 % MgO+ + Spurennährstoffe Mn, Zn und Cu	CaCO ₃ , MgCO ₃ , Ca ₃ (PO ₄) ₂ , CaSO ₄	mit 32 % CaO 4 % S und Se
Kohlensaure (Mg-)Kalke (+S) CiniCal®	Unterschiedl. Mengen CaO und MgO 24-29 % CaO, 2-7 % MgO, 1 % P ₂ O ₅ , 3 % K ₂ O	CaCO ₃ , MgCO ₃ CaO, Ca(OH) ₂ , CaCO ₃ , MgCO ₃	(2 % S) mit 31-36 % CaO
Dolosul 10+6	10 % S, 6 % MgO	CaSO ₄ , MgCO ₃	CaSO ₄ = Gips
Netzschwefel	bis zu 80 % S	= elementarer S	fungizide Wirkung

Tabelle 6: Kalkwerte wichtiger Düngemittel (nach Slujsmans)

(nach LAD BW)

Düngemittel	Kalkverlust bzw. -gewinn in kg CaO auf Ackerböden)* bezogen auf 100 kg	
Stickstoffdünger (% N)	Nährstoff N / P ₂ O ₅ / K ₂ O	Düngemittel
Kalkammonsalpeter (27)	-56	-15
Yara Bela Sulfan / Domamon L26	-92 / -150	-21 / -30
Schwefels. Ammoniak, SSA (21)	-299	-63
Ammonsulfatsalpeter, ASS (26),Entec 26	-188	-49
Stickstoffmagnesia (22)	-18	-4
Harnstoff (46)	-100	-46
Ammonium-Harnstoff (33)	-164	-54
Kalkstickstoff (19) Perlka	+176	+30
AHL	-100	-28
AHL mit S	-122	-29
Kalksalpeter (15,5)	+84	+13
Phosphatdünger (% P₂O₅)		
Triplesuperphosphat (46)	-6	-3
Superphosphat (18)	+1	0
Dolophos (15 bzw. 26)	+200 bzw. +120	+30 bzw. +31
Novaphos	+48	+11
NP-Dünger (% N, % P₂O₅)	die Bezugsbasis ist hier der Stickstoff	
Monoammonphosphat (12/52)	-336	-37
Diammonphosphat (18/46)	-189	-34
NP-Dünger (20/20)	-90	-18
NP-Dünger (25/15)	-54	-31
NP-Lösung (10/34)	-250	-25
NPK-Dünger (% N, % P₂O₅, % K₂O)	die Bezugsbasis ist hier der Stickstoff	
20/10/10 (+3S) bzw. 21/5/5 (+3+7)	-105 bzw. -124	-21 bzw. -26
12/12/17 (+2+8) bzw. 12/12/17(+3+5)	-108 bzw. -175	-13 bzw. -21
15/15/15 (+2S) bzw. 17/17/17	-93 bzw. -135	-14 bzw. -23
21/6/12 (+4S)	-95	-20
20/8/8 (+3+4) bzw. 24/8/8	-90 bzw. -108	-18 bzw. -26
13/9/16 (+4+7S)	-100	-14
PK-Dünger (% P₂O₅, % K₂O)	die Bezugsbasis ist hier das Phosphat	
7+40 (+ 4S)	0	0
14+20 (+ 6S)	0	0
10+25 (+4MgO +7S)	0	0
12+24 (+2MgO +7S)	0	0
14+14 (+4MgO +9S)	0	0
Alle Kali- und Magnesium-Dünger	± 0	± 0

*) In Grünlandböden ist i.d.R. die kalkzehrende Wirkung von Düngemitteln etwas schwächer ausgeprägt als auf Ackerböden, weil das ganzjährig vorhandene und dicke Wurzelwerk eines Grünlandbestandes einen gewissen Säurepuffer aufbaut.

Die Kalkwerte von Kalkdüngern siehe unter Anhangstabelle 11. Bei NPK- und PK-Düngern ist nur eine Auswahl möglicher Kombinationen in obiger Tab. 6 enthalten.

Tabelle 7: Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdüngertypen (z.T. Produktnamen)

Düngemitteltyp / Produkte	Ges. N %	Nitrat- N %	Ammonium- N %	Amid- N %	Andere N-Formen. Weitere Nährstoffe
Kalksalpeter (z.B. Calcinit)	15,5	14,5	1	-	19 % CaO (26 % CaO)
Kalkammonsalpeter (KAS) ¹	27	13,5	13,5	-	12,5 % CaO, teilw. bis 4 % MgO als MgCO ₃
KAS+S (z.B. YaraBela Sulfan)	24	12	12	-	7 bzw. 6 % S
KAS+Mg+S (z.B. Optimag) ²	24	12	12		8 % MgO, 6 % S
Ammonsulfatsalpeter (ASS)	26	7	19	-	13 % S
ASS stabilisiert z.B. Entec 26	26	7,5	18,5	-	13 % S
SSA = Ammoniumsulfat	21	-	21	-	24 % S, z.B. Domogran 45
Ammoniumnitrat-Harnstoff- Lösung (AHL)	28	7	7	14	AHL auch mit 30 % N (7/8)
Ammoniumnitrat-Harnstoff- Lösung (AHL) mit S	25	5	9	11	6 % S
AHL mit Nitrifikationshemmer	28	7	7	14	Triazol+Methylpyrazol 15:1
AHL+S mit N-Stabilisator	25	5	9	11	6 % S; Triazol + MP 15:1
Harnstoff	46	-	-	46	
Harnstoff+S (z.B. YaraUreas)	38		7	31	7,5 % S
Harnstoff mit N-Stabilisator	46	-	-	46	3 % DCD + Triazol
Ammoniumsulfat-Harnstoff- Lösung (z.B. Domamon L26)	20		6	14	6 % S
Ammonium-Harnstoff	33	-	10	23	12 % S
Stickstoffmagnesia (AN)	22	11	11	-	7 bzw. 3 % MgO (MgCO ₃)
Perlka (Kalkstickstoff)	19,8	1,8	-	-	Cyanamid-N, 50 % CaO
ATS Ammoniumthiosulfat	12		12		26 % S, ½ elementar, ½ SO ₄
ASL Ammoniumsulfat-Lösung	8		8		9 % S
AS Düngerlösung	15	3,5	8,6	2,9	6 % S

Quelle: LAD Baden-Württemberg

Die Gehaltsangaben in Gewichts-% sind für die Ausbringung flüssiger Düngemittel wenig hilfreich. Hier interessiert der Gehalt in Volumen-%. Die Umrechnung erfolgt über die Dichte in kg/l. Zum Beispiel enthält 28er AHL 36 Volumen-% N (28·1,28), was 36 kg N je 100 Liter entspricht (siehe detaillierte Angaben dazu auch in Anhangstabelle 20 und 21 auf Seite 109 in Ergänzung zur Anhangstabelle 7).

¹ Unter den Düngemitteltyp KAS fallen verschiedene gängige Produktnamen wie z.B. YaraBela Extran 27, NAC 27 oder Rieselkorn 27

² weiteres Beispiel ist Nitromag (in % mit 21 als NO₃ und NH₄, 11 CaO, 7,5 MgO)

Tabelle 8: Zusammensetzung wichtiger Kali-Einzeldünger

Produkt	K₂O	MgO	Na	S	Nährstoffform
	%	%	%	%	
Korn-Kali mit 6% MgO	40	6	3	5	K-Chlorid, Mg-Sulfat
60er Kali gran	60	-	-	-	K-Chlorid
Magnesia-Kainit	11	5	20	4	K-Chlorid, Na-Chlorid, Mg-Sulfat
KaliSOP Kaliumsulfat	50	-	-	18	K-Sulfat
Patentkali Kalimagnesia	30	10	-	17	K-Sulfat, Mg-Sulfat
Polysulfat	14	6	-	19	K-Sulfat, Mg-Sulfat
Hortisul)*	52	-	-	18	K-Sulfat
SoluSOP)*	52	-	-	18	K-Sulfat
SoluMOP)*	60			-	K-Chlorid

)* Ausschließlich vorgesehen für die Fertigation oder als Blattdünger

Tabelle 9: Zusammensetzung wichtiger Magnesium-Einzeldünger

Produkt	MgO	S	Bindungsform, weitere Nährstoffe
	%	%	
ESTA Kieserit fein	27	22	Magnesiumsulfat-Monohydrat
ESTA Kieserit gran	25	20	Magnesiumsulfat-Monohydrat
EPSO Top)*	16	13	Magnesiumsulfat · 7H ₂ O
EPSO Microtop)*	15	12	Magnesiumsulfat · 7H ₂ O mit Bor und Mangan bzw. mit Mangan und Zink
EPSO Combitorp)*	13	13	
Kohlensaurer Magnesiumkalk	7 - 20	-	Magnesiumcarbonat
Magnesium-Brannkalk	25	-	Magnesiumoxid
DOLOSUL	6	10	Magnesiumcarbonat
Hüttenkalk	7	-	Magnesiumsilikat

)* EPSO-Produkte sind von den Nährstoffgehalten identisch mit den früheren Bittersalz-Produkten (EPSO=Bittersalz)

Quelle zu Tabellen 7-13: LAD BW 2018

Tabelle 10: Zusammensetzung wichtiger Phosphat-Einzeldünger

Produkt	P ₂ O ₅ %	Löslichkeitsform, weitere Nährstoffe, (CaO-Gehalt = theor. Basisch wirks. Kalk)
Superphosphat 18	18	ammoniumcitratlösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 93 % wasserlöslich, ca. 11 % S
Triple-Superphosphat 46	46	ammoniumcitratlösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 93 % wasserlöslich
P 35	35	mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 87 % wasserlösliches Phosphat
Novaphos	23	mineralsäurelösliches P ₂ O ₅ , davon ca. 50 % wasserlöslich; 11 % CaO, 8 % S; teilaufgeschlossenes Rohphosphat
Dolophos 15 granuliert	15	mineralsäurelösliches Phosphat, davon 55 % in 2%iger Ameisensäure lösliches Phosphat, 30 % CaO und 7 % MgO bzw. 65 % CaCO ₃ und 14 % MgCO ₃)
Dolophos 26 granuliert	26	mineralsäurelösliches Phosphat, davon 55 % in 2%iger Ameisensäure lösliches P

Tabelle 11: Wichtige schwefelhaltige Mineraldünger

(nach LAD BW)

Düngemitteltyp bzw. Produktname	Schwefelgehalt in % S	Schwefelform
Ammonsulfatsalpeter ASS/ASN	13 / 12	Ammoniumsulfat
SSA, z.B. Domogran 45	24	Ammoniumsulfat
YaraBela Sulfan/LAT NAC+S	6 / 7	Calciumsulfat
YaraBela Optimag	6	Magnesiumsulfat
Ammonium-Harnstoff	12	Ammoniumsulfat
AHL mit S (± Inhibitor)	3	Ammoniumsulfat
Entec 26	14	Ammoniumsulfat
Superphosphat	11	Calciumsulfat
Korn-Kali 40/6	5	Magnesiumsulfat
Magnesia-Kainit	4	Magnesiumsulfat
Patentkali	17	Kalium- und Mg-Sulfat
Kaliumsulfat KaliSOP®	18	Kaliumsulfat
Polysulphate	19	K-, Mg- und Ca-Sulfat
ESTA-Kieserit fein	22	Magnesiumsulfat
ESTA-Kieserit gran	20	Magnesiumsulfat
Kohlens. Mg-Kalk mit S	2	Calciumsulfat
Dolophos 6/2	2	Calciumsulfat
DOLOSUL	10	Calciumsulfat
Netzschwefel	80	Elementarer Schwefel
NPK-Dünger mit S	2 – 12	Sulfate
PK-Dünger mit S	2 – 9	Sulfate

Tabelle 12: Zusammensetzung wichtiger Kalke

(nach LAD BW)

Produkt	Kalkform	Kalkgehalt) ¹ (CaO)	weitere Nährstoffe/ Nebenbestandteile
Branntkalk	CaO	75 - 90	z.T. MgO
Magnesium- Branntkalk	CaO/MgO	85	25 % MgO
Mischkalk	CaCO ₃ / MgCO ₃ und Ca(OH) ₂	50	10 – 15 % MgO
Kohlensaurer Kalk	CaCO ₃	47 -53	z.T. MgCO ₃
Kohlensaurer Magnesiumkalk	CaCO ₃ / MgCO ₃	45 - 53	15 – 40 % MgCO ₃
Kohlens. Magnesiumkalk mit Schwefel	CaCO ₃ / MgCO ₃	45	20 – 30 % MgCO ₃ , 2 % S
Kohlensaurer Magnesiumkalk mit Phosphat) ² , u.a. Dolophos 6 und 6/2	CaCO ₃ / MgCO ₃	30 - 41	MgCO ₃ ≥ 4 % P ₂ O ₅ 6 % P ₂ O ₅ / + 2 % S
Hüttenkalk/ Forsthüttenkalk	CaSiO ₃	44 - 47	7 – 10 % MgO, ca. 32 % löslich, Kieselsäure (SiO ₂), Spurennährstoffe
Schwarzkalk) ³	CaCO ₃	37	0,9 N, davon 1/3 DCD-N
Konverterkalk	CaSiO ₃	50	MgO, ca. 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
Konverterkalk feucht-körnig	CaSiO ₃	41 - 43	MgO, ca. 12 % lösl. Kieselsäure, Spurennährstoffe
„Rückstandskalk“	CaCO ₃ CaO / Ca(OH) ₂	> 30 in der TS	MgO, Spurennährstoffe
CiniCal) ⁴	CaCO ₃ / MgCO ₃ CaO / Ca(OH) ₂ und CaSiO ₃		1 % P ₂ O ₅ , 3 % K ₂ O, 2 – 7 % MgO

)¹ Im deklarierten Kalkgehalt ist der tatsächliche Neutralisationswert nicht berücksichtigt. Je nach Magnesiumanteil, ob als MgO oder MgCO₃, steigt der Neutralisationswert an.

)² Kalkdünger aus der Verbrennung von Klärschlamm

)³ Kalkdünger aus der Herstellung von Stickstoffdüngern (= Schwarzkalk)

)⁴ Kalkdünger aus der Verbrennung pflanzlicher Stoffe (z.B. Holzasche)

Tabelle 13: Zusammensetzung wichtiger Mehrnährstoffdünger)¹ (nach LAD BW)

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Beispiele, Bemerkungen, Herstellfirmen
1. P-(Mg)-Dünger				
-	5 - 15	-	7	Dolophos 15, Ökophos-Plus
2. PK-(Mg)-Dünger				
-	7 - 20	7 - 40	0 - 8	PKPlus-Dünger von ICL mit Vollaufschluss bei P, Sorten mit bis zu 25 % CaO und bis zu bis 10 % S; PK-Dünger mit Kohlens. Magnesiumkalk P ₂ O ₅ -Löslichkeiten siehe Seite 41
3. NK-Dünger				
14 - 16	-	15 - 45	2 - 5	vom N bis zu 50 %-Anteile als NO ₃ -N
4. NP-Dünger				
15 - 26	6 - 34	-	-	Nitrophos, Entec, Yara Mila, Complex-Dünger von Borealis LAT, ICL; 5-11 % CaO; vom N ca. 40 % NO ₃ -N; vom P ₂ O ₅ ca. 50-85 % wasserlöslich
18	46	-	-	Diammonphosphat; N als NH ₄ ; P ₂ O ₅ zu 90 % wasserlöslich
12	52	-	-	Monoammonphosphat; N als NH ₄ ; P ₂ O ₅ zu 90 % wasserlöslich
5. NPK-(Mg)-Dünger				
6 - 24	5 - 16	5 - 32	0 - 4	Nitrophoska von Eurochem; Yara Mila-Dünger, Complex-Dünger von Borealis LAT, ICL; vom N 20-45 % als NO ₃ -N, sonst NH ₄ -N; vom P ₂ O ₅ 55-90 % wasserlöslich, im übrigen citratlöslich; K ₂ O meist als Chlorid; spezielle Formeln („Blaudünger“) je zur Hälfte Chlorid und Sulfat, chloridreduziert oder nur als Sulfat; bis 10 % S; bis 17 % CaO; teilweise mit Spurennährstoffen
6. NPK-Dünger mit DMPP)²				
15 - 24	5 - 8	7 - 20	0 - 2	z.B. Entec perfect; vom N 45 % als NO ₃ -N, Rest als NH ₄ -N; mit Nitrifikationsinhibitor DMPP; vom P ₂ O ₅ ca. 70 % wasserlöslich; K ₂ O als Kaliumsulfat; Entec NPK 2 – 8 % S

Die Mehrnährstoffdünger haben heute einen beachtlichen Marktanteil. Wegen der Vielzahl und Vielfalt (Nährstoffzusammensetzung) dieser Düngemitteltypen (v.a. PK und NPK) können in dieser Übersicht kaum Beispiele aufgeführt werden. Die Hersteller geben gerne Auskunft bei speziellen Fragen.

)¹ N+S Dünger siehe unter Anhangstabelle 7 bzw.11)² DMPP = N-Stabilisator

Tabelle 14: S-Bedarf verschiedener Kulturarten in kg S/ha bei mittleren Erträgen

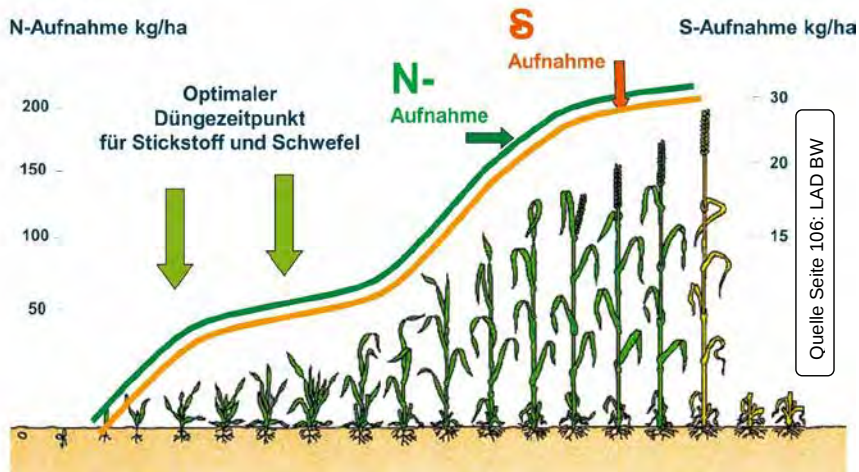
	Entzüge Ernterückstände	Entzüge Erntegut	Bedarf Gesamtpflanze
Winterraps	50	20	70
Wintergetreide	10	15	25
Mais	10	15	25
Zuckerrüben	15	15	30
Kartoffeln	10	5	15
Ackerbohne	40	10	50
Grünland	-	40	40
Kohl	25	45	70

Die Schwefelaufnahme verläuft ähnlich wie beim Raps zeitlich parallel mit der Stickstoffaufnahme. Die höchste S-Aufnahmerate findet sich in der Phase der Massebildung, also bei der Blattbildung und beim Schossen.

Die Schwefeldüngung hat daher frühzeitig zu erfolgen und ist an die erste oder zweite Stickstoffdüngung zu koppeln.

Getreide hat einen Bedarf von ca. 25-30 kg S/ha. Mit der Schwefeldüngung werden Ertragsanlage, Ertragsbildung und die Qualität des Kornes sichergestellt.

Stickstoff- und Schwefelaufnahme bei Wintergetreide



Weitere Korrekturen in Form von Zu- und Abschlägen bei der Ermittlung des N-Düngebedarfs für Grünland und im mehrschnittigen Feldfutterbau lt. DüV (Quelle: Original BMEL DüV 2017)

Tabelle 15: Zu- und Abschläge in kg N/ha von den N-Bedarfswerten (Spalte 4) für Grünland und mehrschnittigen Feldfutterbau
in Spalte 5 für Abweichungen vom Ertragsniveau je 10 dt TM/ha (Spalte 2)
in Spalte 6 für Abweichungen vom Rohproteingehalt je % RP (Spalte 3)

	Ertrag dt TM/ha	Rohproteingehalt % RP in der TM	Stickstoffbedarf kg N/ha	Zu- und Abschläge in kg N/ha	
				Ertragsdifferenz je 10 dt TM/ha	Differenz in der TM je 1% Rohprotein
Grünland/ mehrschnittiger Feldfutterbau					
1 Schnitt	40	8,6	55	14	6
2 Schnitte	55	11,4	100	18	9
3 Schnitte	80	15	190	24	13
4 Schnitte	90	17	245	27	14
5 Schnitte	110	17,5	310	28	18
Weide intensiv	90	18	130	15	8
Mähweide intensiv 60% Weideanteil	94	17,6	190	20	11
Mähweide intensiv 20% Weideanteil	98	17,2	245	25	14
Weide extensiv	65	12,5	65	10	5
Ackergras (3-4 Schnitte)	120	16,2	310	26	19
Kleegras (3-4 Schnitte)	120	18,2	350	29	19

Tabelle 16:

Stickstoffbindung durch Leguminosen

	Mindestabschläge in kg N/ha
5 - < 10 % Ertragsanteil Leguminosen	20
10 - < 20 % Ertragsanteil Leguminosen	40
> 20 % Ertragsanteil Leguminosen	60
Klee gras mit 10 % Ertragsanteil Leguminose	30
Rotklee/Luzerne in Reinkultur	360

Tabelle 17: Korrektur bei der N-Düngebedarfsermittlung in Abhängigkeit von der organischen Substanz

Abschläge für N-Nachlieferung aus dem Boden

	Mindestabschläge in kg N/ha
Weniger als 8% organische Substanz	10
8 - < 15 % organische Substanz	30
15 – 30 % organische Substanz	50

Tabelle 18:

Folgende Zu- und Abschläge für Vor- und Zwischenfrüchte sind bei der N-Bedarfsermittlung zu berücksichtigen:

Vorfrucht Hauptfrüchte	Mindestabschlag kg N/ha
Grünland, Dauerbrache, Klee	20
Zuckerrüben ohne Blatt	10
Brache ohne Leguminosen	
Raps, Körnerleguminosen	10
Feldgras	10
Getreide	0

Vorfrucht Zwischenfrüchte	Mindestabschlag kg N/ha
Nichtleguminosen abgefroren	0
Nichtleguminosen nicht abgefroren	
Im Frühjahr eingearbeitet	20
Im Herbst eingearbeitet	0
Leguminosen abgefroren	10
Leguminosen nicht abgefroren	
Im Frühjahr eingearbeitet	40
Im Herbst eingearbeitet	10
Futterleguminosen mit Nutzung	10
Andere Zwischenfrüchte mit Nutzung	0

Abschlag Standort/Humus

Humusgehalt in %	Mindestabschlag kg N/ha
> 4,0	20

Tabelle 19:

Beispiele N-Bedarfswertermittlung Zweitfrucht

Kultur	dt TM- Ertrag/ ha	% RP in der TM (% RP:6,25= kg N/dt TM)	Stickstoffbedarf ohne Abzug Klee kg N/ha	Kleeanteil im Bestand in %	Stickstoffbedarf kg N/ha
Feldgras	30	16	77		77
	45	16,2	117		117
	60	16,4	157		157
Kleegras	40	18	115	20	55
	55	18,2	160	40	40
	70	18,4	206	60	26
Silomais	75	8	96		96
	90	7,8	112		112
	105	7,6	128		118

Zusammensetzung wichtiger N-Dünger

(Gehaltsangaben in Gewichts-% [= kg/dt] nach Herstellerangaben bzw. Volumen-% [= kg/100 Liter])

Dünger	Stickstoffgehalt*					Kalkwert (kg CaO je 100 kg N)	weitere Nährstoffe (Gew.-%) Bemerkungen
	Gewichts.-% (kg/dt)				Vol.-% N (kg/100 l)		
	N	davon als					
		NO ₃	NH ₄	Amid			
Kalkammonsalpeter (KAS)	27	13,5	13,5	-		-55	bis 4 % MgO
KAS + S (z. B. YaraBela Sulfan)	24	12	12	-		-87	6 % S
KAS + Mg + S (YaraBela Optimag 24)	24	12	12	-		-92	8 % MgO, 6 S
Ammonsulfatsalpeter (ASS)	26	7	19	-		-196	13 % S
ASS stabilisiert (Entec 26)	26	7,5	18,5	-		-196	13 % S
Ammoniumsulfat (Schwefelsaures Ammoniak, SSA)	21	-	21	-		-299	24 % S
Harnstoff	46	-	-	46		-100	
Harnstoff stabilisiert(Alzon 46)	46	-	-	46		-100	
Harnstoff + Schwefel (YaraUreas)	38	-	6,6	31,4		-134	7,5 % S
Harnstoff-Ammonsulfat (Piamon 33 S)	33	-	10,4	22,6		-180	12 % S
Kalkstickstoff, geperit (Perika)	19,8	1,5	-	-		+152	18,3 %Cyanamid-N
Ammonnitratharnstofflösung (AHL)	28	7	7	14	36	-100	1,28 kg/l
Ammonnitratharnstofflösung (AHL)	30	7	8	15	40	-100	1,32 kg/l
AHL stabilisiert (Alzon flüssig)	28	7	7	14	36	-100	1,28 kg/l
AHL + Schwefel (Piasan-S 25/6)	25	5	9	11	33	-142	6 % S; 1,31 kg/l
AHL + Schwefel stabilisiert (Alzon flüssig S 25/6)	25	5	9	11	33	-142	6% S; 1,31 kg/l
Ammoniumsulfatlösung (ASL)	8	-	8	-	10	-299	9 % S; 1,25 kg/l
AS-Düngerlösung (Lenasol)	15	3,5	8,6	2,9	19	-170	6 % S; 1,25 kg/l
Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung (Domamon L26)	20	-	6	14	25	-153	6 % S; 1,25 kg/l
Ammoniumthiosulfat (ATS)	12		12		16	-480	26 % S; 1,32 kg/l

* Die Gehaltsangaben in Gewichts-% sind für die Ausbringung flüssiger Düngemittel wenig hilfreich, weil die Ausbringungsmengen sich auf Liter beziehen. Hier interessiert der Gehalt in Volumen-%, wie sie die Tabelle als gerundete Werte enthält. Die Umrechnung erfolgt über die Dichte in kg/l, die in der letzten Spalte angegeben ist. 28er AHL zum Beispiel enthält 36 Volumen-% N (28*1,28), was 36 kg N je 100 Liter entspricht.

Auswahl schwefelhaltiger N-Dünger

(Gehaltsangaben in Gewichts-% nach Herstellerangaben bzw. Volumen-%)

Dünger	Gewichts-% (kg/dt*)		Volumen-% (kg/100 l*)		ausgebrachte S-Menge bei vorgegebener N-Menge	
	S	N	S	N	60 kg/ha N = kg/ha S	100 kg/ha N = kg/ha S
Ammoniumsulfat (Schwefelsaures Ammoniak, SSA)	24	21			69	114
Ammonsulfatsalpeter (ASS)	13	26			30	50
ASS stabilisiert (Entec 26)	13	26			30	50
Harnstoff-Ammonsulfat (Piamon 33 S)	12	33			22	36
Harnstoff + S (YaraUreas)	7,5	38			12	20
KAS + S (z. B. YaraBela Sulfan)	6	24			15	25
Ammoniumthiosulfat (ATS)	26	12	34,3	16	130	216
Ammoniumsulfatlösung (ASL)	9	8	11,3	10	68	113
Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung (Domamon L26)	6	20	7,5	25	18	30
AS-Düngerlösung (Lenasol)	6	15	7,5	19	24	40
AHL + Schwefel (Piasan-S 25/6, Alzon flüssig-S 25/6)	6	25	7,9	33	14	24

* Die Gehaltsangaben in Gewichts-% sind für die Ausbringung flüssiger Düngemittel wenig hilfreich, weil die Ausbringungsmengen sich auf Liter beziehen. Hier interessiert der Gehalt in Volumen-%. Die Umrechnung erfolgt über die Dichte. Angaben hierzu sowie zu den Kalkwerten im Kapitel Stickstoffdüngemittel.

Tabelle 22: Umsetzungsgeschwindigkeit von N-Einzeldüngern
(Quelle: Gelbes Heft des ER Gemüsebau Niederbayern)

Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger und seiner N-Formen in %

Dünger	Kalksalpeter	KAS	ASS ENTEC	AHL Alzon fl.	SSA	Piamon	Harnstoff, Piagran Alzon 46	Perka (Kalkstickstoff)
N-Gehalt in %	15,5	27	26	27 – 28	21	33	46	19,8
Nitrat = NO ₃ -N	93,5	50	27	23 – 25	-	-	-	7,5
Ammonium NH ₄	6,5	50	73	25 – 27	100	50	-	-
Amid-N	-	-	-	50	-	50	100	92,5
N-Verfügbarkeit	++++	+++	+++ / +	++ / +	++	++	++ / +	+

+++ = sehr schnell pflanzenverfügbar

+ = langsam pflanzenverfügbar

Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger für den Ackerbau



Die Zusammensetzung der enthaltenen N-Formen bestimmt die Wirkungsgeschwindigkeit der Dünger.

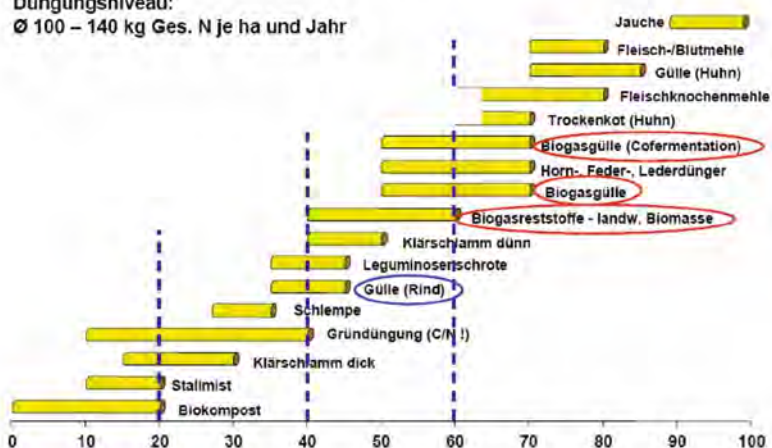
Anhangsabbildung 1: Mineraldünger-Äquivalente bezogen auf Stickstoff in %

N-Verfügbarkeit organischer Düngestoffe im Jahr der Anwendung

Basis: Mineraldünger-Äquivalente (%) nach Gutser 2005

Düngungs-niveau:

Ø 100 – 140 kg Ges. N je ha und Jahr



Anhangstabelle 23: Nährstoffentzüge durch die Reben (Traubenertrag 14 t/ha)

Nährstoffe		Entzug (kg/ha)	
		Gesamt	Trauben
Stickstoff	N	53 - 83	25 - 32
Phosphat	P₂O₅	14 - 24	8 - 12
Kali	K₂O	57 - 98	46 - 56
Magnesium	MgO	16 - 23	5 - 6
Calcium	CaO	56 - 74	7 - 8
Bor	B	0,08 - 0,15	0,04 - 0,08
Kupfer	Cu	0,06 - 0,12	0,03 - 0,05
Eisen	Fe	0,43 - 0,88	0,20 - 0,32
Mangan	Mn	0,08 - 0,16	0,02 - 0,04
Zink	Zn	0,10 - 0,21	0,04 - 0,07

Quelle: DLR, Rheinpfalz und WBI Freiburg

Anhangstabelle 24: Stickstoffbedarfswerte für Kern- und Steinobst sowie Strauchbeeren

Kulturart	Ertragsniveau [dt/ha]	N-Sollwert [kg N/ha]	maßgebende Bodentiefe [cm]
Kernobst	200 - 300 300 - 400	50 60	0 - 60
Steinobst			
- Zwetschen, Mirabellen, Süßkirschen	100 - 150 150 - 250 250 - 350	50 70 90	0 - 60
- sonstige Kirschen	150 - 200	60	
Strauchbeeren	50 - 100 100 - 200	50 70	0 - 60

Anhangstabelle 25: Bedarf an Nährstoffmengen (P,K,Mg) bei einer Aufdüngung infolge von Unterversorgung des Bodens (Versorgungsstufe A oder B)

Aufdüngung ist kostspielig und langwierig

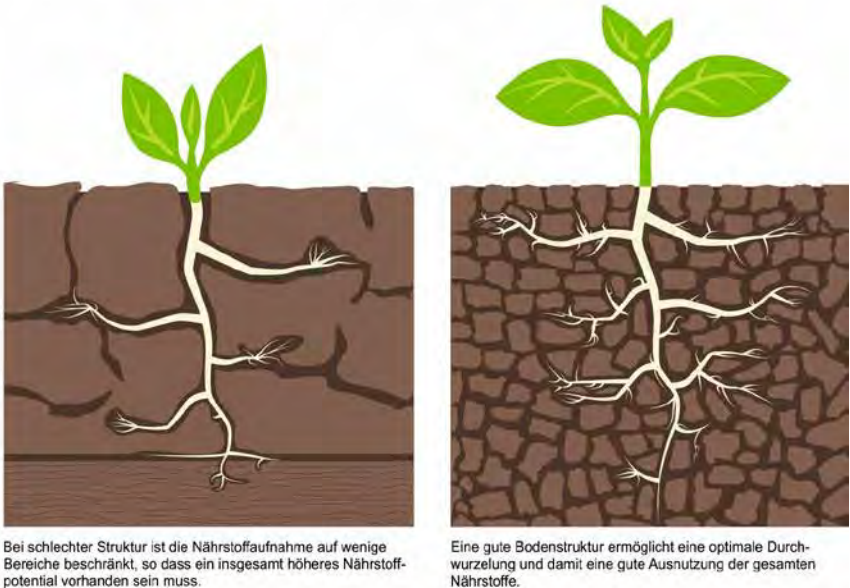
Erforderliche Nährstoffmengen in kg/ha zur Anhebung des Nährstoffgehaltes im Boden um 1 mg/100 g über den Entzug hinaus

Bodenart	Ackerland			Grünland		
	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Sand	100	200	140	40	50	70
Schwach lehmiger Sand	100	180	120	60	50	60
Stark lehmiger Sand	100	150	120	60	40	60
Sandiger Sand	100	100	120	60	30	60
Lehm/Ton	100	100	120	70	30	60
Moor	100	200	140	40	70	70

Quelle: TLL Jenä, Kerschberger und Schröter (1998)

Anhangsabbildung 2: Nährstoffeffizienz als Funktion der Wasser- und Nährstoffkapazität eines Bodens in Abhängigkeit der Bodenstruktur

Die Bodenform bestimmt die Wasser- und Nährstoffkapazität eines Standortes



Kali-Fixierung

- ▶ Nicht austauschbares Kalium, welches in den Zwischenschichten von verschiedenen Tonmineralen fest gebunden ist
- ▶ Messung meistens über Nassfixierung, aber auch Trockenfixierung möglich
- ▶ Ausmaß ist hauptsächlich abhängig von Tongehalt und Art des Tonminerals
- ▶ Absättigung erst, wenn je % Ton 1,5 mg $K_2O/100$ g Boden vorliegen
- ▶ Besonders betroffen davon sind Flusssauen- und Lössböden, Muschelkalk, Keuper und Jura, und da vor allem die Unterböden

Anhangstabelle 26: Kali-Fixierungsvermögen verschiedener Tonminerale

Tonmineral	AK mval/g	Basisflächen- Abstand in Å[°])*	Ladungs- dichte
Kaolinit	3 – 15	0	0
Bentonit	80 – 100	10 – 15	1,0 – 1,2
Smectit	100 – 120	15 – 20	1,0 – 1,2
Montmorillinit	80 – 150	3.5 – 30	1,2 – 1,8
Muskovit	10 – 50	10 – 14	3,0 – 3,4
Biotit	10 – 50	10 – 14	3,0 – 3,4
Vermiculit	100 – 150	10 – 14	2,8
Illit	10 – 50	10 – 14	3,0 – 3,4
Beidellit	50 – 80	10	7,5

)* Das Einheitenzeichen ist Å (Å mit Ring). Ein Ångström entspricht dem zehnmillionsten Teil eines Millimeters.

Anhangstabelle 27: Richtlinien zur Kali-Düngung auf Fixierungsstandorten

Naßfixierung je 100 g Boden	Getreide zur Saat + EC25	Mais zur Saat + 30cm	Kartoffeln zum Legen + 1.Häufeln	Zuckerrüben zum Einpfl. + Saat + 8-BlattSt.
< 25	200	300	400	400
25 - 50	200 + 100	300 + 100	400 + 100	300 + 200
50 – 80	200 + 200	300 + 200	400 + 200	300 + 200 +100
> 80	300 + 200	300 + 300	400 + 300	300 + 200 +200

Anhangstabelle 28: Bestimmungsschlüssel für wichtige Mangelsymptome

(Finck: Pflanzenernährung in Stichworten)

A. Getreide (Gräser)

I. Symptome an **älteren** Blättern

Mangel

- | | |
|--|-----------|
| 1. Blätter dunkelgrün und aufrecht (Starrtracht), oft rötliche Verfärbungen auch am Stengel (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 Flecke in unterer Blatthälfte, Spitze bleibt noch lange grün (Dörrfleckenkrankheit). | Mn |
| Gerste: dunkelbraune streifenförmige Flecke vorwiegend in oberer Blatthälfte. | Mn |
| Roggen und Weizen: weiße oder graue streifenförmige Flecke 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, Kohlarten (einschl. Raps)

I. Symptome an älteren Blättern	Mangel
1. Blätter dunkelgrün und aufrecht, oft rötlich.	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.	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. Kohlarten: 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.).	

C. Leguminosen

I. Symptome an **älteren** Blättern

1. Blätter dunkelgrün und aufrecht, oft rötlich.
2. Grüne Blätter am Rand gelb bzw. häufig hellbraun (oft punktförmig), Blätter schlaff (Welketraucht).
3. Pflanze hellgrün, Blätter von der Spitze her gelblich (Fehlen der Symbiosebakterien oder Mangel an Molybdän etc. verhindert Stickstoffbindung).
4. Blätter zwischen den Adern meist von der Blattmitte her gelblich, Rand häufig noch länger grün.

Mangel

P

K

N

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.
2. Gelbgrüne Blätter mit hellgelben Adern.
3. Gelbe bis gelbweiße Blätter mit grünen Adern.
4. Weißlich vertrocknete Blätter.
5. Gelbliche Blätter und meist abgestorbene Endknospe.
 - a) mit braunen Flecken (meist auf sauren Böden),
 - b) mit oft rötlicher Verfärbung.

Mn

S

Fe

Cu

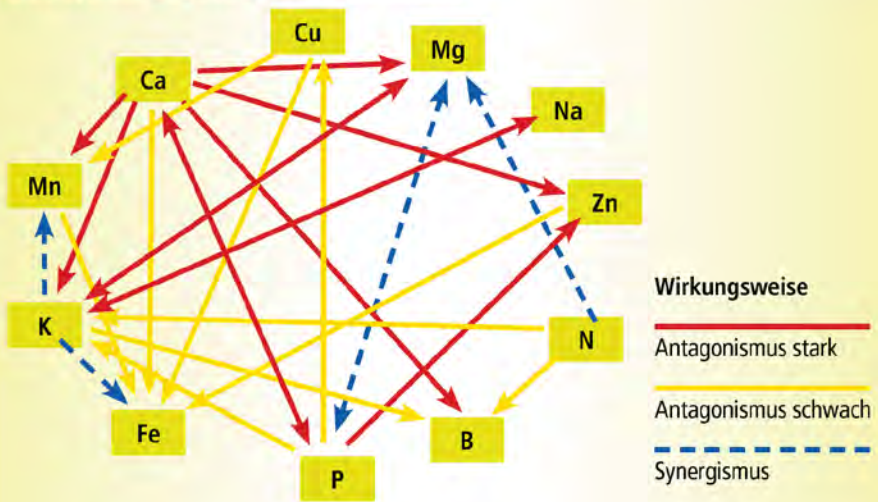
Ca

B

III. Sonstige Symptome (siehe bei Getreide unter III.).

Anhangsabbildung 3: Wechselwirkungen unter den wichtigsten Nährstoffen

Das Wirkungsgefüge der Nährstoffe



Gebräuchliche Abkürzungen

AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung
AL	Ackerland
ASL	Ammoniumsulfatlösung
ASS	Ammonsulfatsalpeter
AZ	Ackerzahl (Bodenpunkt)
BW	Baden-Württemberg
Bei Bodenarten	L/l = Lehm(ig) S/s = Sand(ig) T/t = ton(i)g U/u = Schluff(ig)
BU	Bodenuntersuchung
Ca bzw. CaO	Calcium (Kalzium) bzw. Calciumoxid (= Branntkalk)
CaCO ₃	Calciumcarbonat (Kalziumkarbonat)
CAL	Calcium-Acetate-Lactat
CaSO ₄	Calciumsulfat
CaCl ₂	Calciumchlorid
Ca(OH) ₂	Calciumhydroxid
CAT	Analysenmethode mit <u>C</u> alciumchlorid und <u>D</u> TPA
DAP	Diammonphosphat
dt oder dt/ha	Dezitonne oder Dezitonnen pro Hektar
DL	Doppel-Lactat-Methode
DüV bzw. DüMG	Düngeverordnung bzw. Düngemittelgesetz
ED	Einzeldünger
EUF	Elektro-Ultra-Filtration
FM	Frischmasse
GL	Grünland
GV	Großvieheinheit
HST	Harnstoff
KAS	Kalkammonsalpeter
kg/ha	Kilogramm pro Hektar
MJ NEL	Megajoule Nettoenergie-Laktation
KAS	Kalkammonsalpeter
FAKT	Förderprogramm für Agrar, Umwelt, Klimaschutz, Tierwohl

K bzw. K_2O	Kalium bzw. Kaliumoxid (Kali)
LAD	Landesarbeitskreis Düngung (Baden-Württemberg BW)
LF bzw. LN	Landwirtschaftliche Fläche bzw. Lw. Nutzfläche
LfL	Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft
LUFA / VDLUFA	Landw. Untersuchungs- u. Forschungsanstalt / Verband..
L TZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
LWK	Landwirtschaftskammer
Mg bzw. MgO	Magnesium bzw. Magnesiumoxid
$MgCO_3$	Magnesiumcarbonat (Magnesiumkarbonat)
$MgSiO_3$ / $MgSiO_4$	Magnesiumsilikat
MLR	Ministerium Ländlicher Raum in Baden-Württemberg
MND	Mehrnährstoffdünger
mg	Milligramm
ml	Milliliter
m^3	Kubikmeter
N	Stickstoff
Na	Natrium
NH_3	Ammoniak
NH_4-N	Ammonium-Stickstoff
NO_3-N	Nitrat-Stickstoff
N_{min}	mineralisch gebundener Stickstoff
N_{org}	organisch gebundener Stickstoff
NPK-Dünger	Volldünger, analog dazu NP, NK und PK-Dünger
P bzw. P_2O_5	Phosphor bzw. Phosphat
S	Schwefel
SiO_2	Silikat (in wasserlöslicher Form für Kieselsäure)
SSA	schwefelsaures Ammoniak = Ammoniumsulfat
Tab. oder Abb.	Tabelle oder Abbildung
TKG	Tausendkorngewicht
TM oder TS	Trockenmasse oder Trockensubstanz
→	siehe (auch).....

Umrechnungsfaktoren

Calcium $\text{Ca} \times 1,40 = \text{CaO}$ $\text{CaO} \times 1,78 = \text{CaCO}_3$ $\text{CaCO}_3 \times 0,56 = \text{CaO}$ $\text{CaO} \times 0,71 = \text{Ca}$	Magnesium $\text{Mg} \times 1,66 = \text{MgO}$ $\text{MgO} \times 2,09 = \text{MgCO}_3$ $\text{MgCO}_3 \times 0,48 = \text{MgO}$ $\text{MgO} \times 0,60 = \text{Mg}$ $\text{MgSO}_4 \times 0,34 = \text{MgO}$ $\text{MgSiO}_3 \times 0,40 = \text{MgO}$
Phosphor $\text{P} \times 2,29 = \text{P}_2\text{O}_5$ $\text{P}_2\text{O}_5 \times 0,44 = \text{P}$	Kalium $\text{K} \times 1,20 = \text{K}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O} \times 0,83 = \text{K}$ $\text{KCl} \times 0,63 = \text{K}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 0,54 = \text{K}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O} \times 1,58 = \text{KCl}$
Schwefel $\text{S} \times 3,00 = \text{SO}_4$ $\text{SO}_4 \times 0,33 = \text{S}$ $\text{SO}_3 \times 0,40 = \text{S}$	
Natrium $\text{Na} \times 2,54 = \text{NaCl}$ $\text{NaCl} \times 0,39 = \text{Na}$	Stickstoff $\text{N} \times 4,43 = \text{NO}_3$ $\text{NO}_3 \times 0,23 = \text{N}$ $\text{N} \times 1,29 = \text{NH}_4$ $\text{NH}_4 \times 0,78 = \text{N}$

Anmerkung zur Kalkwirkung von Magnesiumcarbonat (MgCO_3):

Überraschenderweise ist der Neutralisationswert von MgCO_3 sogar etwas höher als der von Cal-Carbonat (CaCO_3). Das beruht auf den unterschiedlichen Molekulargewichten beider Verbindungen. Das Molekulargewicht von CaCO_3 liegt bei 100, das von MgCO_3 bei 84.

Berechnungsgrundlage:

$1 \% \text{MgCO}_3 \times 1,187 = 1 \% \text{CaCO}_3 \times 0,56 = 1 \% \text{CaO}$ oder

$1 \% \text{MgCO}_3 \times 0,667 = 1 \% \text{CaO}$



Phosphat-Mangel in einem Maisbestand, der sich schon in einem fortentwickelten Stadium befindet (Foto LAD Baden-Württemberg)

Schlusswort

Die Düngeberatung als Instrument produktionstechnischer Entscheidungsfindung ist nicht nur für den Betriebserfolg im Pflanzenbau von Bedeutung. Sie hat auch eine hohe Relevanz für die Minimierung von negativen Umweltauswirkungen und für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, also auch erhebliche Verantwortung in gesellschaftspolitischer Hinsicht. Im Zuge der sich vollziehenden Veränderungen im Beratungssektor ist die Sicherstellung einer qualifizierten Düngeberatung eine zentrale Herausforderung für die Träger landwirtschaftlicher Beratung. Mit dieser Broschüre leistet der LAD Baden-Württemberg, der sich zusammensetzt aus den Beratern der verschiedenen Düngemittelhersteller, hoffentlich einen wertvollen und auch sinnvollen Beitrag.

Notizen

Notizen

Notizen

Notizen

AlzChem Trostberg GmbH Kurt Biebinger Fon: 0 62 31 / 50 80 Fax: 0 62 31 / 91 64 42 Mobil: 0175 / 57 10 926 E-Mail: kurt.biebinger@alzchem.com 67125 Dannstadt-Schauernheim, Hauptstraße 195	DüKa Düngekalkgesellschaft GmbH Alexander Voit Fon: Fax: Mobil: 0170 / 34 26 863 E-Mail: voit@dueka.de 74199 Untergruppenbach, Starenweg 6
EuroChem Agro GmbH Norbert Baumgartner Fon: Fax: Mobil: 0151 / 40 65 32 52 E-Mail: norbert.baumgartner@eurochemagro.com 74613 Öhringen, Theodor-Körner-Straße 6	EuroChem Agro GmbH Reiner End Fon: 0 781 / 94 84 444 Fax: 0 781 / 94 84 445 Mobil: 0151 / 40 65 32 58 E-Mail: reiner.end@eurochemagro.com 77654 Offenburg, Leimental 5
K + S KALI GmbH Erwin Niederländer Fon: 0 68 93 / 63 88 Fax: 0 68 93 / 63 96 Mobil: 0176 / 12 34 83 50 E-Mail: erwin.niederlaender@k-plus-s.com 66399 Mandelbachtal, Gipsgrube 3 zuständig für Nord- und Südbaden	K + S KALI GmbH Dr. Karl-Heinz Neuner Fon: 0 91 77 / 95 78 Fax: 0 91 77 / 95 79 Mobil: 0176 / 12 34 83 56 E-Mail: karl-heinz.neuner@k-plus-s.com 91180 Heideck, Raiffeisenstraße 3 zuständig für: Nord- und Süd-Württemberg
Lhoist Germany – Rheinkalk GmbH Joachim Breuer Fon: 0 20 58 / 17- 2790 Fax: 0 20 58 / 17- 2791 Mobil: 0162 / 20 15 392 E-Mail: joachim.breuer@lhoist.com 42489 Wülfrath, Am Kalkstein 1	YARA GmbH & Co. KG Roland Stamm Fon: 070 22 / 97 99 300 Fax: Mobil: 0151 / 40 55 70 93 E-Mail: roland.stamm@yara.com 72663 Großbettlingen, Heinrich-Heine-Str.14

IMPRESSUM

LAD-Broschüre, 4. Auflage 2018

© LAD Landesarbeitskreis Baden-Württemberg

Verantwortlich für Inhalt und Layout: Dr. Karl-Heinz Neuner

Druck: Regent Verlag Heimerl GmbH, 91180 Heideck, Bahnhofstraße 17

Digitale Form über:

www.iva.de/publikationen, darunter befinden sich auch die LAD-Broschüren

