2. erweiterte Auflage

effizient düngen

Düngefibel

Inhalt Düngefibel

Einleitung 3

1. Stickstoff 4
2. Phosphat 11
3. Kalium 13
4. Magnesium 15
5. Schwefel 17
6. Mikronährstoffe 18
7. Kalk und Boden-pH 23
8. Technik 27
9. Fertigation 32
10. Tabellen 35
11. Preisvergleiche 46
12. Düngeverordnung (DüV) 48
13. Düngung und Klimaschutz 49
14. YARA Tools & Services 51

Einleitung

In zahlreichen Beratungsgesprächen auf landwirtschaftlichen Betrieben wurde der Wunsch nach einer kompakten Informationsbroschüre zu wichtigen Fragen der Düngung geäußert. So ist ein übersichtliches Nachschlagewerk und wichtiges Hilfsmittel von Praktikern für Praktiker entstanden. Aufgrund der großen Nachfrage gibt es die Düngefibel jetzt als 2. überarbeitete und ergänzte Auflage. Die Broschüre ist bei dem Online-Beratungs-Service www.effizientduengen.de als kostenloser Download abrufbar. Auf Wunsch kann die Düngefibel auch in Druckform angefordert werden.

Die Düngung der landwirtschaftlichen Kulturen muss neben ökonomischen auch ökologischen Grundsätzen gerecht werden. Durch eine effiziente Düngung kann das Ertragspotenzial bestmöglich ausgenutzt werden, denn nur optimal versorgte Pflanzen können auch gute Erträge erzielen.

Diese Düngefibel ist ein Leitfaden für eine effiziente Düngung. Sie verschafft dem Praktiker einen Überblick über die wichtigsten Nährstoffe und zeigt Optimierungsmöglichkeiten auf.

Die enthaltenen Tabellen informieren über Entzugswerte und Nährstoffgehalte von organischen und mineralischen Düngemitteln, außerdem wird auf die Wirkungsgeschwindigkeiten und Nährstoffverfügbarkeiten eingegangen.

Die Düngerlagerung wird auf den wachsenden landwirtschaftlichen Betrieben immer wichtiger, so dass ein Abschnitt über die Lagerung und Qualitätserhaltung informiert.

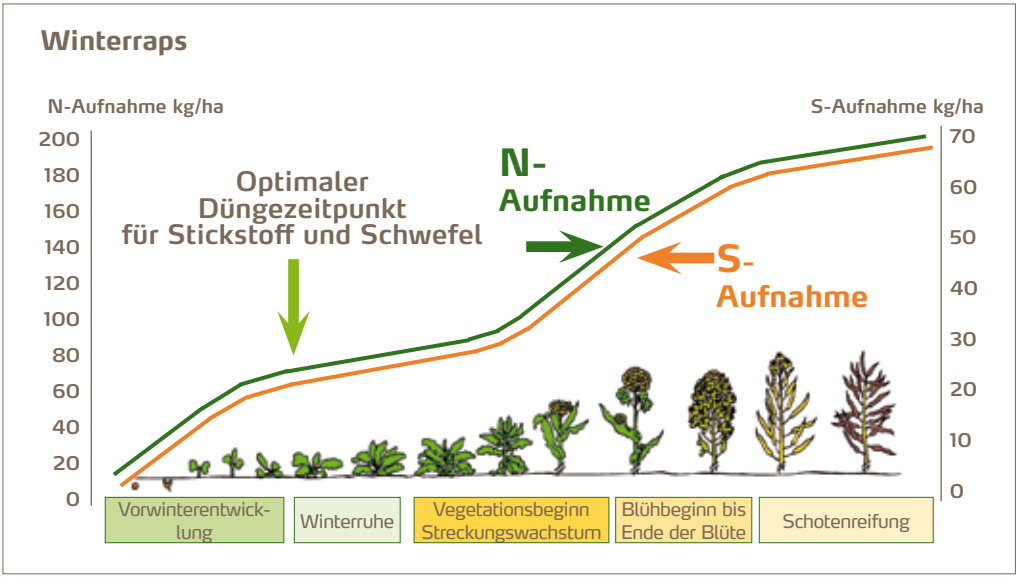
Eine Zusammenfassung der praxisrelevanten Punkte der Düngeverordnung rundet das Gesamtangebot dieser Düngefibel ab. Die Düngefibel wurde außerdem noch um die Themen Mikronährstoffe, Fertigation, Sonderkulturen sowie Düngung und Klimaschutz ergänzt.

Für weitere Informationen und Fragen rund um die Düngung stehen Ihnen die „effizient düngen"- Berater unter www.effizientduengen.de zur Verfügung.

1. Stickstoff

1.1. Stickstoff-Bedarf der Kulturen

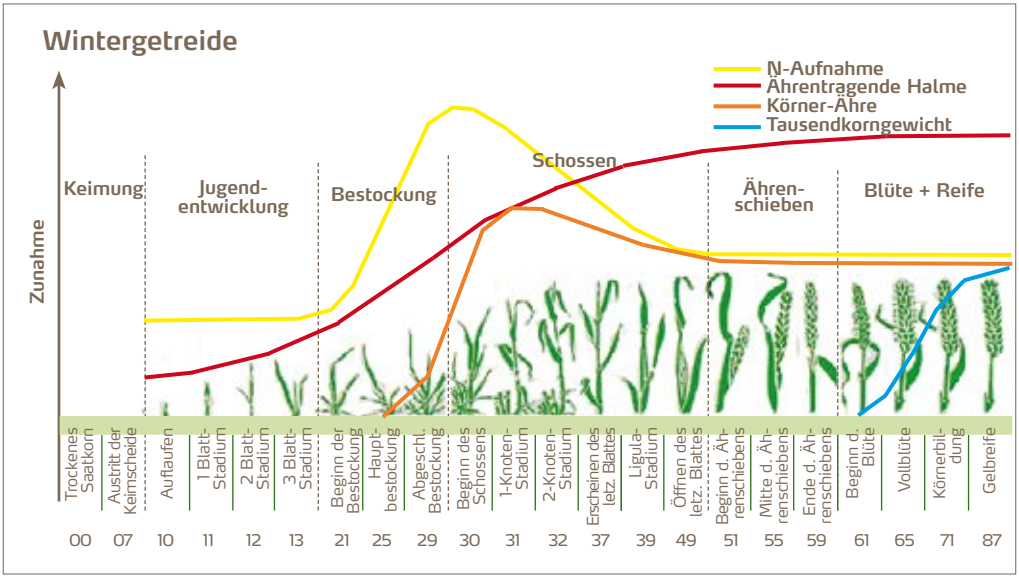
Abb. 1: Entwicklung, N- und S-Aufnahme von Raps



Tab.1: Entwicklungsstadien von Winterraps und Düngeempfehlung

BBCH-Stadium	Beschreibung	Düngeempfehlung
00-09	Keimung	
10-13	Keimblattstadium; (Durchbrechen-Entfalten der Keimblätter)	
15; 17; 19	1; 2; 3-Laubblattstadium	N+S-Andüngung: Vorwinterentwicklung fördern
20-27	4. Laubblattstadium - 12 Blätter	Vegetationsbeginn: N+S-Startergabe
30-39	Längenwachstum (Schossen)	Anschlussgabe mit N oder N+S (je nach Produkt)
50	Knospenbildung	Spätester Zeitpunkt für Anschlussgabe
51-57	Beginn der Knospenbildung	

Abb. 2: Entwicklung, N-Aufnahme im Getreide



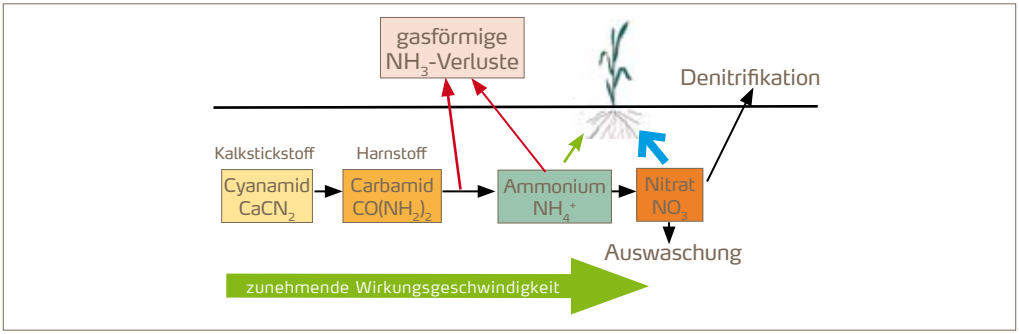
Tab. 2: Entwicklungsstadien von Wintergetreide und Düngeempfehlung

BBCH-Stadium	Beschreibung	Düngeempfehlung
00-09	Keimung	
10	Auflaufen (Keimblattstadium)	
11-13	1-3-Blattstadium	
21-25	Beginn der Bestockung-Hauptbestockung	Frühe 1. N-Gabe (1a) zur Bestockungsförderung
29	Ende der Bestockung	Späte 1. N-Gabe (1b) zur Triebstärkung
30	Schossbeginn	Frühe 2. N-Gabe zur Triebstärkung
31-32	1-Knoten/2-Knoten-Stadium	2. N-Gabe zur Trieberhaltung
37	Fahnenblattspitzen	Frühe 3.Gabe zur TKG-Bildung
39	Fahnenblatt voll entwickelt	3. Gabe zur TKG-Bildung und Proteinbildung
49-59/61	Öffnung Blattscheide- Ende Ährenschiebung/Blühbeginn	Qualitätsgabe (4.Gabe) zur Proteinbildung

1.2. Stickstoff-Aufnahme der Pflanzen

Die Aufnahme von Stickstoff erfolgt vorwiegend als Nitrat. Während Harnstoff zunächst umgebaut werden muss, steht als Nitrat gedüngter Stickstoff den Pflanzen direkt ausreichend zur Verfügung.

Abb. 3: Stickstoffformen im Boden und die Aufnahme durch die Pflanzen



Vorteile Ammonnitrat–haltiger Dünger:

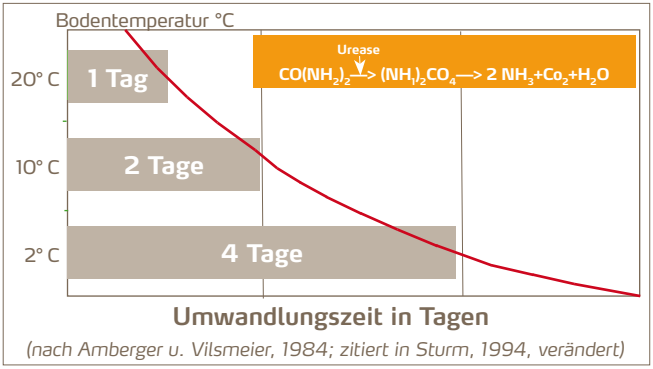
- Vereinen Vorteile beider N-Formen Ammonium und Nitrat
- Rasche Wirkung des Nitratanteils ermöglicht punktgenaue Ernährung der Pflanze exakt zum Bedarfszeitpunkt
- Ammoniumanteil muss durch die Pflanzenwurzel erreicht werden oder fließt nach Umwandlung zu Nitrat zu einem späteren Zeitpunkt zur Pflanze

1.3. Stickstoff im Boden

Die N-Formen unterscheiden sich in ihrer Wirkungsgeschwindigkeit. Nitrat und Ammonium können direkt von den Pflanzen aufgenommen werden. Ammonium allerdings muss durch die Pflanzenwurzel „erwachsen" werden oder aber zu Nitrat umgewandelt werden, damit es zur Pflanze transportiert werden kann. Auch Amid muss erst umgewandelt werden, bevor es die Pflanzen nutzen können.

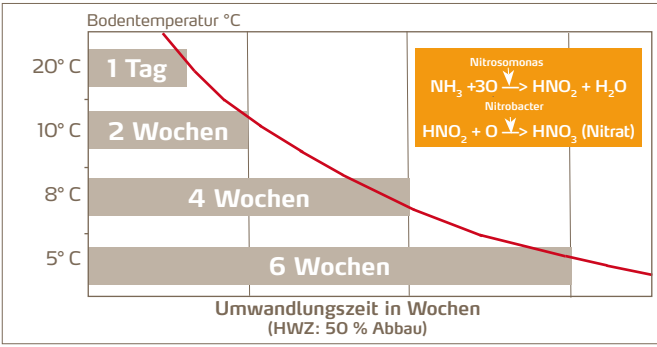
Der zweite Schritt, die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat, erfolgt mit Hilfe von Bodenbakterien. Hierbei wird Sauerstoff benötigt. Daher ist dieser Vorgang auf sehr nassen und verdichteten Böden gehemmt.

Abb. 4: Umwandlung von Harnstoff zu Ammonium in Abhängigkeit von der Bodentemperatur



(nach Amberger u. Vilsmeier, 1984; zitiert in Sturm, 1994, verändert)

Abb. 5: Umwandlung von Ammonium zu Nitrat in Abhängigkeit von der Bodentemperatur



(nach Amberger u. Vilsmeier, 1984; zitiert in Sturm, 1994, verändert)

1.4. Stickstoff-Verluste

Denitrifikation

Als Denitrifikation bezeichnet man die Reduzierung von Nitrat zu Distickstoffoxid und gasförmigem Stickstoff. Damit wird fixierter Stickstoff wieder in die Atmosphäre zurückgeführt. Die Denitrifikation findet hauptsächlich in stark durchnässten Böden und bei hohen Nitratgehalten im Boden statt. Durchschnittlich können dem Boden ca. 30 kg N/ha und Jahr durch Denitrifikation verloren gehen.

Einflussfaktoren auf die Denitrifikation:

- Gülleausbringung
- Bodenbearbeitung
- Mineralische Düngung

Gegenmaßnahmen:

- Verlustarme Ausbringung von Gülle (Schleppschlauch, Güllegrubber)
- Verhindern von Bodenverdichtungen,
- bedarfsgerechte Düngung der Kulturen mit effizienten, schnell wirkenden N-Düngern

NH_3-Verluste

Die Entstehung von Ammoniak (NH_3) ist die Voraussetzung für NH_3-Verluste.

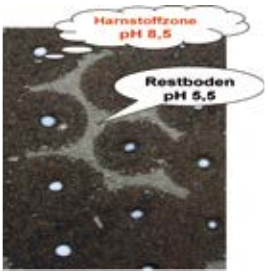
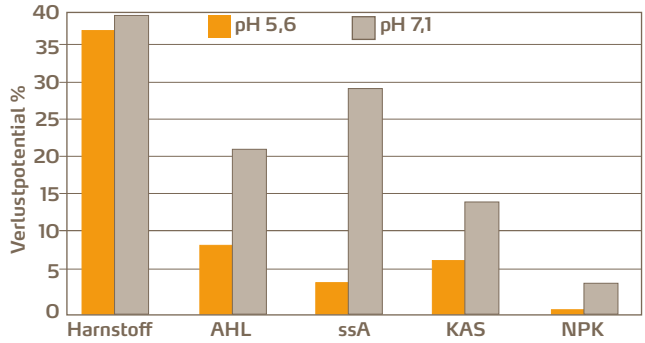


Abb. 6: Der Indikator im Boden zeigt die pH-Wert-Anhebung in direkter Umgebung des Harnstoffkorns. Dieser Vorgang hat keine Auswirkung auf den pH-Wert des gesamten Bodens.

Folgende Bedingungen fördern Ammoniakverluste nach AHL-und Harnstoffdüngung:

- Trockenheit (NH_4 ist nur in feuchtem Milieu stabil)
- Hohe Temperaturen —> fördert Austrocknung
- Starke Sonneneinstrahlung auf feuchte und dunkle Boden führt zu hohen bodennahen Temperaturen
- Wind —> fördert Austrocknung und Gasaustausch im Bestand
- Fehlende Einarbeitung (in Beständen nicht möglich!)
- Geringe Kationenaustauschkapazität (leichte Böden) —> führt dazu, dass größerer Anteil an NH_4 ungebunden bleibt
- Hohe pH-Werte (> pH 7, hohe Basenkonzentration führt zur Abgabe von einem Proton (H^+): $NH_4^+ + OH^-$ (Base) wird zu NH_3 —> $+H_2O$

Abb. 7: NH_3-Verlustpotenzial (%) verschiedener N-Dünger



(ø 3 Jahre, Gefäßversuch im Windkanal, oberflächige Düngung ohne Einarbeitung, nach Gutser, 1991)

Die N-Verluste als Ammoniak aus Harnstoff liegen in der Praxis bei ca. 15 %, bei KAS bei < 2 % (jeweils im Bestand).

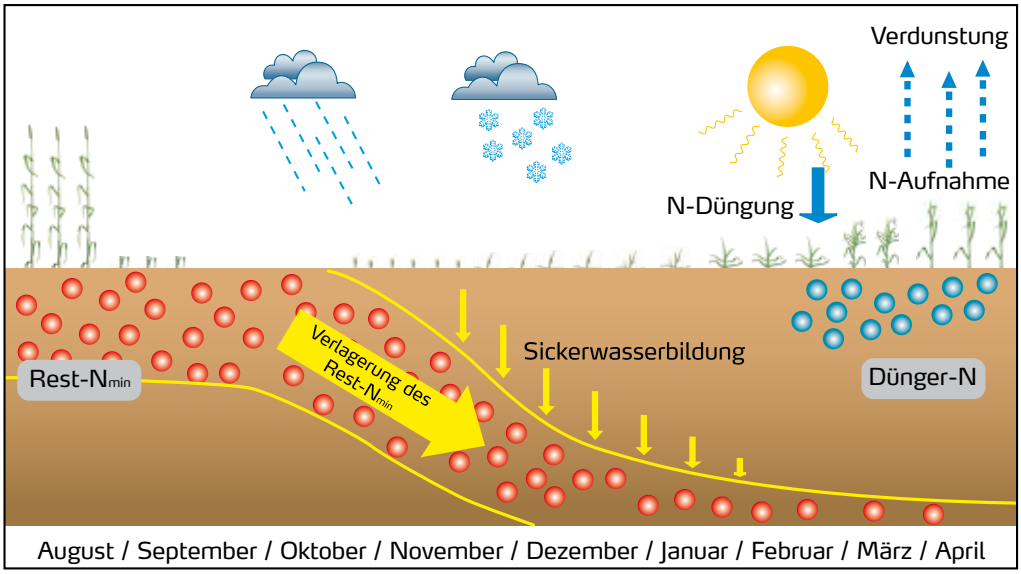
Stickstoff-Verlagerung

Die Verlagerung von Nitrat im Boden wird häufig mit der Verwendung von Stickstoffdüngern in Verbindung gebracht. Generell ist die Nitratverlagerung ein natürlicher Vorgang, der auch auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen stattfindet. Eine überhöhte und/oder zeitlich nicht an den Bedarf der Kulturpflanzen angepasste Stickstoffdüngung erhöht allerdings das Risiko von unerwünschten Nitratausträgen. Eine N-Düngung, die sich am ökonomischen Optimum orientiert, stellt dagegen kaum ein Risiko für erhöhte Nitratausträge dar. Erst bei einer Düngung über das Optimum hinaus steigen der N_{min}-Restgehalt im Boden und damit die Gefahr der Auswaschung von Nitrat in der vegetationslosen Zeit.

Eine Auswaschung aus dem Wurzelraum während der Vegetationszeit im Frühjahr und Sommer tritt demgegenüber nur unter außergewöhnlichen Bedingungen auf, wie z.B. auf

flachgründigen, sehr sandigen Böden in Verbindung mit Extremniederschlägen. Die nachfolgende Abbildung stellt die N-Verlagerung schematisch dar.

Abb. 8: Stickstoffverlagerung



1.5. Ökonomische Stickstoffdüngung

Ziele:

- Tatsächlichen Düngebedarf möglichst genau abschätzen (Abbildung 9)
- Bedarfsgerechte N-Gaben zu den entscheidenden Entwicklungsstadien
- Ertrag und Qualität optimieren (Standort, Witterung)

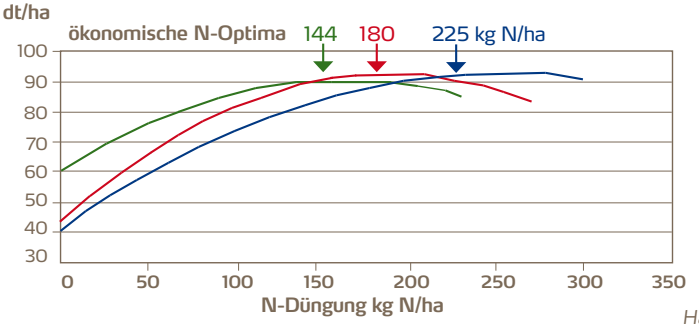
Wie werden diese erreicht:

- N-Gabenteilung (3–4 Gaben im Getreide; 2–3 im Winterraps) —> Betonung auf bestimmte Entwicklungsstadien
- Festlegung der auszubringenden N-Menge kurz vor der Düngemaßnahme
- Schnellwirkende N-Dünger verwenden, um zügige und verlustarme Pflanzenversorgung zu gewährleisten

Düngebedarf ergibt sich aus (Abbildung 10):

- N-Aufnahme der Pflanzen während der Vegetationszeit
- abzüglich des N-Nachlieferungsvermögens der Böden
- schwankt in Höhe und Ausbringungszeitpunkt von Jahr zu Jahr in Abhängigkeit von den Wachstumsbedingungen (Niederschläge, Temperatur) und dem N-Angebot der Böden (Vorfrucht, organische Düngung).

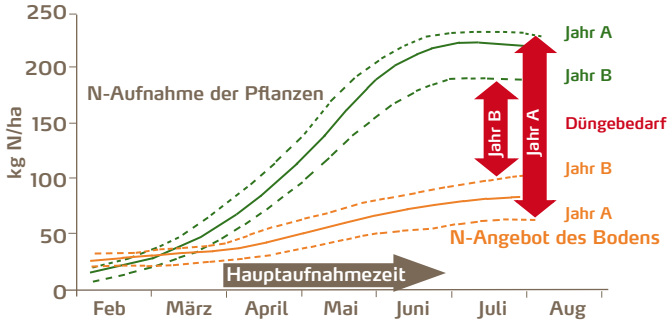
Abb. 9: Ertragskurven aus N-Steigerungsversuchen mit Winterweizen



Hanninghof 2001

Zur Erreichung des gleichen Ertrags können auf verschiedenen Standorten unterschiedliche N-Mengen nötig sein. Es besteht keine Beziehung zwischen Ertrag und optimaler N-Düngermenge.

Abb. 10: Verschieden hoher N-Düngebedarf bei unterschiedlicher N-Aufnahme der Pflanzen und unterschiedlichem N-Angebot des Bodens



Technische Möglichkeiten, um die ökonomische N-Düngung praxisgerecht durchzuführen sind der...

...N-Tester:

- Optisches Messverfahren: misst die Schwächung eines Lichtimpulses bei verschiedenen Wellenlängen nach der Durchstrahlung von Blättern
- Messung von 30 repräsentativen Pflanzen am jüngsten vollentwickelten Blatt
- Messwert gibt den Chlorophyllgehalt der Blätter und damit den N-Ernährungszustand wieder
- Unterschiedliche natürliche Färbung der Sorten wird durch einen Korrekturwert berücksichtigt
- Andere Mangelsymptome müssen ausgeschlossen werden (z.B. Schwefel- oder Magnesiummangel)

- Ergebnis wird direkt nach der Messung ausgegeben
  Ähnliche Ansätze: Nitracheck und RQeasy (Schnellanalyse des Pflanzensafts)

...N-Sensor:

- Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung
- Ernährungszustand eines Bestandes variiert über die Schlagfläche, d.h. schwankender N-Düngebedarf auf einem Schlag
- Ermittelt über Chlorophyll- und Biomassemessungen den aktuellen Ernährungszustand der Pflanzen teilflächenspezifisch und zeigt gut und schlecht versorgte Teilbereiche auf
- Steuerung des Düngerstreuers online

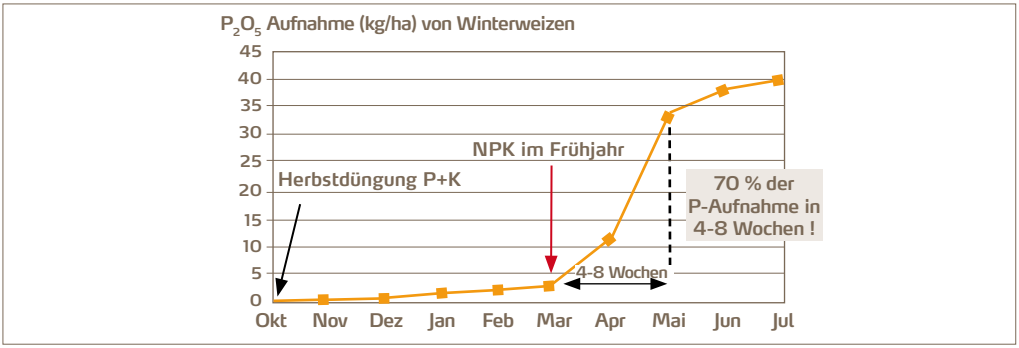
Eine weitere einfache Möglichkeit, die N-Versorgung eines Bestandes zu beobachten ist das **Düngefenster:**

- Unterdüngungszone (ca. 50 % der ausgebrachten Düngermenge) erstellen
- Düngefenster sollte ausreichend groß sein (min. 5x5 m), d.h. Hellen die Pflanzen im Düngefenster auf, so ist für den Restbestand noch ausreichend N vorhanden, sollte aber zeitnah nachgedüngt werden

2. Phosphat

2.1. Phosphat-Bedarf der Kulturen

Abb. 11: Aufnahmezeitraum für Phosphat, Winterweizen



Entzugs- und Bedarfsberechnung einer Beispielfruchtfolge:

Winterraps (40 dt/ha), Winterweizen (80 dt/ha), Wintergerste (70 dt/ha)
P_2O_5–Entzug durch Abfuhr der Ernteprodukte (Stroh bleibt auf der Fläche):

	40 dt/ha x 1,8 kg/dt	=	**72 kg/ha**	(Winterraps)
+	80 dt/ha x 0,8 kg/dt	=	**64 kg/ha**	(Winterweizen)
+	70 dt/ha x 0,8 kg/dt	=	**56 kg/ha**	(Wintergerste)
			192 kg/ha	

—> Entzug durch Abfuhr der Ernteprodukte
(= Düngebedarf zum Erhalt der Gehaltsklasse C)

P_2O_5–Bedarf der Kulturpflanze zur Bildung des Ertrags:

	40 dt/ha x 2,48 kg/dt	=	**99 kg/ha**	(Winterraps)
+	80 dt/ha x 1,04 kg/dt	=	**83 kg/ha**	(Winterweizen)
+	70 dt/ha x 1,01 kg/dt	=	**71 kg/ha**	(Wintergerste)
			253 kg/ha	

—> Gesamtbedarf (Korn, Stroh und Erntereste)

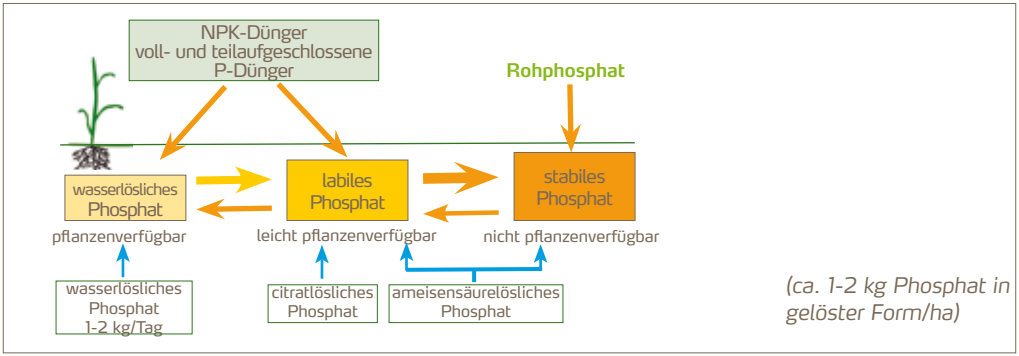
Die Werte für diese Berechnung sind unter 10.9, Seite 43/44 zu finden.

Phosphatmangel:

- Vermindertes Wurzelwachstum
- Geringe Bestockung
- Rötlichen Blattfärbung —> Chlorophyllanreicherung, erhöhter Anthocyangehalt
- Kümmerwuchs und schlechte Gesamtentwicklung
- Stärkeeinlagerung ins Korn wird gehemmt

2.2. Phosphat im Boden und Aufnahme durch die Pflanzen

Abb. 12: Versorgung der Pflanzen erfolgt aus dem in der Bodenlösung gelösten, mobilen Phosphat



(ca. 1-2 kg Phosphat in gelöster Form/ha)

Phosphat liegt im Boden vor als...

- Wasserlösliche, labile und stabile Phosphatformen
- Labil an Austauscher gebundenes Phosphat
- In Eisen- und Aluminiumkomplexen gebundenes Phosphat
- Austausch erfolgt je nach Bodenfeuchte und Wärme des labilen Phosphates hin zum wasserlöslichen Phosphat
- Häufig im zeitigen Frühjahr ein Mangel an wasserlöslichem Phosphat
- Jährliche Auswaschungsverluste bei 4 bis max. 10 kg P_2O_5 /ha.

Tab. 3: Gehaltsklassen und Versorgungsstufen für Phosphat in Acker- und Grünland, CAL-Methode, (n. LK NRW)

Gehaltsklasse	mg P_2O_5/100 g Boden Bodenart für Acker und Grünland	
	S,lS, sU, ssL, lU, sL, uL, L	utL, tL, T, flachgründiger Sand
A (sehr niedrig)	bis 3	bis 5
B (niedrig)	4-9	6-13
C (anzustreben)	10-18	14-24
D (hoch)	19-32	25-38
E (sehr hoch)	ab 33	ab 39

(Quelle: LAD Informationen zur Düngung, Ausgabe NRW 2009)

Tipps zur Phosphatdüngung:

- Direkte Düngewirkung nur durch eine Erhöhung der P-Konzentration in der Bodenlösung im Wurzelbereich
- Phosphat unterliegt im Boden der Alterung, d.h. gedüngtes Phosphat wird im Boden schnell adsorbiert, steht den Pflanzen nur eingeschränkt zur Verfügung
- Phosphatdüngung sollte möglichst zeitnah zum Bedarf der Pflanze ausgebracht werden
- Oberflächig ausgebrachtes Phosphat dringt bis zu 5 cm in den Boden ein, somit gelangt es bei einer Frühjahrsdüngung direkt an die Pflanzenwurzel

3. Kalium

3.1. Kalium-Bedarf der Kulturen

Entzugs- und Bedarfsberechnung einer Beispielfruchtfolge:
Winterraps (40 dt/ha), Winterweizen (80 dt/ha), Wintergerste (70 dt/ha):

K_2O–Entzug Abfuhr der Ernteprodukte (Stroh bleibt auf der Fläche):

	40 dt/ha x 1,0 kg/dt =	**40 kg/ha**	(Winterraps)
+	80 dt/ha x 0,6 kg/dt =	**48 kg/ha**	(Winterweizen)
+	70 dt/ha x 0,6 kg/dt =	**42 kg/ha**	(Wintergerste)
		130 kg/ha	

Entzug durch Abfuhr der Ernteprodukte, (= Düngebedarf zum Erhalt der Gehaltsklasse C)

K_2O–Bedarf der Kulturpflanze zur Bildung des Ertrags:

	40 dt/ha x 5,25 kg/dt =	**210 kg/ha**	(Winterraps)
+	80 dt/ha x 1,72 kg/dt =	**138 kg/ha**	(Winterweizen)
+	70 dt/ha x 1,79 kg/dt =	**125 kg/ha**	(Wintergerste)
		473 kg/ha	

» Gesamtbedarf (Korn, Stroh und Erntereste)

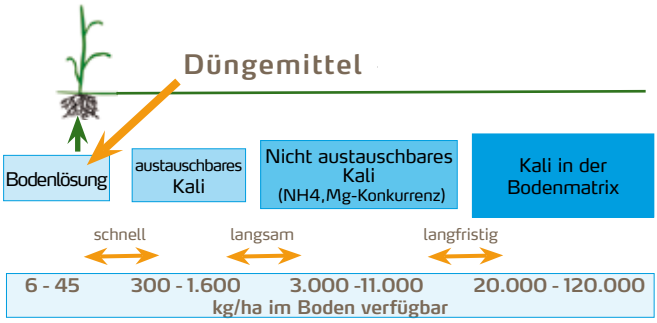
Die Werte für diese Berechnung sind unter 10.9, Seite 43/44 zu finden.

Kaliummangel:

- „Welketracht“ —> gestörte Wasserversorgung
- Blattrandnekrosen bei älteren Blättern —> verringerter Assimilattransport
- Lagerneigung bei Getreide —> verringerter Assimilattransport
- Erhöhter Krankheitsanfälligkeit und verminderter Lagerstabilität —> verringerter Assimilattransport

3.2. Kalium im Boden und Aufnahme durch die Pflanze

Abb. 13: Kalidynamik im Boden



Quelle: Gransee, K+S AG

- Gehalt an Kalium im Boden ist abhängig von der Bodenart
- Nur bei ausreichendem Bodenvorrat (C) ist eine ausreichende Kaliumkonzentration in der Bodenlösung möglich
- Fixierung von Kalium an Tonminerale auf schweren Standorten möglich
- Auf leichten Böden erhöhte Auswaschung von Kalium (Auswaschung bis zu 50 kg K_2O/Jahr).

Tab. 4: Gehaltsklassen und Versorgungsstufen für Kali in Acker- und Grünland, CAL-Methode (n. LK NRW)

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

(Quelle: LAD Informationen zur Düngung, Ausgabe NRW 2009)

Tipps zur Kaliumdüngung

- in Abhängigkeit von Bodenart, Kultur und Ertragserwartung sollte der Bedarf an Kalium standortgerecht ermittelt werden (schlagbezogene Düngeplanung)
- Berücksichtigung der Nachlieferung aus der Vorfrucht (z.B. Maisstroh)
- Empfindlichkeiten von z.B. Kartoffeln gegenüber chloridhaltigen Kalidüngern, hier sollten Kaliumsulfate eingesetzt werden

4. Magnesium

4.1. Magnesium-Bedarf der Kulturen

Aufgaben in der Pflanze:

- Zentraler Baustein des Chlorophylls —> 10-30 % des Magnesiums in der Pflanze sind im Chlorophyll gebunden. Mg ist somit unentbehrlich für die Fotosynthese
- Trägt zur Bildung von Eiweiß-, Kohlenhydraten und Vitaminen bei —> wichtiger Baustein bei Stoffwechselvorgängen

Magnesiummangel:

- Vermindert im Getreide die Kornzahl pro Ähre
- Verringert die Kohlenhydratproduktion
- Streifenchlorosen/perlschnurartige Aufhellungen an den Blättern

4.2. Magnesium im Boden und Aufnahme durch die Pflanze

- Höherer Magnesiumanteil auf tonreichen Standorten (z.B. Marschböden) im Gegensatz zu leichten Sandböden
- Sandböden sind häufig von Magnesiumverlagerung betroffen
- Pflanze nimmt Magnesium überwiegend passiv als Mg^{2+} auf
- Magnesium wirkt neutralisierend (1,4 fach als CaO)

Tab. 5: Gehaltsklassen und Versorgungsstufen für Magnesium in Acker- und Grünland, $CaCl_2$-Methode (n. LK NRW)

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

(Quelle: LAD Informationen zur Düngung, Ausgabe NRW 2009)

Tipps zur Magnesiumdüngung:

- Magnesiumsulfat ist wasserlöslich (für die Pflanze schnell verfügbar)
- Mg-Formen wie Carbonate, Oxide, und Silikate können erst nach Umwandlung von der Pflanze direkt aufgenommen werden
- Ausbringung in Form von Mg-haltigen Kalken mit der Aufkalkung möglich
- Auf stark magnesiumbedürftigen Böden möglichst Einsatz von Magnesiumsulfat zur schnellen Versorgung (Frühjahrsdüngung)
- Ionenantagonismus zwischen NH^+_4, K^+-Ionen und Mg^{2+}-Ionen, daher können hohe Gaben Kalium und Ammonium-N die Mg-Aufnahme hemmen; Nitrat-Ionen hingegen wirken sich positiv auf die Magnesiumaufnahme aus (K:Mg-Verhältnis von > 3:1 optimal)

5. Schwefel

5.1. Schwefel-Bedarf der Kulturen

Tab. 6: Empfohlene Schwefeldüngemenge nach LAD und VDLUFA

Kultur	Düngemenge kg S/ha	Düngezeitpunkt
Getreide	10-20	Vegetationsbeginn bis 1 Knotenstadium
Zuckerrübe	10-20	Zur Saat bis 8-Blattstadium
Kartoffel	10-20	Zur Pflanzung bis v. d.letzten Häufeln
Mais	10-20	Zur Saat bis 6-Blattstadium
Winterraps	20-40	Vegetationsbeginn
Grünland	20-40	Zum 1. und 2. Schnitt

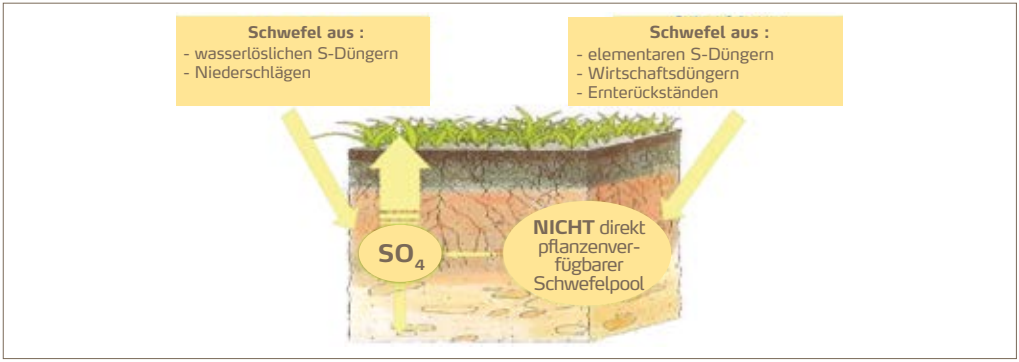
Schwefelmangel:

- Aufhellung der jüngsten Blätter durch verminderte Bildung von Chloroplasten/ Chlorophyll, Schwefel wird in der Pflanze kaum verlagert (im Gegensatz zu N)
- Kümmerwuchs durch verminderte Stoffwechseltätigkeit und gestörte Eiweißsynthese

5.2. Schwefel im Boden und Aufnahme durch die Pflanzen

Schwefel kann die Pflanze nur als Sulfat (SO_4^{2-}) aufnehmen. Die Aufnahme erfolgt ausschließlich über die Wurzel.

Abb. 14: Schwefelformen im Boden



Tipps zur Schwefeldüngung:

- im Frühjahr: Herbstdüngung führt zu Auswaschung von Schwefel
- Als Sulfat: alle Sulfatformen bieten eine schnelle Wirkung; elementarer und organisch gebundener Schwefel muss erst umgebaut und mineralisiert werden (langsame Wirkung)
- zur 1.Gabe: Sulfat-Aufnahme läuft parallel zur N-Aufnahme, höchste Ertragswirkung bei früher S-Düngung
- Überdüngung mit S vermeiden: zuviel gedüngter S versauert den Boden

6. Mikronährstoffe

Mikronährstoffe sind für Organismen lebensnotwendige Mineralstoffe, die für ein optimales Wachstum jedoch in vergleichsweise geringen Mengen aufgenommen werden müssen. Für Pflanzen sind dies Mangan (Mn), Zink (Zn), Bor (B), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo) und Eisen (Fe).

Bei regelmäßiger organischer Düngung liegen die meisten Mikronährstoffe in ausreichender Menge vor. Bei viehloser Bewirtschaftung und für Höchsterträge und damit steigendem Bedarf an Mikronährstoffen wächst auch die Bedeutung dieser Nährstoffe in der Düngung. Im Folgenden werden die Mikronährstoffe und ihre Funktionsweise in der Pflanze vorgestellt.

6.1. Mangan

Aufgaben in der Pflanze:

Mangan ist nicht direkt als Baustein in der Biomasse der Pflanze zu finden, nimmt jedoch als Aktivator und Bestandteil von Enzymen im Stoffwechsel der Pflanze eine Schlüsselposition ein. Mangan erfüllt wichtige physiologische Funktionen bei:

- Photosynthese
- Schutz der Zellen vor freien Radikalen
- Synthese sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe und von Lignin

Manganmangel-Symptome:

- Grau-braune Streifen vor allem zwischen den Blattadern
- Wurzelwachstum gehemmt
- Verminderte Resistenz gegen Krankheiten

Mangan im Boden:

Der pH-Wert und der Sauerstoffgehalt des Bodens sind entscheidende Parameter, die die Manganverfügbarkeit bestimmen. Unter reduzierenden Bedingungen (Sauerstoffmangel) steigt die Verfügbarkeit stark an (z. B. in Bereichen starker Bodenverdichtung). Bei manganarmen Ausgangsgesteinen (Sandböden, Hochmoorböden, Granitverwitterung) liegt ein oft absoluter Mangel vor. Meistens tritt jedoch der sogenannte induzierte (ausgelöste) Mangel auf, der aus einer eingeschränkten Verfügbarkeit des Mangans im Boden resultiert.

Mangandüngung:

- Blattdüngung ist zu bevorzugen (0,2 – 2 kg Mn/ha)
- Bei Mangel im Herbst Herbstdüngung durchführen (bessere Winterfestigkeit)

6.2 Zink

Aufgaben in der Pflanze:

Zink ist vor allem an enzymatischen Reaktionen und an der Bildung von Wuchsstoffen beteiligt:

- Proteinsynthese
- Auxinhaushalt
- Schutz vor freien Radikalen

Zinkmangel-Symptome:

- Wachstumsanomalien (wie Zwergwuchs, Kleinblättrigkeit, Verkürzung der Internodien)
- Hemmung der Proteinsynthese
- Aufhellung der Blätter zwischen den Blattadern (Intercostalchlorose)
- Niedrige Zn-Gehalte in der Pflanze begünstigen Pilz- und Viruskrankheiten

Zink im Boden:

Niedrige Zinkgehalte im Boden sind auf unseren Standorten in der Regel nur in Sandböden zu finden. Die Verfügbarkeit von Zink für die Pflanzen aus dem Boden wird entscheidend durch den pH-Wert beeinflusst. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Verfügbarkeit ab. Aber auch durch eine hohe Phosphat-Düngung kann die Aufnahme von Zink aus dem Boden verringert sein.

Zinkdüngung:

- Bei geringen Bodengehalten kann auch Bodendüngung erfolgen
- Blattdüngung ist häufig effektiver und direkt pflanzenverfügbar
- Blattapplikation wird in einer Menge von 0,3 – 0,5 kg Zn/ha empfohlen

6.3 Bor

Aufgaben in der Pflanze:

Bor ist der einzige Mikronährstoff, der nicht nur an enzymatischen Reaktionen in der Pflanze beteiligt ist, sondern auch einen Baustein der Pflanze darstellt. Bor ist insbesondere wichtig für:

- Wurzelwachstum
- Nährstofftransport in der Pflanze
- Pollenschlauchwachstum

Der Borbedarf von Getreide ist deutlich geringer als der von Raps oder Rüben. Unter den Getreidearten hat Mais den höchsten Borbedarf.

Bormangel-Symptome:

- Gestauchtes Wachstum zwischen den Vegetationsknoten (Internodien)
- Geringere Kornzahl/Schote (Raps)
- Absterben des Vegetationskegels bei Zuckerrüben (Herz- und Trockenfäule).

Bor im Boden:

Da Bor mit dem Transpirationsstrom von den Pflanzen aufgenommen wird, ist die Aufnahmerate bei Trockenheit eingeschränkt. Bei hohen pH-Werten im Boden ist Bor schlecht verfügbar.

Bordüngung:

- Blattdünger sind zu bevorzugen, da die Versorgung aus dem Boden häufig eingeschränkt ist
- Düngung von ca. 50 g B/ha (Getreide), ca. 600 g B/ha (Raps), 0,6-1,0 kg B/ha (Zuckerrüben)
- Bor- Vorratsdüngung über den Boden ist nicht sinnvoll (Bortoxizität)

6.4 Kupfer

Aufgaben in der Pflanze:

Kupfer ist insbesondere wichtig für:

- Photosynthese und Zellatmung
- Schutz vor freien Radikalen
- Ligninsynthese
- Fertilität der Pollen

Kupfermangel-Symptome:

- Weiches Gewebe
- Unzureichende Standfestigkeit der Bestände
- Höhere Anfälligkeit gegenüber Schädlingen und Krankheiten
- Pollensterilität/taube Ähren
- Aufhellen der Blätter von den Rändern und Spitzen her
- Einrollen des jüngsten Blattes (Getreide)

Kupfer im Boden:

Kupfermangel ist vor allem beim Hafer schon lange unter dem Namen „Heidemoorkrankheit“ bekannt. Das liegt daran, dass vor allem organische Böden wie z.B. Moorböden nicht ausreichend mit Kupfer versorgt sind.

Hohe Boden pH-Werte und Düngung großer Mengen organischer Substanz bzw. hohe Humusgehalte führen dazu, dass im Boden vorhandenes Kupfer nicht von der Pflanze aufgenommen werden kann.

Kupferdüngung:

- Bei geringen Bodengehalten kann Kupfer über den Boden gedüngt werden
- Blattdüngung (0,1 – 0,4 kg/ha Kupfer) ist häufig deutlich effektiver und direkt pflanzenverfügbar.

6.5 Molybdän

Aufgaben in der Pflanze:

Molybdän ist ein Bestandteil von Enzymen. Wichtige molybdänhaltige Enzyme von Nutzpflanzen sind die

- Nitratreduktase (Reduktion des Nitrat zur Bildung von Proteinen)
- Nitrogenase (bei Pflanzen mit biologischer N_2-Fixierung durch Knöllchenbakterien)

Molybdänmangel-Symptome:

- Chlorotischen Aufhellungen, ähnlich dem N-Mangel, meist zuerst an den älteren Pflanzenteilen
- An den jungen Pflanzenteilen zuerst auftretende Blattdeformationen

Molybdän im Boden :

Molybdänmangel kommt häufig bei einem niedrigen pH-Wert des Bodens vor. Außerdem begünstigen hohe Bodengehalte an Eisenoxiden (z. B. auf Podsolen und Böden mit Raseneisenstein) den Mangel an Molybdän.

Molybdän-Düngung:

- Kann über Boden und Blatt erfolgen
- Wesentliche Molydänmengen sind in Wirtschaftsdüngern enthalten
- Blattdüngung: max. 100 g Mo/ha

6.5 Eisen

Einen hohen Eisenbedarf haben Sonderkulturen wie Obstgehölze und Weinreben.

Aufgaben in der Pflanze:

- Aktivator von Enzymen
- Funktion bei Samen- und Keimbildung
- Beteiligung an Photosynthese

Eisenmangel-Symptome:

- Streifenchlorosen

Eisen im Boden:

Der Eisengehalt in Mineralböden übersteigt in der Regel den Pflanzenbedarf. Eine eingeschränkte Fe-Verfügbarkeit kann auf Kalkböden und bei Staunässe auftreten.

Eisendüngung:

- Bei Eisenmangel wird eine Blattdüngung von 0,5-1,5 kg Fe/ha empfohlen

Tab. 7: Düngeempfehlung, Mangelsymptome bei Mikronährstoffen (Getreide)

B	Entzüge Mangelsymptone Düngeempfehlung	0,7 g/dt Korn + 0,4 g/dt Stroh Halmverkürzung, keine Spitzenblätter, Taubährigkeit Boden: 0,5-2 kg B/ha Blatt: 0,2-0,5 kg B/ha
Cu	Entzüge Mangelsymptone Düngeempfehlung	0,5-0,6 g/dt Korn + 0,5 g/dt Stroh Chlorosen, Weißährigkeit (Urbarmachungskrankheit), Nekrosen (Spitzendürre), Blattrollen, Lager, Hafer besonders empfindlich Boden: 2-5 kg Cu/ha Blatt: 0,3-1 kg Cu/ha
Fe	Entzüge Mangelsymptone Düngeempfehlung	5-6 g/dt Korn + 3 g/dt Stroh Chlorosen an jüngeren Blättern Boden: schwierig (Fixierung) Blatt: 0,5-1,5 kg Fe/ha
Mn	Entzüge Mangelsymptone Düngeempfehlung	2-4 g/dt Korn + 3 g/dt Stroh graugrüne Flecken an mittleren Blättern, Interkostalchlorosen, Abknicken der Blätter, Dörrfleckenkrankheit, Hafer besonders empfindlich Boden: 10-20 kg Mn/ha Blatt: 0,5-4 kg Mn/ha (ggf. mehrere Teilgaben)
Mo	Entzüge Mangelsymptone Düngeempfehlung	0,05 g/dt Korn + 0,03 g/dt Stroh Blattdeformationen, Nekrosen und Chlorosen an den Blättern Blatt: 0,1 kg Mo/ha
Zn	Entzüge Mangelsymptone Düngeempfehlung	3-4 g/dt Korn + 4 g/dt Stroh Kleinblättrigkeit, Interkostalchlorosen, Nekrosen an älteren Pflanzenteilen, Rotfärbung an Stängel und Blättern, Rosettenbildung Boden: 2-10 kg Zn/ha Blatt: 0,3-0,5 kg Zn/ha

Getreidekulturen (Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer): Entzüge, Düngeempfehlung und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer, Entzüge nach v. Fischer 1995). Quelle: BAD „Mikronährstoffe", 2007

Tab. 8: Einfluss von Standortfaktoren auf die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen

Standorteigenschaften	Bor	Kupfer	Mangan	Zink
pH > 7	- - -	- - -	- - -	- - -
pH < 5,5	+	+	+	+
Staunässe		+	+	+
hoher Humusgehalt	+ +	- -	- -	+ +
Trockenheit	- - -	- - -	- - -	- -
Bodenverdichtung			+ +	
hoher P-Gehalt				-

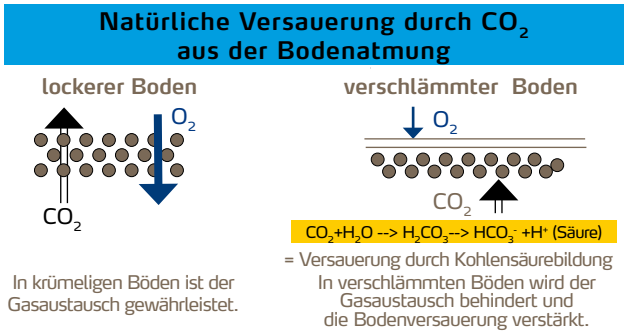
+ = verfügbar + + = gut verfügbar + + + = sehr gut verfügbar
- = Mangel - - = starker Mangel - - - = sehr starker Mangel

7. Kalk und Boden-pH

7.1. Warum kalken ?

In unserem humiden Klimabereich unterliegen die landwirtschaftlich genutzten Böden der natürlichen Versauerung. Aus der für die Humusbildung unentbehrlichen Zersetzung der organischen Substanz werden in intensiv genutzten Ackerböden je Hektar und Jahr ca. 20 t CO_2 gebildet. In Böden mit geringem Luftporenvolumen und bei periodischer Übernässung verbindet sich ein Teil des CO_2 mit dem Bodenwasser zu Kohlensäure (Abbildung 15).

Abb. 15: Natürliche Versauerung des Bodens



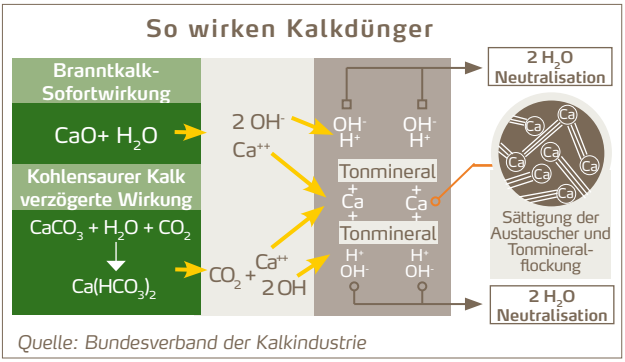
Quelle: Bundesverband der Kalkindustrie

Weitere Versauerungsfaktoren sind H^+-Ionenausscheidungen der Pflanzenwurzeln, ammonium- und schwefelhaltige Dünger und der saure Regen. In allen carbonatfreien Böden kommt es dadurch zur Versauerung und pH-Wert-Absenkung. Die damit verbundenen Kalkverluste in Höhe von 300 bis 500 kg CaO je Hektar und Jahr müssen über die Erhaltungskalkung ausgeglichen werden.

7.2. Wie wirken Kalkdünger?

Kalkdünger haben die Aufgabe, Säure zu neutralisieren und den pH-Wert anzuheben. Außerdem liefern Sie die zweiwertigen Kationen Ca^{2+} und Mg^{2+}, die von der Pflanze als Nährstoff aufgenommen werden und im Boden zur Absättigung und Flockung der Tonminerale führen (Abbildung 16). Branntkalk reagiert mit dem Bodenwasser und bildet sofort Ca^{2+}- und OH^--Ionen. Kohlensaurer Kalk reagiert je nach Mahlfeinheit und Reaktivität unterschiedlich schnell mit Wasser und CO_2 zu Calciumhydrogencarbonat. In beiden Fällen entstehen OH^--Ionen, die sofort H^+-Ionen binden und den pH-Wert im Boden anheben. Die Calcium-Ionen sättigen die Austauscher und verbinden als zweiwertige Kationen die Tonminerale und bilden Ton-Humus-Komplexe.

Abb. 16: Flockende Wirkung von Kalkdüngern

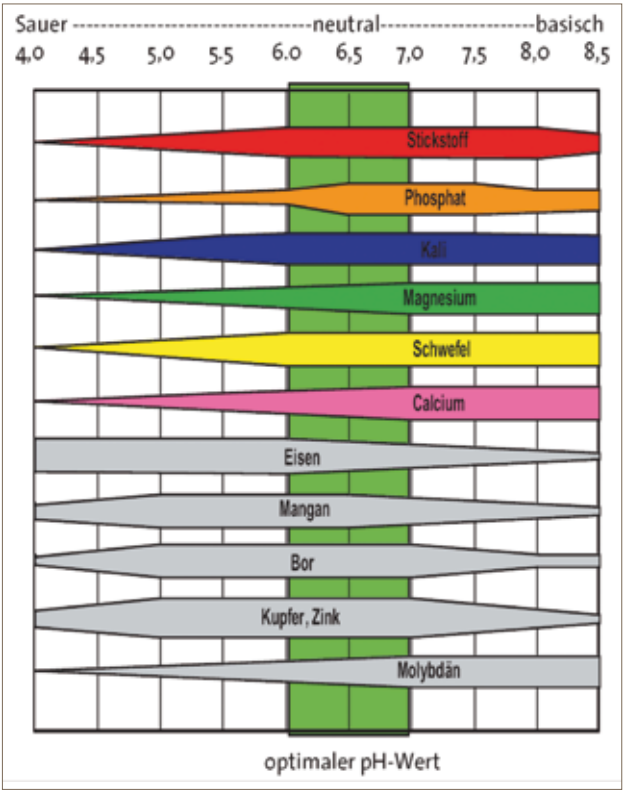


Quelle: Bundesverband der Kalkindustrie

7.3. pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit

Der pH-Wert ist Maßstab für den Säuregrad des Bodens. Er ist logarithmisch, d.h. fällt der pH-Wert um eine pH-Stufe, so steigt die Säurekonzentration auf das Zehnfache; fällt der pH-Wert um zwei Stufen, so steigt sie um das Hundertfache an. Zwischen Bodenreaktion (pH-Wert) und Nährstoffverfügbarkeit besteht ein enger Zusammenhang (Abbildung 17). Der optimale Boden pH-Wert liegt zwischen 6 und 7 bei Ackerland und 5,5 und 6,5 bei Grünland (s. auch Abbildung 18).

Abb. 17: pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit



7.4. Bodenart und optimaler pH-Wert

Abb. 18: Kalkdüngungsempfehlung zur Aufdüngung bzw. Erhaltungskalkung von Ackerland bei verschiedenen Bodenarten auf 4 Jahre bezogen

pH-Wert	Humusgehalt < 4,0 %					Humusgehalt 4,1 % bis 8,0 %					Humusgehalt 8,0 % bis 15,0 %				
	Bodenart														
	S	SI	SL	L	IT	S	SI	SL	L	IT	S	SI	SL	L	IT
		IS	sL		T		IS	sL		T		IS	sL		T
	Kalkmenge in dt CaO/ha														
3,3	45	77	87	117	160	50	82	89	115	137	50	83	90	109	121
3,4	45	77	87	117	160	50	82	89	115	137	50	78	90	109	121
3,5	45	77	87	117	160	50	82	89	115	137	47	74	90	109	121
3,6	45	77	87	117	160	50	82	89	115	137	43	69	90	109	121
3,7	45	77	87	117	160	50	82	89	115	137	39	64	90	109	121
3,8	45	77	87	117	160	46	78	89	115	137	35	60	90	109	121
3,9	45	77	87	117	160	43	73	89	115	137	31	55	84	103	115
4,0	45	77	87	117	160	39	69	89	115	137	28	51	78	97	108
4,1	42	73	87	117	160	35	64	89	115	137	24	46	72	90	102
4,2	39	69	87	117	160	32	60	89	115	137	20	41	66	84	95
4,3	36	65	87	117	160	28	55	83	108	130	16	37	60	78	89
4,4	33	61	87	117	160	24	51	77	102	123	13	32	54	71	82
4,5	30	57	87	117	160	21	46	71	95	115	9	27	48	65	76
4,6	27	53	82	111	152	17	42	66	89	108	5	23	42	59	69
4,7	24	49	77	105	144	13	37	60	82	100	4	18	35	52	63
4,8	22	46	73	100	136	10	33	54	75	93	4	13	29	46	56
4,9	19	42	68	94	128	6	28	48	69	86	4	9	23	40	50
5,0	16	38	63	88	121	5	24	42	62	78	4	8	17	33	43
5,1	13	34	58	82	113	5	19	36	55	71	4	8	11	27	37
5,2	10	30	53	75	105	5	15	31	49	69	0	8	10	21	30
5,3	7	26	49	70	90	5	10	25	42	56	0	8	10	14	24
5,4	6	22	44	65	90	5	9	19	36	49	0	8	10	13	17
5,5	6	19	39	59	82	0	9	13	29	41	0	8	10	13	16
5,6	6	15	34	53	75	0	9	12	22	34	0	0	10	13	16
5,7	6	11	29	47	67	0	9	12	16	27	0	0	10	13	16
5,8	6	10	25	41	59	0	9	12	15	19	0	0	10	13	16
5,9	0	10	20	36	52	0	9	12	15	18	0	0	0	13	16
6,0	0	10	15	30	44	0	0	12	15	18	0	0	0	13	16
6,1	0	10	14	24	36	0	0	12	15	18	0	0	0	13	16
6,2	0	10	14	18	29	0	0	12	15	18	0	0	0	0	16
6,3	0	10	14	17	21	0	0	0	15	18	0	0	0	0	16
6,4	0	0	14	17	20	0	0	0	15	18	0	0	0	0	0
6,5	0	0	14	17	20	0	0	0	15	18	0	0	0	0	0
6,6	0	0	14	17	20	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0
6,7	0	0	14	17	20	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0
6,8	0	0	0	17	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,9	0	0	0	17	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,0	0	0	0	17	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,1	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,2	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

pH-Klassen A B C D E

Bodenart: S-Sand,SI-anlehmiger Sand, IS- lehmiger Sand, SL-stark lehmiger Sand, sL-sandiger Lehm, L-Lehm, IT-lehmiger Ton, T-Ton

Quelle: Bayerische Düngekalk und Werbe GmbH

7.5. Pufferkapazität des Bodens

Die Pufferkapazität ist ein Maß für das Vermögen eines Bodens, zugeführte Säuren bzw. Basen aufzufangen. Auch hier spielt die Zahl der Bindungsstellen und somit die Bodenart und der Humusgehalt eine entscheidende Rolle. Je mehr Bindungsstellen, desto besser kann der Boden puffern. Umgekehrt kann ein leichter Boden mit wenigen Bindungsstellen schlechter abpuffern. Daher sollte ein Sandboden auch nicht mit einem schnell wirkenden Branntkalk gedüngt werden, da die Reaktion im Boden-pH-Wert zu extrem wäre.

7.6. Wirkungsgeschwindigkeit von Kalken und Kalkformen

Branntkalk (Calciumoxid CaO) Magnesiumbranntkalk Mischkalke	Kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$) Kalkdünger aus der Verarbeitung von Zuckerrüben (früher: Carbokalk) Kohlensaurer Magnesiumkalk ($MgCO_3$)	Kieselsaure Kalke Hütten- und Konverterkalk (Ca- & Mg-Silikate)* * Rasche Umsetzung bei niederen Boden pH-Werten

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

Zum Preisvergleich der angebotenen Kalksorten sollten die Preise auf die gleiche Basis (entweder Reinnährstoffe CaO und MgO oder $CaCO_3$ und $MgCO_3$) umgerechnet werden anhand folgender Umrechnungsfaktoren:

$CaO \times 1{,}785 = CaCO_3$ $\quad\quad$ $CaCO_3 \times 0{,}56 = CaO$
$MgO \times 2{,}092 = MgCO_3$ $\quad\quad$ $MgCO_3 \times 0{,}478 = MgO$

Basische Wirksamkeit = $MgO \times 1{,}391 = CaO$ —> oder $MgCO_3 \times 1{,}187 = CaCO_3$[1]

[1] Hierbei wird berücksichtigt, dass die tatsächliche basische Wirksamkeit von Magnesiumcarbonat und Magnesiumoxid auf Grund des Molekulargewichtes höher ist als von Calciumcarbonat und Calciumoxid. Außerdem stellt Magnesium einen weiteren Hauptnährstoff dar und wird über magnesiumhaltige Düngekalke sehr preisgünstig angeboten.

Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG) bietet eine Zertifizierung für Düngekalke an. Produkte, die den Anforderungen entsprechen, erhalten das DLG-Qualitätssiegel für gütegesicherte Kalke.

8. Technik

8.1. Streufehler erkennen und bewerten

Der Streufehler wird in %-Abweichung von der gewünschten Ausbringmenge über die gesamte Arbeitsbreite angegeben:

- Bis 25%: keine erkennbaren Streifen
- 25–30 %: leichte streifenförmige Farbunterschiede erkennbar
- 30–50%: deutliche Farbunterschiede erkennbar

Folgen:

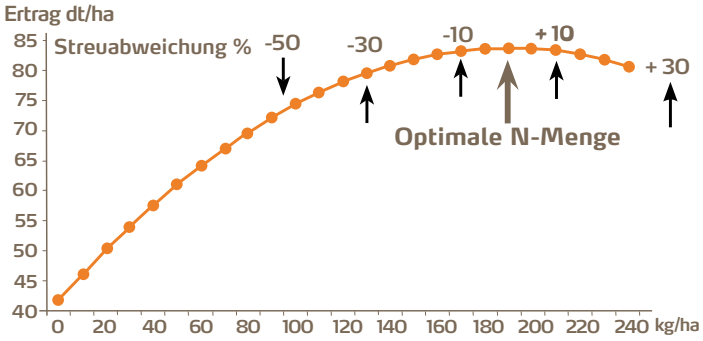
- Schwierige Bestandesführung
- Unterschiedliche Entwicklung des Bestandes
- Ernteerschwernis, vor allem bei Lager
- Negativer Einfluss auf Ertrag und Qualität

Ursachen:

- Falsche Maschineneinstellung (Anbauhöhe, Anbauwinkel, Schaufelstellung, Scheibendrehzahl)
- Abgenutzte Streuschaufeln
- Niedrige Qualität des gestreuten Produktes (hoher Staubanteil, niedrige Kornhärte, leichte Granulate)
- Zu hohe Windgeschwindigkeit beim Düngerstreuen[2]

[2] Durch Wind entstehen keine Streifen im Bestand, sondern fleckenförmige Unter- und Überdüngungszonen. Diese sind schwerer zu erkennen als streifenförmige Muster.

Abb. 19: Folgen für den Ertrag bei verschiedenen Streuabweichungen, K+S nitrogen



Grundlage: 28 Versuche, BASF Limburgerhof, 1986 - 1998

Tab. 9: Relative Ertragsverluste und Erlösverluste bei verschiedenen Ertragsniveaus und in Abhängigkeit vom Streufehler bei Winterweizen

Winterweizen	**Ertrags- und Erlösverluste bei einer Streuabweichung von…**				
Mindererlöse bei…	**…15 %**	**…30 %**		**…50 %**	
		ohne Lager	mit Lager	ohne Lager	mit Lager
Ertragsverlust rel.:	**0,6 %**	**2,3 %**	**22,4 %**	**6,3 %**	**31,3 %**
… 70 dt/ha	6 €/ha	24 €/ha	235 €/ha	66 €/ha	329 €/ha
… 80 dt/ha	7 €/ha	28 €/ha	269 €/ha	76 €/ha	376 €/ha
… 90 dt/ha	8 €/ha	31 €/ha	302 €/ha	85 €/ha	423 €/ha
… 100 dt/ha	9 €/ha	35 €/ha	336 €/ha	95 €/ha	470 €/ha

(Weizenpreis: 150 €/t)

8.2. Windeinfluss

Unterschiedlich schwere Granulate werden unterschiedlich beschleunigt, um eine bestimmte Arbeitsbreite zu erreichen. Dies schlägt sich in ihrem Flugverhalten und der damit verbundenen unterschiedlichen Windanfälligkeit nieder. Leichte Granulate unterliegen dem Windeinfluss stärker als schwere Granulate. Die Auswirkungen auf das Streubild zeigt Abbildung 20.

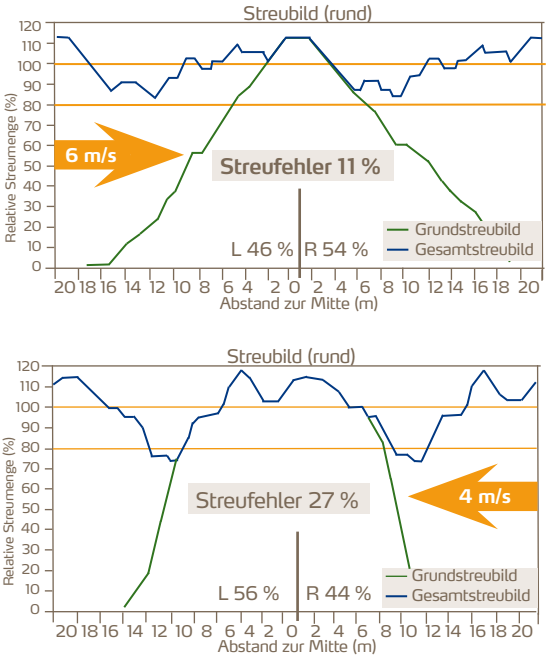
Es ist daher entscheidend für die Streuqualität, ob mit einem schweren Dünger (> 0,9 t/m³) oder einem leichten Dünger (< 0,9 t/m³) gearbeitet wird. Während bei einer mäßigen Brise (ca.6 m/s) mit einem KAS noch sehr gute Streubilder zu erzielen sind, ist bei einer schwachen Brise (ca.4 m/s) mit einem groben Harnstoff schon Schluss. Neben dem Gewicht der Granulate spielen Kornhärte (Belastbarkeit beim Streuvorgang), mittlere Korngröße (» Einzelkorngewicht) und das Korngrößenspektrum (Verteilung der Granulate im Streubereich) für die Genauigkeit der Ausbringung eine Rolle. Die Hersteller für Düngerstreuer ermitteln diese Parameter, um eine Einstellungsempfehlung für die jeweilige Arbeitsbreite verschiedener Maschinen zu geben.

Tab. 10: Physikalische Kenngrößen wichtiger Düngemittel. Ersichtlich aus den Produktbeschreibungen der einzelnen Hersteller (auszugsweise Zusammenstellung)

Produkt	Schüttgewicht (t/m³)	Kornhärte (N)	Korndurchmesser
KAS gekörnt	0,97–1,10	50-100	3,2-3,9
NPK gekörnt	1,11-1,17	60-120	3,2-3,9
Harnstoff gekörnt	0,80-0,85	20-40	3,0-3,3
ASS gekörnt	0,97	50-100	3,0-3,6
Harnstoff geprillt	0,75-0,80	10-30	2,5-2,8

Die Auswirkungen auf das Streubild in der Praxis

Abb. 20: Praxis-Streubild von KAS (oben) und groben Harnstoff (unten).
Arbeitsbreite 21 m, Wind wie angegeben



Quelle: DSM agro

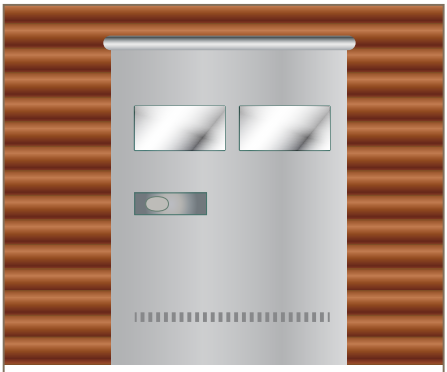
8.3. Lagerung

Düngemittel richtig lagern

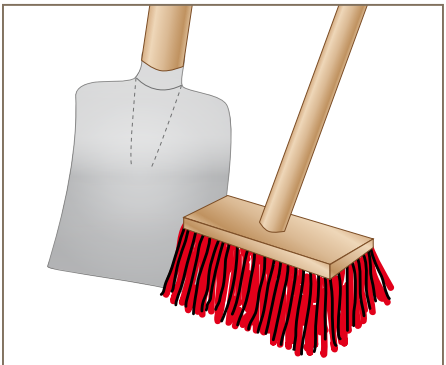
Düngemittel reagieren empfindlich auf Umwelteinflüsse. Der natürliche Feind des Düngers während des Transportes und der Lagerung ist Feuchtigkeit in jeder Form. Dies bedeutet, dass während Transport und Lagerung der Dünger vor Nässe und Feuchtigkeit - und dazu gehört auch die normale Luftfeuchte - zu schützen ist.

- Nur bei trockenen Witterungsverhältnissen Düngemittel entladen.
- Transportmittel müssen trocken und sauber sein.
- Einspeicherungsgeräte verwenden, die einen möglichst geringen Abrieb verursachen.
- Die Lagerbox muss sauber, trocken und wetterdicht sein. Entsprechende Kontrolle vor der Einlagerung durchführen.
- Sofort nach Beendigung der Einlagerung die Oberfläche des Düngerhaufens mit handelsüblichen Folien abdecken und Folie durch Beschweren oder Verankerung vor Verrutschen schützen. Folienenden so überlappen, dass evtl. ablaufende Nässe nicht in das Lagergut gelangen kann.
- Auch bei Unterbrechung der Lagerbeschickung von bis zu einem Tag, ist die Oberfläche des Düngerhaufens vorübergehend abzudecken.
- Bei der Ein- und Auslagerung ist die Boxenfläche und der dazu gehörende Arbeitsbereich sauber und der Fahrbereich von Düngemitteln freizuhalten.
- Bei der Auslagerung mit Frontladern ist darauf zu achten, dass die Schaufel im richtigen Winkel zum Boden steht, d.h. sie sollte nicht zu flach aufliegen, um das Zermahlen der Düngerkörner zu vermeiden.
- Fenster, Türen, Tore geschlossen halten und nur wenn notwendig öffnen. Durchzug in der Halle vermeiden.
- Verträglichkeit von Düngemitteln beachten. Unverträgliche Düngemittel (zum Beispiel Harnstoff/KAS) nicht nebeneinander lagern.
- Die gesetzlichen Regelungen, insbesondere die zur Lagerung ammoniumnitrathaltiger Düngemittel, sind zu beachten.

Wenn die hier genannten Punkte für Transport und Lagerung sorgfältig beachtet werden, bleibt die Qualität des Düngers, d.h. Kornhärte, Rieselfähigkeit und gute Streueigenschaften, erhalten.

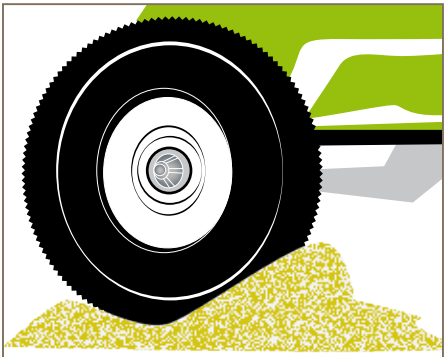


1. Halten Sie die Tore und Türen geschlossen.

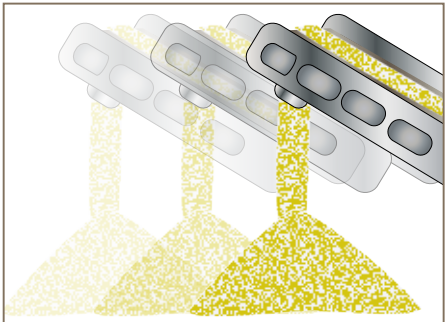


2. Halten Sie den Boden sauber und trocken.

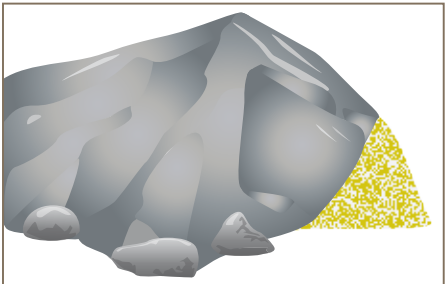
3. Fördergeräte nicht überladen, um Transportwege sauber zu halten.



4. Fahren Sie nicht in den Dünger hinein.



5. Einspeicherungspunkt mehrmals verlagern, um Entmischung zu vermeiden.



6. Düngerhaufen sofort abdecken, bei Entnahme nur so weit wie notwendig öffnen und anschließend wieder schließen.

9. Fertigation

9.1. Was ist Fertigation?

Fertigation ist ein Kunstwort aus

Fertilizer=Dünger und Irrigation=Bewässerung

Es bedeutet das Ausbringen von flüssigen oder wasserlöslichen Düngern durch ein Bewässerungssystem. Besonders wassersparend ist Fertigation mittels Tropfbewässerung. Dies führt zu einer definierten Bewässerungs-und Düngezone direkt im Wurzelbereich der Pflanze.

Fertigation ermöglicht die optimale Zufuhr von Pflanzennährstoffen unter der Prämisse:

- Welche Nährstoffe
- Zu welchem Zeitpunkt
- In der richtigen Menge

gebraucht werden.

Daher wird durch Fertigation eine gezielte Steuerung der Bestandsentwicklung über die Düngung ermöglicht.

9.2. Vorteile der Fertigation

1. Vorteile bei der Pflanzenernährung

- Optimales Nährstoff- und Wassermanagement
  - Zeitgenaue Ausbringung von kleinen Düngermengen genau in den aktiven Wurzelbereich
- Extrem hohe Nährstoffeffizienz
  - Im Vergleich zu herkömmlicher Düngung werden deutliche höhere Erträge und bessere Qualitäten erzielt
- Kurzfristige Anpassung an Nährstoffmangel
  - Nährstoffe können zu jeder Zeit ausgebracht werden und sind sofort verfügbar
- Reduziert Stressfaktoren
  - Kleine Düngermengen regelmäßig ausgebracht sorgen für eine gesunde und aktive Wurzelzone
  - Große Mengen einmal gedüngt verursachen häufig Salzstress
- Bessere Verfügbarkeit
  - Kleine Düngermengen sind besser verfügbar als große Mengen die einmal im Jahr gegeben werden

2. Vorteile bei der Ausbringung

- Nährstoffausbringung ist unabhängig vom Wetter oder der Befahrbarkeit des Feldes
- Gleichmäßige Ausbringung und damit ein gleichmäßiger Bestand
- Präzise Platzierung des Düngers
    - Wo Wasser ist sind auch Wurzeln: somit kommt der Dünger genau in den Wurzelbereich und kann direkt aufgenommen werden

3. Vorteile zum Schutz der Umwelt

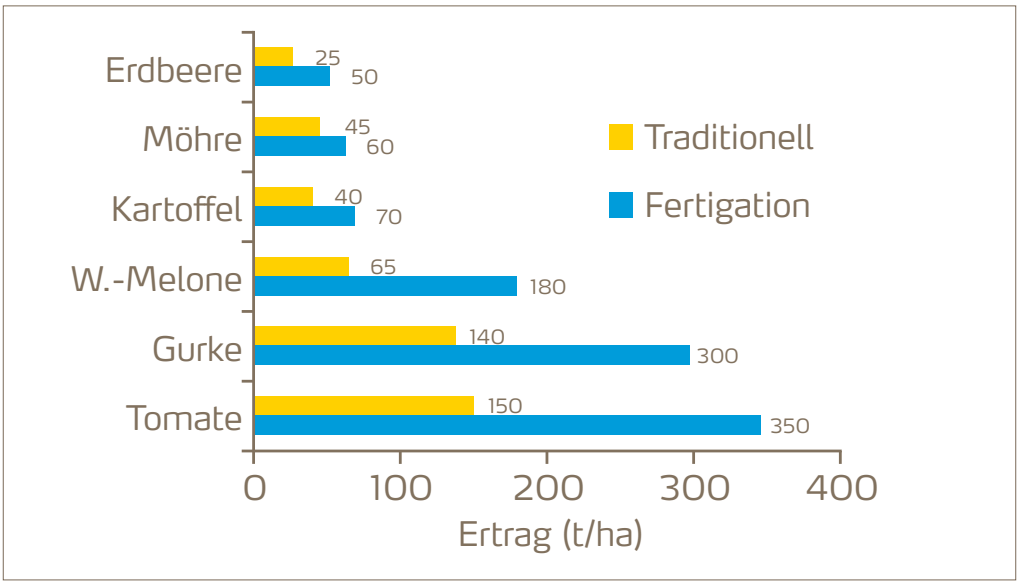
- Geringe Nährstoffverluste
    - Die genaue Platzierung des Düngers in den Wurzelbereich verhindert Auswaschung etc.
- Zeitgenaue Düngung
    - Keine Verluste von Düngern durch Düngungsmaßnahmen während Vegetationspause

4. Fertigation erspart Arbeit

- Geringe Arbeit und Kosten bei der Ausbringung
    - keine zusätzlichen Überfahrten
    - geringere Bodenverdichtung da keine schweren Maschinen im Einsatz
- Komfortabel
    - Da der Dünger mit dem Wasser ausgebracht wird muss nur bewässert werden

5. Ertragsvorteile bei ausgewählten Kulturen

Abb. 21: Ertragsvorteile der Fertigation bei ausgewählten Kulturen



Neben den oben aufgeführten Kulturen ist Fertigation eine optimale Kulturweise für eine ganze Reihe weiterer Kulturen z.B.:

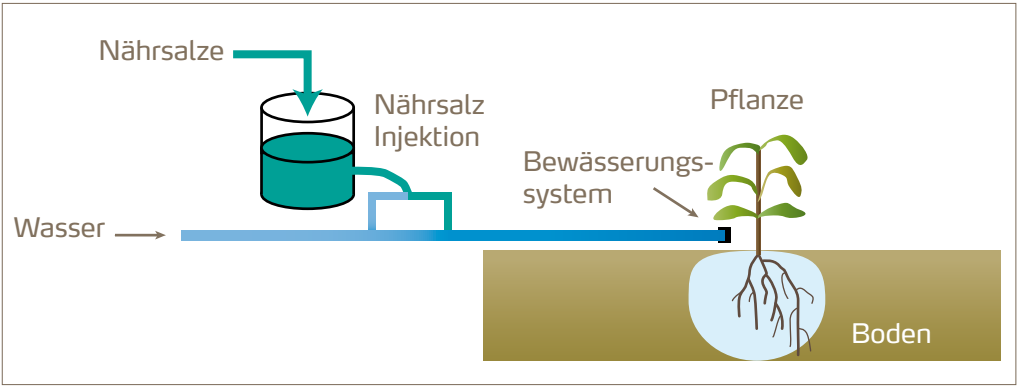
- Beerenost allgemein
- Obst allgemein vor allem Apfel und Kirsche
- Fruchtgemüse wie Zucchini, Kohlarten
- Hopfen
- Zwiebeln

6. Nutzen der Fertigation

- Ertragsvorteile im Hinblick auf Quantität, Qualität und Gleichmäßigkeit der Bestände
- Ökonomische Vorteile: Sehr effizient, höherer Gewinn
- Ökologische Vorteile: Keine Auswaschung
- Fachlich gute Arbeitsweise
- Geringerer Krankheitsdruck (z.B. Pilzkrankheiten) durch trockenere Bestände

7. Technik

Abb. 22: Aufbau einer Fertigationsanlage mit Düngereinspeisung



Eine Tropfanlage besteht aus einer Kopfstation (Ventilgruppe) mit Absperrhähnen der Düngereinspeisung, einem Magnetventil und einem Be- und Entlüftungsventil. Von der Kopfstation geht ein Verteilrohr ab. An dieser Querverteilung sind mehreren Abgänge an denen die eigentlichen Tropfleitungen angebracht sind. Mehrere Tropfrohre sind am Ende mit einer Spülleitung und Spülventil zusammengefasst (sinnvoll zur Wartung des Systems).

10. Tabellen

10.1. Zusammensetzung wichtiger Stickstoffdünger

Produkt	Ges. N %	Nitrat-N %	Ammonium-N %	Harnstoff-N %	Andere N-Formen weitere Nährstoffe
YaraLiva® Kalksalpeter	15,5	14,4	1,1	--	19 % CaO
Kalkammonsalpeter	27	13,5	13,5	--	12 % CaO, teilw. bis4 % MgO ($MgCO_3$)
YaraBela® SULFAN®	24	12	12	--	6 % S
YaraBela® OPTIMAG® 24	24	12	12	--	6 % S, 8 % MgO ($MgSO_4$)
Stickstoffmagnesia	22	11	11	--	7 % MgO ($MgCO_3$)
Ammonsulfatsalpeter	26	7,5	18,5	--	13 % S
ENTEC 26 (mit DMPP)	26	7,5	18,5	--	13 % S
Schwefelsaures Ammoniak	21	--	21	--	24 % S
Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL), Piasan 28	28	7	7	14	---
Piasan-S (25/6)	25	5	8	11	6 % S
Alzon flüssig	28	6,9	7,3	13,8	1 H-1,2,4 Triazol+3 MP
Alzon flüssig-S (25/6)	25	5	8	11	1 H-1,2,4 Triazol+3 MP
NTS N-Düngerlsg. mit S	27	6,5	7,5	13	3 % S
Harnstoff, Piagran 46	46	--	--	46	---
YARA Ureas	38	--	6,6	31,4	7,5 % S
Alzon 47	47	--	--	44	3 % DCD-N
Piamon 33-S	33	--	10	23	12 % S
Perlka (Kalkstickstoff)	19,8	1,5	--	--	enthält N als Cyanamid-N

10.2. Zusammensetzung wichtiger schwefelhaltiger Dünger

Produkt	S %	Sonstige Nährstoffe %
Ammonsulfatsalpeter, Entec 26	13	26 N
YaraBela® SULFAN®	6	24 N
Piamon 33-S	12	33 N
Piasan-S (25/6)	6	25 N
Ammonsulfat	24	21 N
Alzon flüssig-S (25/6)	6	25 N

P-Einzeldünger		
Superphosphat	12	18 P_2O_5
P 23	9	23 P_2O_5

K-Einzeldünger		
Korn-Kali	4	40 K_2O, 6 MgO
Patentkali	17	30 K_2O, 10 MgO
Kaliumsulfat	18	50 K_2O

Mg-Einzeldünger		
Kieserit	20	25 MgO
EPSO Top	13	16 MgO

Kalkdünger		
Granukal S	3	85 $CaCO_3$

PK-Dünger		
Thomaskali 8+15+6+4S	4	8 P_2O_5, 15 K_2O, 6 MgO
Rhe-Ka-Phos 12+24 (+0+6)	6	12 P_2O_5, 24 K_2O
NPK-Dünger	2-8	N, P_2O_5, K_2O, MgO

10.3. Zusammensetzung wichtiger Magnesiumdünger und magnesiumhaltiger Dünger

Produkt	MgO	S %	Magnesiumform, weitere Nährstoffe
Kieserit „fein“	27	22	Magnesiumsulfat-Monohydrat
Kieserit „gran.“	25	20	Magnesiumsulfat-Monohydrat
EPSO Top	16	13	Magnesiumsulfat * 7 H_2O
EPSO Microtop	15	12	Magnesiumsulfat 1 % B,1 % Mn (wasserlöslich)
EPSO Combitop	13	13	Magnesiumsulfat 1 % Zn, 4 % Mn
Patentkali	10	17	Magnesiumsulfat, Kalium
YaraBela® OPTIMAG® 24	8	6	Magnesiumsulfat, Stickstoff
Stickstoffmagnesia/Stimag	7	--	Magnesiumcarbonat
Kohlensaurer Magnesiumkalk	8-17	--	Magnesiumcarbonat
Magnesium-Mischkalk	15-25	--	Magnesiumcarbonat+ Magnesiumoxid
Magnesium-Branntkalk	15-25	--	Magnesiumoxid
Konverterkalkfeucht-körnig	3	--	Magnesiumsilikat
Hüttenkalk	7	--	Magnesiumsilikat
PK-Dünger mit Magnesium	3-6	2-6	Magnesiumcarbonat+ Magnesiumsulfat
Thomaskali	3-6	3-4	Magnesiumsilikat+ Magnesiumsulfat
MND z.B. 12x12x17x2	2		Magnesiumcarbonat und oder Magnesiumsulfat

10.4. Zusammensetzung wichtiger Phosphatdünger

Produkt	P_2O_5 %	Löslichkeitsform, weitere Nährstoffe, (CaO-Gehalt = theor. basisch wirks. Kalk)
Superphosphat 18	18	ammoniumcitratlösliches P_2O_5, davon ca. 93 % wasserlöslich, ca. 12 % S
Triple-Superphosphat 46	46	ammoniumcitratlösliches P_2O_5, davon ca. 93 % wasserlöslich
Diammonphosphat 18+46	46	ammoniumcitratlösliches P_2O_5, davon ca. 90 % wasserlöslich, N als NH_4
P 23 (Novaphos)	23	mineralsäurelösliches P_2O_5, davon ca. 50 % wasserlöslich; 13 % CaO, 9 % S; teilaufgeschlossenes Rohphosphat
P 35	35	mineralsäurelösliches P_2O_5, davon ca. 87 % wasserlösliches Phosphat
Dolophos 15	15	mineralsäurelösliches Phosphat, davon 60 % in 2 %iger Ameisensäure, 65 % $CaCO_3$ und 15 % $MgCO_3$

10.5. Zusammensetzung wichtiger Kalidünger

Produkt	K_2O %	MgO %	Na %	S %	weitere Nährstoffe
Korn-Kali mit 6 % MgO	40	6	3	4	K-Chlorid, Mg-Sulfat
60er Kali „gran.“	60	--	--	--	K-Chlorid
Magnesia-Kainit	11	5	20	4	K-Chlorid, Na-Chlorid, Mg-Sulfat
Kaliumsulfat „gran.“	50	--	--	18	K-Sulfat
Patentkali	30	10	--	17	K-Sulfat, Mg-Sulfat

10.6. Zusammensetzung wichtiger Mehrnährstoffdünger

N %	P_2O_5 %	K_2O %	MgO %	Bemerkungen
1. P-(Mg) - Dünger				
--	15-22	--	7	Mg-Novaphos
2. PK-(Mg) - Dünger				
--	7-25	7-30	0-12	Rhe-Ka-Phos, Thomaskali, PK-Dünger (Teilaufschluss), Sorten mit bis zu 23 % CaO; bis 9 % S; bis 6 % SiO_2 PK-Dünger mit kohlens. Magnesiumkalk, P_2O_5-Löslichkeiten siehe vergleichbare „Phosphatdünger“
3.NK- Dünger				
16	--	32	--	50 % N als Nitrat
18-19	--	16-18	2	vom N 50 Anteile NO_3-N
4. NP-Dünger				
20-26	14-20	--	--	Yara, Nitrophos; 5-11 % CaO vom N ca. 40 % NO_3-N; vom P_2O_5 ca. 50-85 % , wasserlöslich
10	34	--	--	Hydro Terra, flüssige NP-Dünger
25	15	--	--	ENTEC 25+15, 11 % NO_3-N, 13 % NH_4-N stabilisiert, P_2O_5 ca. 80 % wasserlöslich
18	46	--	--	Diammonphosphat; N als NH_4; P_2O_5 zu 90 % wasserlöslich
12	54	--	--	Monoammonphosphat P_2O_5 zu 90 % wasserlöslich
5. NPK- (Mg)-Dünger				
6-24	4-16	7-21	0-4	Yara, Nitrophoska; vom N 20-45 % als NO_3-N, sonst NH_4-N; vom P_2O_5 55-90 % wasserlöslich, im Übrigen citratlöslich; K_2O meist Chlorid; spezielle Formeln je zur Hälfte Chlorid und Sulfat oder nur Sulfat; bis 8 % S; bis 17 % CaO; teilweise mit Spurennährstoffen

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

10.7. Kalkwerte wichtiger Düngemittel

Düngemittel	Kalkverlust bzw. -gewinn in kg CaO je 100 kg N/P_2O_5/K_2O Acker
Stickstoffdünger (% N)	
Schwefels. Ammoniak, SSA (21)	-299
Ammonsulfatsalpeter, ASS (26), ENTEC 26 (26)	-196
Piamon-33 S (33)	-191
YARA Ureas (38)	-134
Piasan-S (25/6), Alzon flüssig-S (25/6)	-142
Harnstoff, Piagran (46), Alzon 47 (47)	-100
AHL, Piasan, Alzon flüssig (28)	-100
YaraBela® SULFAN®	-87
YaraBela® EXTRAN® 27	-48
YaraBela® OPTIMAG® 24	-92
Stickstoffmagnesia (22)	0
YaraLiva® Kalksalpeter (15,5)	+80
Kalkstickstoff (21)	+170
Phosphatdünger (% P_2O_5)	
Triplesuperphosphat (46)	-6
P 35	+20
P 23	+56
Dolophos (15)	+400
NP-Dünger (% N, % P_2O_5)	
Monoammonphosphat (11/52)	-336
NP-Lösung (10/34)	-250
Diammonphosphat (18/46)	-210
NP-Dünger (20/20)	-90
NP-Dünger (26/14) 18.23	-54
NPK-Dünger (% N, % P_2O_5, % K_2O)	
6/12/18	-183
12/12/17	-108
15/15/15	-93
20/7/10 +4S	-115
20/8/8	-96
13/13/21	-92
ENTEC avant (12+7+16(+4+5)	-66
PK-Dünger (% P_2O_5, % K_2O)	
PK 14+14+4 MgO	+35
PK 12+24	+42
Thomaskali 10+15+4 MgO+3S	+240
Thomaskali 7+21+4 MgO+3S	+285
Alle Kalium– und Magnesiumeinzeldünger	0

10.8. Mittlere Nährstoffgehalte in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern

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

Dünger	Nährstoffe (kg/t bzw. kg/m³)											
	Gesamt-N		davon NH_4		P_2O_5		K_2O		MgO		CaO	
	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich
Festmist												
Rindermist	**5,6**	5,0 - 6,1	**0,9**	0,4-1,3	**3,5**	2,7-4,3	**9,7**	6,9-12,5	**1,8**	1,4-2,2	**5,3**	3,5-7,0
Schweinemist	**8,0**	6,0-10,0	**1,4**	0,5-2,3	**5,5**	4,0-7,0	**5,1**	3,0-7,2	**2,5**	2,0-3,0	**4,5**	4,0 -5,0
Schafmist	**6,9**	4,7-9,0	**1,6**	0,5-2,7	**4,1**	2,8-5,4	**13,3**	7,0-19,5	**2,5**	1,8-3,2	**3,5**	
Pferdemist	**5,3**	4,0-6,5	**1,0**	0,5-1,4	**3,4**	3,0-3,8	**8,5**	6,0-10,9	**2,5**	1,0-4,0	**3,0**	
Putenmist	**19,6**	14,4-24,8	**6,1**	4,7-7,4	**19,4**	17,7-21,0	**18,9**	14,8-22,9	**4,9**	4,8-5,0	**19,0**	18,0-20,0
Hähnchenmist	**22,5**	17,0-28,0	**5,0**	2,5-7,4	**15,5**	10,0-21,0	**16,5**	10,0-23,0	**4,65**	3,3-6,0	**31,5**	21,0-42,0
Hühnermist	**22,8**	17,5-28,0	**8,0**	7,1-8,8	**19,5**	15,0-24,0	**19,3**	15,5-23,0	**5,25**	4,5-6,0	**17,9**	13,8 - 22
Geflügelkot												
Hühnerfrischkot	**15,1**	13,0-17,1	**4,5**	3,0-6,0	**9,5**	8,0-10,9	**3,0**	7,0-8,3	**3,0**	2,0-4,0	**23,5**	21,0-26,0
Hühnertrockenkot	**26,3**	24,0-28,6	**10,4**	9,8-10,9	**20,0**	17,0-23,00	**6,35**	14,0-20,1	**6,35**	5,0-7,7	**49,1**	42,0-56,0
getr. Hühnerkot	**32,1**		**11,0**		**30,9**		**21,8**		**7,9**		**90,1**	
Gülle												
Milchvieh-Rindergülle	**3,7**	3,5-3,9	**1,9**	1,7-2,1	**1,6**	1,4-1,7	**4,9**	3,9-5,8	**0,9**	0,8-1,0	**1,6**	
Bullengülle	**4,2**	3,8-4,5	**2,2**	1,9-2,5	**1,9**	1,6-2,1	**4,6**	4,0-5,2	**1,0**	0,9-1,1	**1,4**	
Kälbergülle	**3,3**	3,3 -	**2,5**		**1,5**		**4,2**		**0,6**			

Dünger	Nährstoffe (kg/t bzw. kg/m³)											
	Gesamt- N		davon NH_4		P_2O_5		K_2O		MgO		CaO	
	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich	Ø	Schwankungs-bereich
Mastschweinegülle	**4,2**	2,7-5,6	**3,1**	1,9-4,2	**2,2**	1,5-2,8	**2,9**	2,0-3,8	**1,05**	0,8-1,3	**1,7**	0,8-2,5
Sauengülle	**3,4**	2,9-3,9	**2,5**	2,0-2,9	**2,1**	1,9-2,3	**2,3**	2,0-2,5	**0,95**	0,6-1,3	**1,6**	0,8-2,3
Ferkelgülle	**4,6**		**3,3**		**2,4**		**3,0**		**1,0**			
Mischgülle	**3,9**	3,7-4,0	**2,6**	2,5-2,6	**1,8**	1,7-1,8	**3,6**	3,2-4,0,	**0,85**	0,7-1,0	**2,7**	
Hühnergülle	**8,8**	8,4-9,2	**6,0**	5,4-6,5	**6,5**	5,9-7,0	**4,7**	4,3-5,0	**1,55**	1,3-1,8	**11,8**	8,5-15.,0
Jauche												
Rinderjauche	**2,2**	1,2-3,2	**2,1**	1,0-3,1	**0,2**	0,15-0,3	**6,0**	4,0-8,0	**0,15**	0,1-0,2	**0,5**	
Schweinejauche	**3,4**	2,8-4,0	**2,9**	2,1-3,6	**0,2**	0,1-0,3	**3,3**	3,0-3,6	**0,15**	0,1-0,2	**0,5**	
sonst, organische Dünger												
Championerde	**7,4**		**0,2**		**4,7**		**6,0**		**2,0**		**30,0**	
Grünschnittkompost	**7,1**		**0,2**		**3,1**		**6,1**		**4,6**		**25,0**	
Grün-/ Biokompost	**9,3**	6,6-12,0	**0,4**	0,1-0,6	**4,5**	3,9-5,1	**6,6**	5,1-8,0	**6,1**	4,3-7,9	**24,1**	8,2-40,0
Klärschlamm flüssig	**2,0**	1,3-2,7	**0,7**	0,3-1,1	**1,9**	1,2-2,5	**0,3**	0,2-0,3	**0,4**	0,3-0,4	**2,5**	1,0-3,9
Klärschlamm stichfest	**7,8**	6,0-9,5	**1,1**	1,0-1,2	**12,9**	10,00-15,8	**0,9**	0,8-1,0	**3,2**	2,4-4,0	**69,3**	55,5-83,1
Kartoffelschlempe	**3,5**	2,8-4,1	**0,1**		**1,2**	1,1-1,2	**4,8**		**0,7**	0,5-0,8	**2,0**	

Quelle: Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe 28/2007, verändert nach Wirtschaftsfdünger und Gewässerschutz, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 02.2009, tll, 2007, Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung, LVLF Brandenburg (2008), Information zur Düngung, LAD Bayern (2006), Richtwerte für die Düngung 19. Auflage 2006, LLH-Hessen, Nährstoffwertrechner http://www.llh-hessen.de/landwirtschaft/pflanzenbau/gw/gw_wod.php, Stand September 2009.

Tab. 11: Anzurechnende Mindestwerte, Angaben in % der ausgebrachten N-Menge

Dünger	Nach Abzug von Stall - und Lagerverlusten		Nach Abzug der Stall-, Lager- und Ausbringungsverluste	
	Gülle	Festmist, Jauche ,Tiefstall	Gülle	Festmist, Jauche, Tiefstall
Rinder	85	70	70	60
Schweine	70	65	60	55
Geflügel		60		50
Pferde, Schafe		55		50

Quelle: Bayrisches Wochenblatt 9/2007, Sonderdruck

Tab. 12: Ausnutzung der Nährstoffe aus Festmist im Jahr der Ausbringung

Stickstoff (N)	25-50 %
Phosphat (P_2O_5)	15-30 %
Kalium (K_2O)	40-60 %
Spurennährstoffe	0,5-5 %

Quelle: Oehmichen, 2000

10.9. Nährstoffgehalte von Haupt- und Zwischenfrüchten

Tab. 13: Nährstoffgehalte von Haupt- und Zwischenfrüchten

Hauptfrucht	Ernteprodukt	Nährstoffgehalt kg/dt Frischmasse				Rohprotein % in TS	HNV 1:x[2)]
		N	P_2O_5	K_2O	MgO		
Winterweizen	Korn (86 %)	1,81	0,8	0,6	0,2	12	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,4	0,2		
	Korn+Stroh [1)]	2,21	1,04	1,72	0,36		0,8
	Korn (86 % TS)	2,11	0,8	0,6	0,2	14	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,4	0,2		
	Korn+Stroh [1)]	2,51	1,04	1,72	0,36		0,8
	Korn (86 % TS)	2,41	0,8	0,6	0,2	16	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,4	0,2		
	Korn+Stroh [1)]	2,81	1,04	1,72	0,36		0,8
Wintergerste	Korn (86 % TS)	1,65	0,8	0,6	0,2	12	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,1		
	Korn+Stroh [1)]	2,0	1,01	1,79	0,27		0,7
	Korn (86 %T S)	1,79	0,8	0,6	0,2	13	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,1		
	Korn+Stroh[1)]	2,41	1,01	1,79	0,27		0,7

Hauptfrucht	Ernteprodukt	Nährstoffgehalt kg/dt Frischmasse				Rohprotein % in TS	HNV 1:x[2)]
		N	P_2O_5	K_2O	MgO		
Roggen	Korn (86 % TS)	1,51	0,8	0,6	0,1	11	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	2,0	0,2		
	Korn+Stroh[1)]	1,96	1,07	2,4	0,28		0,9
	Korn (86 % TS)	1,65	0,8	0,6	0,1	12	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	2,0	0,2		
	Korn+Stroh[1)]	2,1	1,07	2,4	0,28		0,9
Wintertriticale	Korn (86 % TS)	1,65	0,8	0,6	0,2	12	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,2		
	Korn+Stroh[1)]	2,1	1,07	2,13	0,38		0,9
	Korn (86 % TS)	1,79	0,8	0,6	0,2	13	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,2		
	Korn+Stroh[1)]	2,24	1,07	2,13	0,38		0,9
Sommerfutter-gerste	Korn (86 % TS)	1,65	0,8	0,6	0,2	12	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,1		
	Korn+Stroh[1)]	2,05	1,04	1,96	0,28		0,8
	Korn (86 % TS)	1,79	0,8	0,6	0,2	13	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,1		
	Korn+Stroh[1)]	2,05	1,04	1,96	0,28		0,8
Braugerste	Korn (86 % TS)	1,38	0,8	0,6	0,2	10	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,1		
	Korn+Stroh[1)]	2,05	1,04	1,96	0,28		0,7
	Korn (86 % TS)	1,51	0,8	0,6	0,2	11	
	Stroh (86 % TS)	0,5	0,3	1,7	0,1		
	Korn+Stroh[1)]	1,86	1,04	1,96	0,28		0,7
Raps	Korn (91 % TS)	3,35	1,8	1,0	0,5	23	
	Stroh (86 % TS)	0,7	0,35	2,35	0,41		
	Korn+Stroh[1)]	4,54	2,4	5,0	1,2		1,7
Körnermais	Korn (86 % TS)	1,38	0,8	0,5	0,2	10	
	Stroh (86 % TS)	0,9	0,2	2,0	0,4		
	Korn+Stroh[1)]	2,28	1,0	2,5	0,6		1,0
	Korn (86 % TS)	1,51	0,8	0,5	0,2	11	
	Stroh (86 % TS)	0,9	0,2	2,0	0,4		
	Korn+Stroh[1)]	2,41	1,0	2,5	0,6		1,0
Kartoffel	Knolle (22 % TS)	0,35	0,14	0,6	0,04		
	Kraut (15 % TS)	0,2	0,04	0,36	0,08		
	Knolle+Kraut[1)]	0,39	0,15	0,67	0,06		0,2
Zuckerrübe	Rübe (23 % TS)	0,18	0,1	0,25	0,08		
	Blatt (18 % TS)	0,4	0,11	0,71	0,1		
	Rübe+Blatt[1)]	0,46	0,18	0,75	0,15		0,7
Silomais	Ganzpflanze	0,38	0,16	0,45	0,09		

1) Nährstoffgehalt Haupternte- und Nebenernteprodukt bezogen auf das Haupternteprodukt
2) Haupternteprodukt-Nebenernteprodukt-Verhältnis (z.B. Korn-Stroh-Verhältnis) *Quelle: Düngeverordnung*

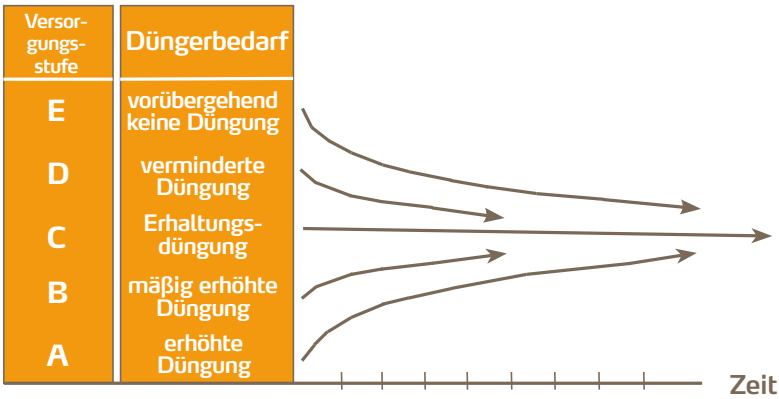
Tab. 14: Grundnährstoffbedarf ausgesuchter Gemüsekulturen im Freiland

Kultur	Aufwuchs FM dt/ha	Feldabfuhr Mittel dt/ha	Nährstoffbedarf kg/ha			
			N-Sollwert*	P_2O_5	K_2O	MgO
Blumenkohl	1000	400	330	100	360	20
Chinakohl	1200	700	235	108	360	24
Eissalat	800	600	145	50	240	16
Kopfsalat	600	500	150	42	220	12
Möhre (Waschmöhre)	900	700	150	75	380	18
Weißkohl (Industrie)	1500	1000	370	73	312	25
Zwiebel (Trocken-speisezwiebel)	750	600	200	60	180	15

Quelle: M. Fink et al: AG Düngung, Stand Jan.2000; Gartenbauliche Berichte Heft Nr. 4, Hrsg.: M. Fink (2001)
** N_{min}-Sollwerte zu Kulturbeginn ohne Berücksichtigung der Nettomineralisierung*

10.10. Nährstoff-Versorgungsstufen und die dazu empfohlene Düngungshöhe

Abb. 23: Düngungsempfehlung in Abhängigkeit von der Versorgungsstufe des Bodens



(nach VDLUFA)

11. Preisvergleiche

11.1. Vorgehensweise bei Preisvergleichen

Vorraussetzung für einen gezielten und preiswerten Einkauf der Nährstoffe ist eine detaillierte Düngeplanung (Abbildung 21). Erst wenn genau bekannt ist, welche Nährstoffe insgesamt appliziert werden müssen, kann über die Auswahl der in Frage kommenden Düngemittel eine Entscheidung getroffen werden.

Abb. 24: Düngeplanung und Einkaufsentscheidung treffen

Quelle: DLG Merkblatt N-Düngung effizient gestalten, 1. Auflage, 2006

- Berücksichtigung von vorhandenen Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern
- Zeitpunkt der effizientesten Ausnutzung der ausgebrachten Nährstoffe
- Nährstoffverhältnisse in den Düngemitteln

  —> Auswahl der in Frage kommenden Dünger eingrenzen

Düngerkosten vergleichen

Den Preis eines Stickstoffdüngers einfach durch den N-Gehalt zu dividieren, ist nur bei Produkten möglich, die sich lediglich im N-Gehalt unterscheiden. Begleitnährstoffe und sonstige Wert bestimmende Produkteigenschaften müssten identisch sein. Bei unterschiedlichen Produkten müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden, um eine exakte Kosten/Nutzen-Rechnung durchzuführen:

- Kostenreduzierung durch Einsparung von Überfahrten
- Erzielbare Mehrerträge durch effizientere Nährstoffausnutzung

Zunächst müssen alle im Dünger enthaltenen Nährstoffe monetär bewertet werden. Dies ist bei Einnährstoffdüngern wie Harnstoff, AHL oder KAS ohne Magnesium recht einfach durchzuführen. Bei kombinierten Düngern, wie N-S-Düngern oder gar Mehrnährstoffdüngern (z.B. NPK+Mg+S) kann der Wert der einzelnen Nährstoffe aus Einzelnährstoffdüngern berechnet werden. Schwieriger ist die Kalkulation von Nährstoffen, wie z.B. Magnesium oder Schwefel, die selbst nicht in Einnährstoffdüngern vorkommen, sondern in Kombination mit anderen Nährstoffen vorliegen. Hier müssen zur Bewertung dann mehrere Rechenschritte erfolgen (siehe 11.2).

11.2. Preisberechnung aus Einzelkomponenten

Wenn man einzelne Nährstoffe anhand aktueller Düngerpreise bewerten will, muss man folgende Dinge beachten:

- nur gleich wirkende Nährstoffformen in verschieden Düngemitteln sind im Preis gleich anzusetzen (Bsp.: Harnstoff und Ammonnitrat nicht direkt vergleichbar)
- Angabe der Nährstoffverbindung ist zu beachten (P oder P_2O_5 —> Umrechnungsfaktoren verwenden!)

Rechenbeispiel:
Wie ermittelt man den S-Preis in einem ASS?
ASS 26: 26 % N als Ammonnitrat —> Basis ist KAS-Preis [3)]
13 % S als Sulfat

1. N-Preis ermitteln:
KAS-Preis zu Grunde legen, da gleiche N-Form wie in ASS
Düngerpreis KAS/27 % = Preis je kg N_{KAS} —> 15,50 €/dt / 27 % = 0,574 €/kg N[4)]

2. S-Preis herausrechnen:
(Düngerpreis ASS – (26 x Preis je kg N_{KAS}))/13 % S = Preis je kg Sulfat-S
—> (17, 50 €/dt – (26 % x 0,574 €/kg))/13 % S = 0,198 €/kg Sulfat-S

[3)] KAS ohne MgO, [4)] KAS-Preis aus top agrar 8/2009

Tab. 15: Dünger als Basis zu Ermittlung der Nährstoffpreise, in der Reihenfolge für die Berechnung

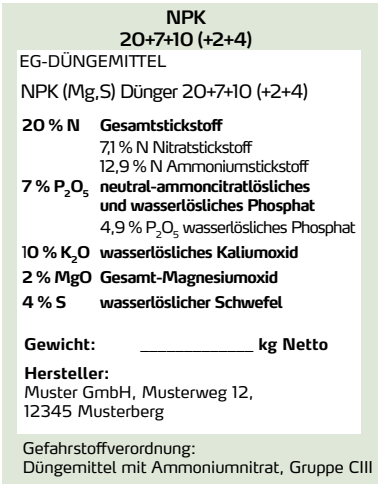
Düngemittel	Nährstoffgehalt	Nährstoffform	Basis für…
KAS 27	27 % N	Ammonnitrat	N-Preis von Nitrathaltigen Düngern
Harnstoff	46 % N	Harnstoff	N-Preis von Harnstoff- und NH_4-haltigen Düngern
Kieserit	25 % MgO 20 % S	Magnesiumsulfat	MgO-Preis in MgO-haltigen Düngern
ASS	26 % N 13 % S	Ammonnitrat Sulfat (SO_4)	S-Preis für Sulfat-Schwefel
60er Kali	60 % K_2O	Kaliumchlorid	Kalipreis
DAP	18 % N 46 % P_2O_5	Ammoniumphos-phat (vollaufg.)	P-Preis ermitteln: N-Preis z.B. aus Harnstoff einsetzen

Für die Berechnung einer Nährstoffkomponente muss die Nährstoffreferenz die gleiche Nährstoff-Form haben (z.B. NPK: N-Preis aus KAS, DAP: N-Preis aus Harnstoff).

11.3. Warenbegleitpapier

Beim Kauf von Dünger wird dem Landwirt ein Warenbegleitpapier ausgehändigt. Dieses Papier muss die folgenden Angaben enthalten:

Abb. 25: Warenbegleitpapier eines Mehrnährstoffdüngers, aus dem sämtliche für den Landwirt relevanten Informationen hervorgehen



NPK
20+7+10 (+2+4)

EG-DÜNGEMITTEL

NPK (Mg,S) Dünger 20+7+10 (+2+4)

20 % N	**Gesamtstickstoff**
	7,1 % N Nitratstickstoff
	12,9 % N Ammoniumstickstoff
7 % P_2O_5	**neutral-ammoncitratlösliches und wasserlösliches Phosphat**
	4,9 % P_2O_5 wasserlösliches Phosphat
10 % K_2O	**wasserlösliches Kaliumoxid**
2 % MgO	**Gesamt-Magnesiumoxid**
4 % S	**wasserlöslicher Schwefel**

Gewicht: _____ **kg Netto**

Hersteller:
Muster GmbH, Musterweg 12,
12345 Musterberg

Gefahrstoffverordnung:
Düngemittel mit Ammoniumnitrat, Gruppe CIII

- Düngemitteltyp
- Nährstoffgehalt
- Nährstoffformen
- Erst-Inverkehrbringer (Hersteller)
- Hinweise zur Lagerung

12. Düngeverodnung (DüV)

Grundsätze für die Anwendung von Düngemitteln

- Ermittlung der im Boden verfügbaren Nährstoffmengen - auf jedem Schlag über 1 ha vor der Aufbringung von mehr als 50 kg N oder 30 kg P_2O_5 pro ha und Jahr (mineralisch und/oder organisch)
- Auf Ackerschlägen jährlich Stickstoffgehalt im Boden ermitteln (N-min oder amtlicher Vergleichswert), nicht auf Dauergrünland
- Bodenuntersuchungspflicht für P_2O_5 auf Ackerschlägen und Grünland (gilt nicht für extensives Grünland) über 1 ha, mindestens alle 6 Jahre
- Nährstoffgehalte (N und P) von Wirtschaftsdüngern und org. Düngern müssen bekannt sein, nach Aufbringung auf unbestelltem Ackerland einarbeiten
- Im Betriebsdurchschnitt max. 170 kg N/ha aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft auf Acker- und Grünland ausbringen
- Flüssige organische Stickstoffdünger oder Geflügelkot maximal 40 kg NH_4-N oder 80 kg Gesamt-N je ha nach der Hauptfrucht zur Getreidestrohrotte, Folgekultur oder Zwischenfrucht

Ausbringverbote, Abstandsauflagen, weitere Vorgaben

- Ausbringverbot für Düngemittel (org./min.) mit wesentlichen N-Gehalt vom 01.11. bis 31.01. auf Ackerland und vom 15.11. bis 31.01. auf Grünland und
- auf nicht aufnahmefähigen Boden (überschwemmt, wassergesättigt, gefroren, höher als 5 cm, mit Schnee bedeckt)
- direkter Eintrag von Nährstoffen in oberirdische Gewässer vermeiden, mindestens 3 m Abstand, keine Abschwemmung in oberirdische Gewässer
- Düngemittel mit wesentlichen Nährstoffgehalten dürfen innerhalb eines Abstands von 20 m nicht auf stark geneigten Ackerflächen aufgebracht werden, innerhalb 10 m nur bei direkter Einbringung in den Boden
- Grundsätzliches Einarbeitungsgebot für organische Düngemittel auf unbestelltem Ackerland, Ausbringgeräte müssen allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen
- Grundsätzlich nur zugelassene Düngemittel ausbringen. Für Fleisch- oder Knochenmehl gelten Anwendungsverbote bzw. bes. Aufzeichnungspflichten.
- 6 Monate Lagerkapazität für flüssige Wirtschaftsdünger

Nährstoffvergleich

- Betrieblicher Nährstoffvergleich ist jährlich zum 31.03. für das abgelaufene Düngerjahr für N und P zu erstellen, von Betrieben mit mehr als 10 ha LF
- Für N max. 60 kg/ha N-Überschuss im 3 jährigen Durchschnitt ab 2009
- Für P_2O_5 max. 20 kg/ha und Jahr im 6 jährigen Durchschnitt
- 7 Jahre Aufbewahrungsfrist der Unterlagen

Die Auflistung hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Vorgaben des jeweiligen Bundeslands beachten (beispielsweise bei Abstandsauflagen).

13. Düngung und Klimaschutz

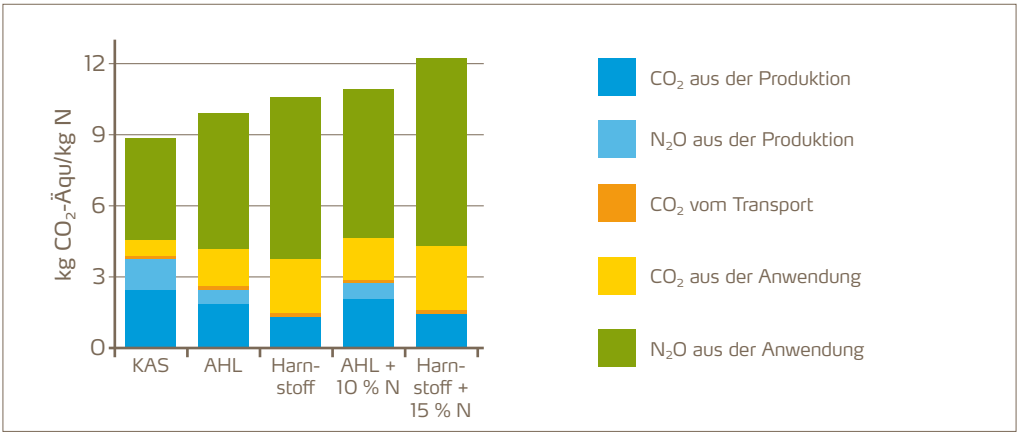
Der Klimawandel ist eines der dringendsten Probleme unserer Zeit. Landwirte sind dabei doppelt gefordert: als Betroffene aber auch als wichtige Teilhaber an langfristigen Lösungen. Stickstoffdünger sind in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung.

13.1. CO_2 Fußabdruck von Düngemitteln

Im Pflanzenbau verursachen Produktion, Transport und Anwendung von mineralischen Stickstoffdüngern einen Großteil der Treibhausgase (THG), insbesondere von Kohlendioxid (CO_2) und Lachgas (N_2O). Diese Gase fördern die Erderwärmung. Gleichzeitig erhöhen Düngemittel aber die Produktivität der Landwirtschaft und stimulieren die CO_2-Aufnahme durch Pflanzen. Um die Auswirkungen von Düngemitteln auf das Klima zu erfassen, müssen die

Emissionen und Absorptionen von THG in allen „Lebensphasen“ eines Düngers bestimmt werden. Mit dieser „Lebenszyklusanalyse“ kann nicht nur der sog. CO_2-Fußabdruck eines Produkts bestimmt werden, sondern auch, wie er verringert werden könnte. Neben einer Optimierung der Düngemittelproduktion und der Effizienzsteigerung bei der Düngeranwendung kann vor allem die Erhaltung natürlicher CO_2-Speicher (wie z.B. Urwälder, Moore) aktiv zum Klimaschutz beitragen. Als Stickstoffdünger sind Nitratdünger wie Kalkammonsalpeter zu bevorzugen, da diese einen geringeren CO_2-Fußabdruck aufweisen als Harnstoff oder AHL (siehe Abb.26), vor allem wenn die geringere Effizienz von Harnstoff und AHL durch eine höhere applizierte Stickstoffmenge ausgeglichen wird.

Abb. 26: Über den gesamten Lebenszyklus gesehen, ist der CO_2-Fußabdruck von KAS geringer als der von Harnstoff und AHL. Wird die geringere Effizienz von Harnstoff und AHL durch eine höhere N-Gabe ausgeglichen, ist der Unterschied noch deutlicher.



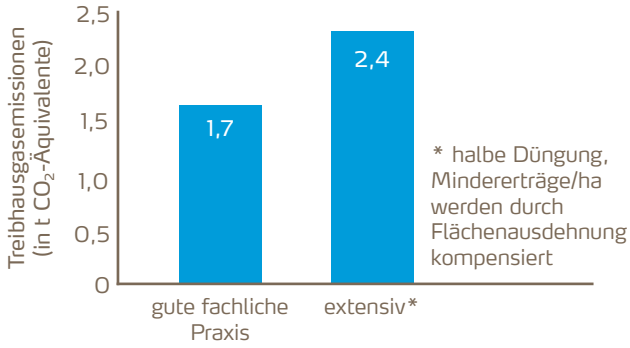
13.2. Moderne Landwirtschaft schont das Klima

Vorrangiges Ziel der Landwirtschaft ist die Produktion von ausreichend Nahrungsmitteln, bei deren Erzeugung möglichst geringe Treibhausgasemissionen entstehen sollen. Konkret bedeutet dies eine Minimierung der Emissionen pro Produkteinheit, also z.B. pro Tonne Getreide und nicht wie oftmals gefordert pro ha Fläche.

Berechnungen zur Weizenproduktion belegen, dass bei einer Stickstoffdüngung in optimaler Höhe weniger Treibhausgase je Tonne Weizen emittiert werden als bei reduzierter Stickstoffdüngung. Dies liegt daran, dass eine reduzierte Mineraldüngung zu niedrigeren Erträgen führt. Um die benötigte Nahrungsmenge zu erzeugen, müssten bei reduzierter Düngung neue Ackerflächen in Kultur genommen werden, was über Abholzung und Humusabbau zu einer sehr starken zusätzlichen Freisetzung von CO_2 führt. Bereits heute werden rund 6% aller weltweit emittierten THG durch solche Landnutzungsänderungen freigesetzt. Das ist

mehr als die EU 27 insgesamt pro Jahr emittiert. Eine optimierte Stickstoffdüngung erhöht dagegen die Nahrungsmittelproduktion auf den bestehenden Flächen, so dass naturnahe Ökosysteme als natürliche CO_2-Speicher erhalten werden können. Dieser Aspekt wird mit dem weiteren Anwachsen der Weltbevölkerung noch stärker an Bedeutung gewinnen.

Abb. 27: Treibhausgasemmissionen durch die Erzeugung von 10 t Weizen



Quelle: IVA

14. YARA Tools & Services

Effizient düngen ist der Online Beratungsservice der YARA GmbH & Co. KG. Optimal auf den Bedarf der Pflanzen abgestimmte Düngemittel und Pflanzenernährungskonzepte sind das Markenzeichen von YARA. Aber YARA bietet mit den Tools & Services noch mehr, von der Düngeplanung bis zur Bestandesführung:

- YARA Plan bietet eine fachgerechte Düngeplanung für Ihren PC: www.yaraplan.de
- Mit dem YARA N-Tester und dem YARA N-Sensor® können Sie direkt auf dem Feld die erforderliche N-Menge ermitteln. www.n-tester.de, www.yara.de/n-sensor
- Falls Sie eine komplette Pflanzenanalyse benötigen bieten wir Ihnen mit YARA Megalab® einen Analyseservice an: www.yara.de/megalab
- Die Online Services informieren Sie über alle Neuigkeiten und bieten Fachinformationen rund um die Düngung: www.effizientduengen.de, www.blattduengung-aktuell.de, www.nitratduengung-aktuell.de
- Mit den YARA Apps können Sie unseren Service auch unterwegs nutzen: www.yara.de/apps

Ihr Rundumservice von YARA!

effizient düngen

Herausgeber:
YARA GmbH & Co. KG
Hanninghof 35
48249 Dülmen

Mehr Informationen rund um die Düngung:
www.effizientduengen.de

HAFTUNGSAUSSCHLUSS: Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen entsprechen unserem derzeitigen Kenntnisstand und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Gewähr oder Haftung für das Zutreffen im Einzelfall ist ausgeschlossen, da die Standort- und Anbaubedingungen erheblichen Schwankungen unterliegen. Die zur Verfügung gestellten Informationen ersetzen keine individuelle Beratung. Sie sind unverbindlich und insbesondere nicht Gegenstand eines Beratungs- / Auskunftsvertrages. ©YARA GmbH & Co. KG. Alle Rechte vorbehalten.