Nährstoffe und praktische Düngung

Helmut Rogler

Seminar in Göyçay, Aserbaidschan.
27.08. – 05.09.2012

Quellennachweise im Text und unter
http://www.roglernet.de
Weitere Informationen zum Seminar unter
http://www.roglernet.de/aserbaidschan

Skript in aserbaidschanischer Version verfügbar unter
http://www.roglernet.de/aserbaidschan/Skripten12/Duengung12-AZE.pdf

Inhaltsverzeichnis

NÄHRSTOFF STICKSTOFF 4

1. Stickstoffkreislauf 4

2. Mangelsymptome 5

3. Wirkungen des Kalkstickstoffs 5

4. Gasförmige Stickstoffverluste 6
4.1 Vermeidung durch Einarbeitung 6
4.1.1 Stickstoffverluste bei Gülledüngung 6
4.1.2 Wichtige Grundsätze um gasförmige NH_3-Verluste zu vermeiden 6
4.2 Ammoniakverluste bei Harnstoffdüngung 7

5. Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff 7

6. Langsam wirkende, stabilisierte Stickstoffdünger 8
6.1 Ammoniumernährung der Pflanze 8
6.2 Stabilisierte Stickstoffdünger 8
6.3 CULTAN- Verfahren 9
6.4 Einsatz von AHL 10
6.4.1 Terminierung und Verträglichkeit 10

7. Übersicht gebräuchlicher N-Düngemittel 11

8. Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung in Deutschland 12
8.1 Bestimmung des verfügbaren Bodenstickstoffs „N-min“ 12
8.2 Bilanzierung des Dünger-Bedarfs 12
8.2.1 Bilanzierungsbeispiel für Silomais 13

8.3 Weitere Verfahren der N-Bedarfsermittlung 14
8.3.1 Sensortechnik 14
8.3.1.1 Prinzip 14
8.3.1.2 Eichung bzw. Kalibrierung 14
8.3.2 N- Tester 14

NÄHRSTOFF PHOSPHAT 15

1. Mangelsymptome 15

2. Phosphat-Formen 15
2.1 Kalziumphosphat-Salze 15
2.2 Eisen- und Aluminiumphosphat- Salze 16
2.3 Organische Phosphatverbindungen 16
2.4 An Kolloide gebundenes Phosphat 16

3. Phosphatmobilität im Boden 17
3.1 Abhängig vom pH-Wert 17
3.2 Abhängig vom Humateffekt 17

4. Schlussfolgerungen für die Düngung 18
4.1 Übersicht wichtiger Dünger 18

NÄHRSTOFF KALIUM 19

1. Mangelsymptome 19

2. Tonminerale enthalten natürliches Kalium 19

3. Bindungsformen von Kalium in Tonmineralen 20

4. Vorgänge und Verfügbarkeit im Boden 20

5. Schlussfolgerungen für die Düngung 21

6. Übersicht wichtiger Dünger 21

ERMITTLUNG DES DÜNGERBEDARFS FÜR PHOSPHAT UND KALIUM 22

1. CAL- Methode 22
1.1 Bodenproben ziehen 22
1.2 Untersuchung des Bodens im Labor 22
1.3 Einteilung der Laborergebnisse in Gehaltsstufen 23
1.4 Dünge-Empfehlung 23

2. EUF- Methode 24
2.1 Methode und Vorgehensweise 24

NÄHRSTOFF MAGNESIUM 25

1. Mangelsymptome 25
1.1 Natürliche Magnesiumquellen und Mangelstandorte 25

2. Beweglichkeit im Boden 25
2.1 Ionen- Antagonismus bei der Nährstoffaufnahme 25

2.2 Konkurrenz an den Tonmineralen 26

3. Düngung 26
3.1 Blattdüngung mit Bittersalz 26
3.2 Bodendüngung 26

KALK 27

1. Folgen einer fehlenden Kalkversorgung 27
1.1 Gestörte Nährstoffdynamik im Boden 27
1.2 Gestörte Bodenstruktur 27
1.3 Extremer Ionenantagonismus an der Wurzel 27
1.4 Säureschäden 27

2. Standortabhängig optimale pH-Werte 28
2.1 Gründe für die Unterschiede im optimalen pH-Wert 28

3. Kalkdüngung 28
3.1 Düngemittel und Kalkform 28
3.2 Welche Kalkart für welchen Boden? 29
3.2.1 Branntkalk (CaO, Kalziumoxid) 29
3.2.2 Kohlensaure Kalke ($CaCO_3$= Kalziumcarbonat, $MgCO_3$= Magnesiumcarbonat) 29
3.2.3 Zusammenfassung 29

NÄHRSTOFF SCHWEFEL 30

1. Mangelsymptome 30
1.1 Symptome und Besonderheiten bei Raps 30

2. Typische Mangelstandorte 30

3. Schwefeldüngung 31
3.1 Organische Düngung 31
3.2 Mineralische Düngung 31

SPURENELEMENTE 33

1. Entzüge wichtiger Spurenelemente 33

2. Verfügbarkeit im Boden 33
2.1 Abhängig vom pH-Wert 33
2.2 Durchlüftung des Bodens 33
2.3 Gehalt an organischer Substanz (Humus) 34
2.4 Tongehalt 34
2.5 Ionenkonkurrenz an der Wurzel 34
2.5.1 Konkurrenz in der Pflanze 34

3. Mangan 35
3.1 Mangan-Mangelsymptome 35
3.2 Düngung 35

4. Bor 36
4.1 Mangelsymptome 36
4.2 Düngung 36

Nährstoff Stickstoff

Quellen:

http://www.chemiedidaktik.uni-kiel.de/2000_folien/23_stickstoff/sld001.htm

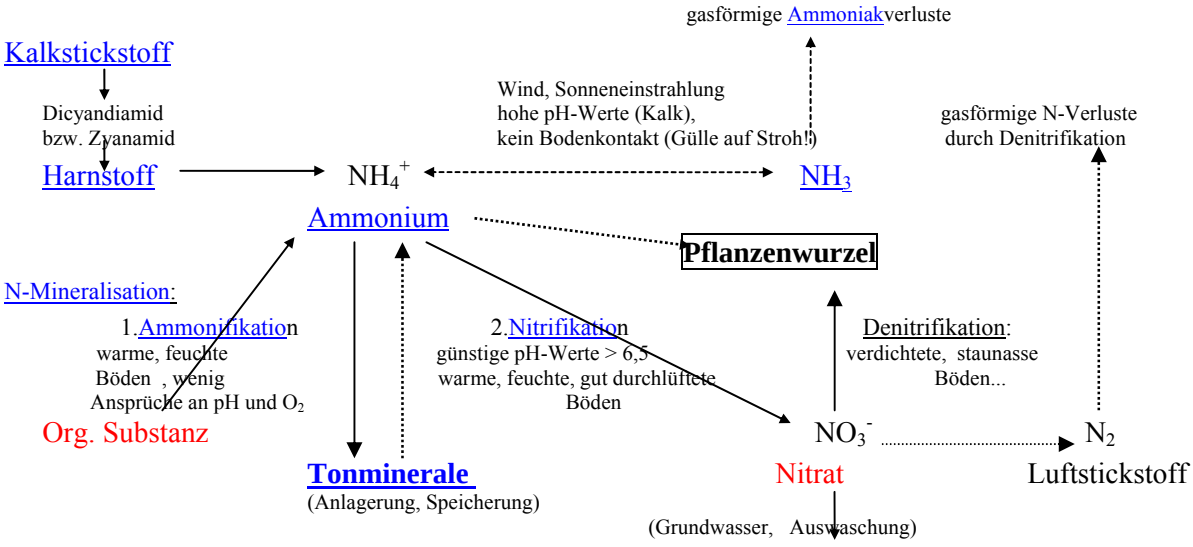
http://bisz.suedzucker.de/Duengung/Naehrstoffe/Stickstoff__N_/Stickstoff_im_Boden/

http://www.kali.ch/d/produkte/duenger/duenger.htm

http://www.seilnacht.tuttlingen.com/Lexikon/HaberBo.htm

1. Stickstoffkreislauf

Der **Stickstoffkreislauf** zeigt die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen N-Formen im Boden:



- Kalkstickstoff wird zu Harnstoff umgewandelt (Bodenfeuchte wichtig!)
- Aus Harnstoff $CO(NH_2)_2$ entsteht Ammoniak bzw. Ammonium (Enzym Urease)
- Ammonium (NH_4^+) und Ammoniak (NH_3) stehen in einem gewissen Gleichgewicht zueinander (abhängig vom pH-Wert). Ammoniak ist für die gasförmigen N-Verluste bei Gülledüngung, aber auch bei Harnstoff- oder AHL- Düngung verantwortlich.
- Aus der Mineralisation der org. Substanz werden Ammonium und andere Nährstoffe frei
- Ammonium (NH_4^+) und andere Kationen werden an den Oberflächen der Tonminerale zwischengespeichert.
- Die Pflanzenwurzel kann NH_4^+ aufnehmen (Ammoniumernährung mit stabilisiertem Dünger, CULTAN- Verfahren...)
- Ammonium im Bodenwasser wird durch Bakterien zu Nitrat umgebaut (nitrifiziert).

Mineralisation (= Ammonifikation und Nitrifikation) ist ein biologischer Prozess (bakteriengesteuert!), für den Wärme, günstige pH-Werte, Sauerstoff und Bodenfeuchtigkeit wichtig sind!

- Nitrat (NO_3^-) ist die wichtigste N-Form für die Pflanze und kann ausgewaschen werden (Anlagerung nur an Humus- Kolloide möglich). In sauerstoffarmen, staunassen Böden z.T. Umwandlung in Luftstickstoff möglich (10-30% gasförmige N-Verluste)

2. Mangelsymptome

Quelle: http://www.tll.de/visuplant/vp_11.htm?vp und
http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/stickstoff.htm

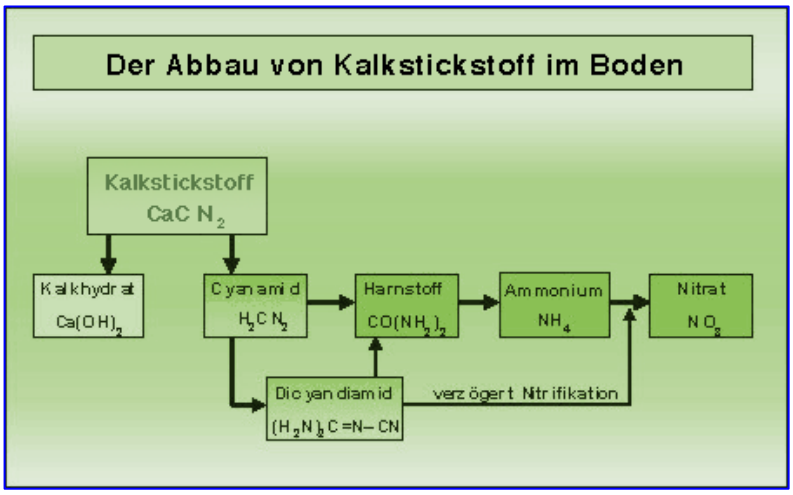
Beispiel Gerste

An älteren Pflanzenteilen beginnend, später an gesamter Pflanze…

- Aufhellungen
- Kümmerwuchs
- ältere Blätter sterben vorzeitig ab

3. Wirkungen des Kalkstickstoffs

Quelle: http://www.kalkstickstoff.de/



Für die dem Kalkstickstoff zugeschriebene

- herbizide,
- fungizide und
- nitrifikationshemmende

Wirkung ist das bei der Umsetzung entstehende Zyanamid und (später) Dizyandiamid verantwortlich.

Wichtig: ausreichende Bodenfeuchte und ein früher Einsatz.

Wirkung und Einsatzbereiche von Cyanamid sind u.a. ...

- Bekämpfung keimender Unkräuter im Vorauflauf und frühen Nachauflauf (zu große Unkräuter werden nicht erfasst!)
- Schneckenbekämpfung in Raps (Tiere müssen möglichst direkt getroffen werden (ähnlich wie beim Einsatz von reinem Branntkalk)
- Bekämpfung von Sklerotina in Raps

Problem: Nicht termingerechte N-Wirkung!

Die nitrifikationshemmende Wirkung von (hergestelltem) Dizyandiamid wird eingesetzt in

- stabilisierten Ammonium- Düngemitteln (Alzon,) oder
- Didin als Güllezusatz (s. unten)

4. Gasförmige Stickstoffverluste

4.1 Vermeidung durch Einarbeitung

Kommt Ammoniak (NH_3) mit der Bodensäure in Berührung, wird es zu Ammonium (NH_4^+) umgewandelt, welches die gasförmigen Eigenschaften verliert und sich an die Tonminerale anlagert.

$$NH_3 + H^+ \text{ (Bodensäure)} \rightarrow NH_4^+ \rightarrow \textbf{Anlagerung an Tonminerale}$$

Bodenkontakt verringert gasförmige N-Verluste, deshalb…

Rasche Einarbeitung der Jauche und Gülle wichtig!

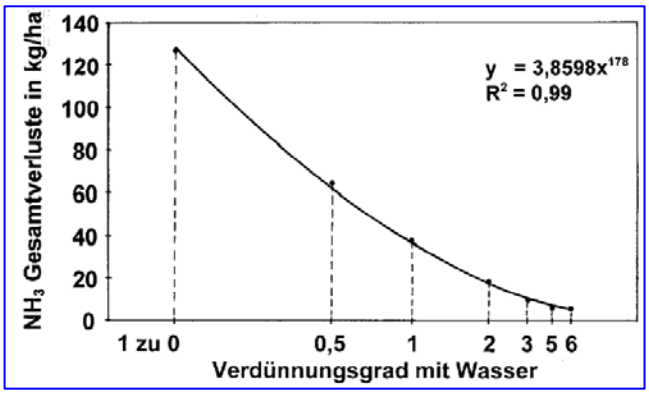
4.1.1 Stickstoffverluste bei Gülledüngung

Ausbringung auf..	kühl, regnerisch	warm, windig
nicht bearbeitete Stoppel	ca. 30%	ca. 50%
bearbeitete Stoppel	ca. 15%	ca. 30%
Häckselstroh	ca. 30%	ca. 60%

Allgemein zeigt Rindergülle höhere Verluste als Schweinegülle.

4.1.2 Wichtige Grundsätze um gasförmige NH_3-Verluste zu vermeiden

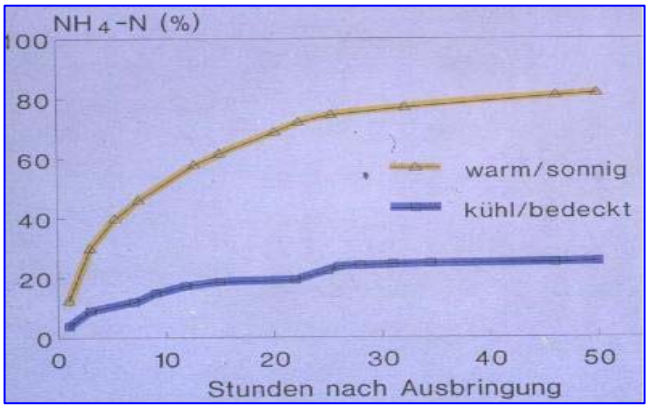
Quelle: http://www.ipf.uni-bonn.de



Wasserzusatz:

Verdünnte Gülle verringert die Verluste und erhöht die Verträglichkeit

Wasser ist der beste Güllezusatz!



Witterung:

- Kühl, regnerisch: ca. 20% Verluste
- Warm, windig: ca. 80%!!

Regenwetter und sofortiges Einarbeiten wichtig!

4.2 Ammoniakverluste bei Harnstoffdüngung

Wie bei Gülle, so ist auch bei Harnstoff die Gefahr gasförmiger Stickstoffverluste gegeben. Versuche der TU München-Weihenstephan (Dr. Gutser) zeigten

10-20% gasförmige Verluste (NH_3) bei "Nichteinarbeitung".

Damit wäre ein Preisvorteil von Harnstoff wieder verloren.

Deshalb gelten auch hier die Grundsätze "Güllewetter" und „Einarbeitung“

Als Beispiel eines Harnstoffdüngers kann Piagran 46 der Firma SKW genannt werden.

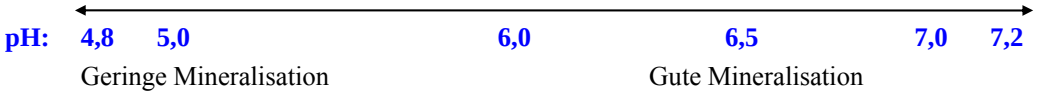
Quelle: http://www.skwp.de/deutsch/main-nav/produkte/agrochemie.htm

5. Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff

Die Stickstoff- Mineralisation wird von Bakterien durchgeführt

Das Bodenleben („Biologische Aktivität“) und damit die Freisetzungsgeschwindigkeit von Ammonium und Nitrat ist abhängig von...

1. Nährstoffgehalt der org. Substanz:
   Je nährstoffreicher, desto rascher
2. pH-Wert:
   Je saurerer der Boden, desto langsamer die Umsetzung

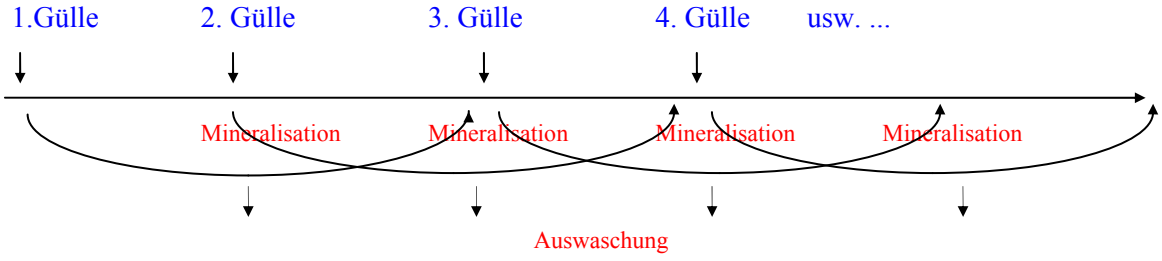


3. Bodenstruktur:
   feuchte, gut durchlüftete Böden für gute Umsetzung wichtig
4. Bodentemperatur:
   Je wärmer, desto besser.

In Abhängigkeit dieser Standorteigenschaften gelten folgende **Faustzahlen** für die Mineralisation

	N_{ges} kg/m³ kg/t	davon org. N	Mineralisation von org. N	
			im ersten Jahr	in Folgejahren
Rinder-Gülle	4	2 kg (50%)	**10%**	**1-3% pro Jahr**
Schweine-Gülle	6	2 kg (33%)		
Rinder-Stallmist	6	5 kg (80-90%)		

Zeitversetzte Wirkung des organisch gebundenen Gülle-Stickstoffs durch Mineralisation:

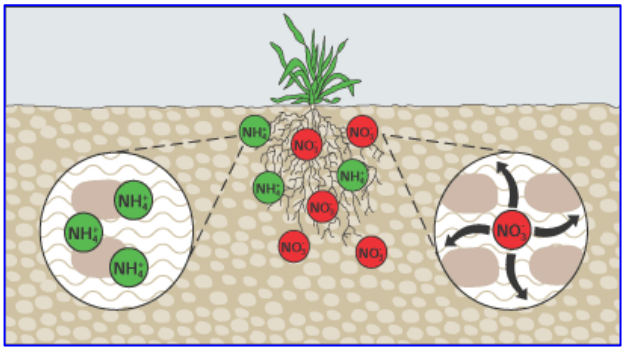


Die Wirkung des organisch gebundenen Stickstoffs in der Gülle ist durch die zuerst ablaufende Mineralisation zeitversetzt.

6. Langsam wirkende, stabilisierte Stickstoffdünger

6.1 Ammoniumernährung der Pflanze

Die Pflanze kann sich nicht nur vom Nitrat ernähren, sondern auch wesentlich von Ammonium:



Durch Düngung hohe NH_4^+-Konzentration an den Tonmineralen

↓

Tonminerale speichern Ammonium und geben es langsam wieder frei

↓

Pflanzenwurzel nimmt Ammonium auf

Je mehr Ammonium an den Tonmineralen vorhanden ist, desto länger und gleichmäßiger kann sich die Pflanze davon ernähren:

„Nachhaltig“ wirkende Dünger…

haben als Stickstoffform vor allem Ammonium (und/oder Harnstoff, auch Kalkstickstoff) und können dadurch die Menge des Ammoniums an den Tonmineralen erhöhen.

Die Pflanze kann sich dadurch über einen längeren Zeitraum von Ammonium ernähren.

Wie lange wirkt ein Ammonium- Dünger?

Je besser und schneller die Nitrifikation ablaufen kann, desto weniger nachhaltig ist die N-Wirkung dieser Dünger.

Realistischer Zeitraum: „eine bis mehrere Wochen“

6.2 Stabilisierte Stickstoffdünger

Stabilisierte Stickstoffdünger sind „Ammoniumdünger“, in denen nitrifikationshemmend wirkende Substanzen eingearbeitet sind:

- **Alzon 46**
  http://www.skwp.de/deutsch/main-nav/produkte/agrochemie/alzon%C2%AE_46.htm
- **ENTEC**: http://www.compo-profi.de/produkte/entec_duenger.php

Die Substanzen hemmen nitrifizierende Bakterien und verhindern über einen gewissen Zeitraum die Umsetzung des NH_4^+ zu Nitrat, das ausgewaschen werden könnte.

Die Wirkungsdauer einer Stabilisierung ist deshalb ebenfalls abhängig von...

- Bodentemperatur: je wärmer desto rascher,
  und wesentlich vom...
- pH-Wert: bei 5,5 und kleiner „sehr langsam“, bei 6,5 und größer „sehr rasch“

Stabilisierungszeitraum: „wenige Wochen bis einige Monate“

6.3 CULTAN- Verfahren

Die Strategie des CULTAN-Verfahrens (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) ist es, durch eine einmalige Injektion ein

Ammonium- Depot in Wurzelnähe

anzulegen und somit eine gleichmäßige Ernährung der Pflanze sicherzustellen.

Hauptargument der Firmen:

Ein bedingt durch die „Depotwirkung“ wesentlicher Vorteil von Ammoniumdüngern ist die

Reduzierung der Düngungstermine von 3 auf 2 oder 1 Die Mehrkosten für den Dünger können somit oft wieder aufgefangen werden.

Ausbringungstechnik:

Quelle: http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1159970/cultan_mais_2004.pdf

15 cm tiefe Injektion des Ammonium- Düngers

Weitere Quellen: Beratung Baden-Württemberg

6.4 Einsatz von AHL

Quelle: http://www.skwp.de/deutsch/main-nav/produkte/agrochemie/piasan%C2%AE_28.htm

Der Flüssigdünger AHL (Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung) hat ein spezifisches Gewicht von 1,28 kg/Liter und enthält somit

- 32 Vol-% N (32 kg N in 100 Liter Lösung) bzw.
- 28 Gew.-% N (28 kg N in 100 kg Lösung) , davon...
  - 14% Harnstoff-N: als (je nach Bodenbedingung) sehr (?) langsam fließende N-Quelle (s. oben NH_2 oder Amid-N),
  - 7% Ammonium-N (NH_4): als langsam fließende N-Quelle und
  - 7% Nitrat-N (NO_3), schnell wirkend, da im Boden nicht fixiert an Tonminerale

6.4.1 Terminierung und Verträglichkeit

http://www.skwp.de/deutsch/main-nav/produkte/agrochemie/piasan%C2%AE_28/anwendung.htm

(Firmenempfehlung, geändert)

1. **Getreide:**
   Erste Gabe normale Aufwandmenge möglich, zweite Gabe bis 40 kg N/ha.
   Eine dritte Gabe in die Ähre sollte nur mit Schleppschläuchen erfolgen!

2. **Mais:** Normale Aufwandmengen vor Feldaufgang möglich.
3. **Raps:** Normale Aufwandmenge nach Winter möglich.
4. **Rüben**: zur Saat
5. **Kartoffeln:** zur Saat

Witterung beim Spritzen beachten! Erfahrung im praktischen Einsatz wichtig!

Grundregeln zur Verträglichkeit:

- Wachsschicht muss gut ausgebildet sein
- keine Anwendung unmittelbar nach Niederschlagsperioden oder in nasse Bestände
- Frosttrockene oder stark mit Raureif besetzte Pflanzen können behandelt werden, nicht jedoch nur wenig bereifte - bei Taubeginn Arbeit beenden.
- Wechselfröste im Frühjahr ebenso wie intensive Sonnenstrahlung und hohe Temperaturen im Sommer vermeiden
- mittel- und großtropfige Düsen bei niedrigem Druck verwenden
- unter kritischen Bedingungen Mehrlochdüsen oder Schleppschläuche anwenden
- bevorzugt in den Nachmittags- und Abendstunden anwenden

Mischungen mit Wasser mindest 1:3, besser 1:4 (1 Teil AHL + 3 Teile Wasser)

7. Übersicht gebräuchlicher N-Düngemittel

Quelle http://www.beiselen.de/de/beratung/duengemittel/naehrstoffberatung.html

N-EINZELDÜNGER	Gesamt-stickstoff	Nitrat-stickstoff	Ammonium-stickstoff	Carbamid-stickstoff	Cyanamid-stickstoff	Schwefel		Magnesium		Sonstige
						gesamt	wasser-löslich	gesamt	wasser-löslich	
KAS	27	13,5	13,5					4	1,1	ca.12% CaO
Ammonsulfatsalpeter	26	7,5	18,5			13	13			
Ammonsulfatsalpeter+Bor	26	7,5	18,5			13	13			0,3% Bor
Piamon 33-S	33		10,4	22,6		12	12			
Piasan / AHL	28	7	7	14						
Schwefels. Ammoniak	21		21			24	24			
Dynamag-S	24	12	12			6	6	6	6	
Dynamon-S / SAN 24	24	12	12			7	7			
Piasan 24-S	24	5	8	11		3	3			
Harnstoff / Piagran	46			46						
Entec 26	26	7,5	18,5			13	13			stabilisiert
Alzon 46	46			46						stabilisiert
Alzon flüssig	28	7	7	14						stabilisiert
Alzon flüssig-S	24	5	8	11		3	3			stabilisiert
Kemistar SAN 22	22	11	11			5	5	3	1	
Perlka Kalkstickstoff	19,8	1,5			>15					>50 % CaO 0,5 % Dicyandiamid-stickstoff

NPK/NK-Dünger	Gesamt-stickstoff	Nitrat-stickstoff	Ammonium-stickstoff	Phosphat		Kaliumoxid Kaliumchlorid	Magnesium-oxid		Schwefel		Sonstige
				ammon-citrat u. wasser-löslich	wasser-löslich	wasser-löslich	gesamt	wasser-löslich	gesamt	wasser-löslich	
Nitrophoska 20+8+8 (+3+4)	20	9	11	8	5	8	3	2,4	4	3,2	
Nitrophoska 12+12+17+ (+2+6)	12	4	8	12	8,5	17	2	1,6	6	4,8	+B+Fe+Zn
Nitrophoska 13+9+16 (+4+7)	13	3,8	9,2	9	6,3	16	4	3,2	7	5,6	
Nitrophoska 13+10+20 (+3 S)	13	4,8	8,2	10	6,5	20			3	2,4	
Nitrophoska 13+13+21 (+2 S)	13	5	8	13	8,5	21			2	1,6	
Nitrophoska 15+15+15 (+2 S)	15	6	9	15	10	15			2	1,6	
NPK 5+16+24	5		5	16	12,8	24	4		4	4	
NPK 6+20+30	6		6	20	16	30			3	3	
NPK 10+20+20 (+8 S)	10		10	20	16	20			8	8	
NPK 11+8+16	11		11	8	6,4	16	4		10	10	
NPK 12+12+12	12		12	12	9,6	12	2		11	11	
NPK 14+10+16 (+5 S)	14	3,5	10,5	10	6	16			5		
NPK 14+10+20 (+3 S)	14	4	10	10	7	20			3	2,4	
NPK 15+15+10 (+4 S)	15	6	9	15	11	10			4	4	
NPK 17+13+13	17	11,7	5,3	13	8,5	13					
NPK 20+5+5 (+3+5)	20	8	12	4	3,5	5	3	0,8	5	2,5	
NPK 22+6+12 (+5 S)	22	10	12	6	4,5	12			5	3	

http://www.yara.de/fertilizer/products/nitrogen_fertilizers/index.aspx

8. Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung in Deutschland

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/

Aus ökologischen Gründen (Stickstoffbelastung des Grundwassers) ist es in der Europäischen Union Pflicht, den Stickstoffbedarf zu ermitteln und damit eine Überdüngung zu vermeiden. Die Vorschriften dafür sind in Deutschland in der **Dünge-Verordnung** festgelegt.

8.1 Bestimmung des verfügbaren Bodenstickstoffs „N-min“

Auf jedem Schlag ist jährlich die im Boden verfügbare N- Menge zu ermitteln oder zu schätzen. **Dies kann erfolgen durch..**.

- Bodenuntersuchung oder
- Staatlich anerkannte Schätzverfahren

Der verfügbare Bodenstickstoff wird als Nitrat und Ammonium in kg N/ha ermittelt.

8.2 Bilanzierung des Dünger-Bedarfs

Grundlage der N - Düngung ist in Süddeutschland eine **Bilanzierung**, die von folgenden Werten abhängig ist

Gesamtbedarf

minus

verfügbarer Bodenstickstoff (N-min)

minus

Nachlieferung aus Mineralisation von organischen Stickstoff

ergibt

Dünger- Bedarf

Faustzahlen für den Gesamtbedarf:

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/10330/index.php

- Winterweizen (75 dt/ha): 240 kg N/ha
- Winterraps (45 dt/ha): 210 kg N/ha
- Kartoffeln (je nach Sorte, 450 dt/ha): 140 bis 230 kg N/ha
- Körnermais (100 dt/ha): 190 kg N/ha
- Silomais (550 dt/ha): 190 kg N/ha

N-min- Werte:

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/28835/index.php

Je nach Boden, Vorfrucht und Winterwitterung sind im Frühjahr vorhanden…

20 bis 60 (80) kg N/ha

Nachlieferung:

Je nach Vorfrucht, Boden und Düngung im Herbst…

0 bis 40 (60) kg N/ha

8.2.1 Bilanzierungsbeispiel für Silomais

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/10330/index.php (S. 29)

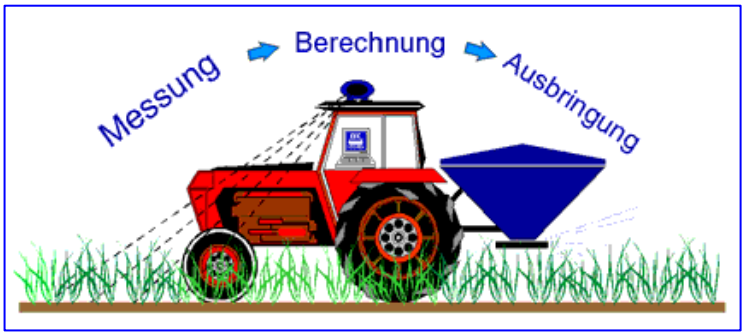
Hauptfrucht	z. B. S-Mais	Ertrag: 550 dt/ha
Schlag	Hofacker	
	kg N/ha	
1. Sollwert (siehe Tab. 17)	190	
2. N_{min}-Gehalt (nach LfL)	- 70	N_{min} nach aktuellen Veröffentlichungen
3. Bestandsentwicklung (bei Winterungen) schwach +10 | normal 0 | gut -10	0	
4. Bodenart[1] leicht +10 | mittel/schwer 0 | humos -10 | anmoorig -20	0	Nachlieferung aus Humus: 0 kg N/ha
5. N-Nachlieferung aus org. Düngung[2] GV/ha <0,3: 0 | 0,4-0,9: -10 | 1,0-1,5: -20 | 1,6-2,1: -30 | >2,1: -40	-20	Nachlieferung aus org. Düngung: 20 kg
6. Vorfrucht - Gruppe (siehe Tab. 19) A 0 | B -10 | C -20 | D -30 | E -40	0	Nachlieferung aus Vorfrucht: 0 kg
7. Vorfrucht - Ernterückstände Strohbergung: ja 0 | nein +10 Blattbergung: ja 0 | nein -10	+10	Fixierung durch Strohdüngung: 10 kg
8. Zwischenfrucht (vor Hauptfrucht) Nichtleguminosen abgefahren: ja 0 | nein 0 Leguminosen abgefahren: ja -20 | nein -30 ohne Zwf. 0	0	Nachlieferung durch Leguminosen-Zwischenfrucht
9. Anrechnung einer Herbstdüngung (nach Vorfruchternte bis Winter) mineralisch -20 | Gülle, Fruchtwasser -20 | Stallmist, Kompost -10 | ohne Düngung 0	0	Nachlieferung aus Herbstdüngung
10. notwendige Düngung mineralisch + organisch	**= 110**	Errechneter Düngungs- Bedarf
	minus	
11. org. Düngung (siehe Tab. 20/21)	- 66	Anrechnung der org. Düngung
12. notwendige mineralische Düngung	**44**	Mineralische Ergänzungsdüngung

8.3 Weitere Verfahren der N-Bedarfsermittlung

8.3.1 Sensortechnik

Quelle: http://www.yara.de/n-tools-and-services/index.aspx

8.3.1.1 Prinzip



- Mit Hilfe eines Sensors am Traktor wird kontinuierlich die Farbintensität (Grün) des Bestandes gemessen und davon rechnerisch über PC der N- Bedarf abgeleitet.
- Die errechnete Düngermenge wird über Düngerstreuer ausgebracht

8.3.1.2 Eichung bzw. Kalibrierung

Zu Beginn der Düngung wird dem Computer bei einer bestimmten Stelle des Bestandes (= bestimmte Farbintensität) die gewünschte oder durch N- Tester (s. dort) ermittelte Düngermenge eingegeben. Der Computer errechnet die weitere Düngermenge im Bestand in Abhängigkeit dieser Ersteinstellung.

8.3.2 N- Tester

Quelle:
http://www.yara.de/fertilizer/tools_and_services/n_tester/index.aspx
http://www.yara-n-tester.de/

- Mit Hilfe dieses Handgerätes wird der Nitratgehalt eines Blattes ermittelt und daraus der N- Bedarf errechnet.
- Nach staatlichen Aussagen für die praktische Düngung wenig geeignet (Hr. Hege)
- N- Tester kann für Kalibrierung des N-Sensors verwendet werden

Nährstoff Phosphat

1. Mangelsymptome

Quelle http://www.tll.de/visuplant/vp_l1.htm?vp und
http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/phosphor.htm

Phosphatmangel tritt insbesondere bei schlechten „Mobilitätsbedingungen“ auf in z.B. sauren, verdichteten Böden (s. oben).

In Mais

In Weizen

Typische Mangelsymptome sind…

- ältere Blätter rötlich-violett verfärbt.
- Rotverfärbung auch am Stängel.
- Die Pflanzen sind klein und steif.
- später Absterben der älteren Blätter.

2. Phosphat-Formen

2.1 Kalziumphosphat-Salze

Dazu gehören **alle Düngemittel**. Auch **natürliches Phosphat** im Boden liegt (je nach pH-Wert) in dieser Form vor.

a) Rohphosphate
werden in Lagerstätten abgebaut, zerkleinert und als Düngemittel eingesetzt (Hyperphos...).
Sie sind unter normalen pH- Werten nur sehr langsam löslich. In stark sauren Böden erhöht sich ihre Löslichkeit.

b) teilaufgeschlossene oder voll aufgeschlossene Phosphate:
Bei der Herstellung von Düngemitteln werden Rohphosphate mit Säure „aufgeschlossen“ und somit löslicher gemacht.

Einstufung der Löslichkeit:

- Sehr langsam löslich:
  mineralsäurelösliche Formen (Schwefelsäure, Phosphorsäure):
  Rohphosphate wie z.T. Novaphos, z.T. Hyperphos
- Langsam löslich:
  ameisensäurelösliche Formen wie z.T. Carolonphosphat, z.T. Hyperphos
- Etwas schneller löslich:
  zitronensäurelösliche Formen wie z.B. Thomasphosphat
- Sehr schnell löslich, sofort verfügbar:
  wasserlösliche Formen wie z.B. Superphosphat, Tripple-Phosphat, z.T. Novaphos

2.2 Eisen- und Aluminiumphosphat- Salze

Diese **nur im Boden** vorkommenden Formen entstehen dadurch, dass gelöstes Kalzium- Düngerphosphat umgewandelt wird in...

- Aluminiumphosphat: $Al\ PO_4$ (Variscit)
- Eisenphosphate: $Fe\ PO_4$ (Strengit) oder $Fe_3\ (PO_4)_2$ (Vivianit)

Diese Phosphate sind vor allem in sauren Böden vorhanden, wenn Aluminium- (Al^{3+}) und Eisen-Ionen (Fe^{2+}) verstärkt aus Tonmineralen freigesetzt werden (s. unten pH- abhängige Löslichkeit von Phosphat!).

Die Löslichkeit der verschiedenen Phosphate ist sehr stark abhängig vom pH-Wert des Bodens! Während Kalziumphosphate im sauren Bereich gut löslich sind, sind...

Eisen- und Aluminiumphosphate bei höheren pH- Werten gut löslich.

Andererseits kann eine übermäßige Phosphatversorgung im Boden zu Mangelversorgung mit dem Spurenelement Eisen führen:

bei Phosphatüberversorgung Eisenmangel möglich!
http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/eisen.htm

2.3 Organische Phosphatverbindungen

Phytin:

Phytin ist eine ringförmige Verbindung mit sechs Phosphatresten. Es ist vor allem im Getreide zu finden.

Schweine- und vor allem Hühnermist haben hohe Gehalte an Phytin.

Phytin ist im Boden sehr gering löslich

Organisches Phosphat und Humus:

Wie andere Nährstoffe auch, ist Phosphat auch in organischer Substanz eingebaut und kann bei Mineralisation dieser organischen Substanz freigesetzt werden.

2.4 An Kolloide gebundenes Phosphat

Ein relativ großer Anteil des Phosphats wird auch gebunden an Austauscher- Oberflächen (Kolloide) wie z.B. Humus und Oxide.

3. Phosphatmobilität im Boden

3.1 Abhängig vom pH-Wert

Für die Verfügbarkeit des Phosphats spielen wie erwähnt der **pH-Wert** und die Versorgung des Bodens mit **organischer Substanz** eine große Rolle.

Niedrige pH-Werte (unter pH 5,6) bewirken:

- Fe - und Al - Ionen werden freigesetzt.
  Folge: Bildung von schwerlöslichem Al - und Fe - Phosphaten
- organische Austauscher werden positiv (H^+ - Ionen lagern sich dort an)
  Folge: Das negative Phosphat - Ion wird an die positiven Austauscher gebunden und festgelegt.

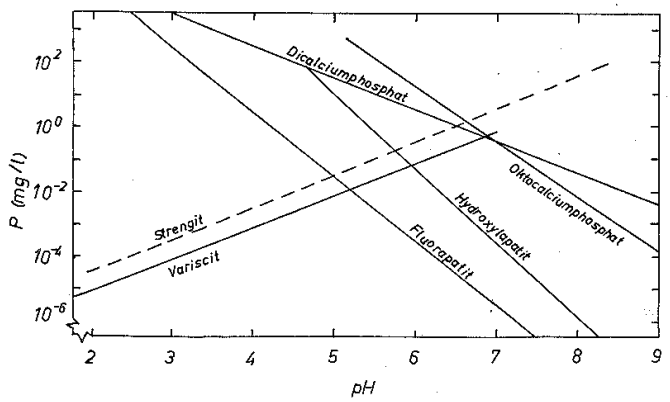


Abb. 111 Löslichkeit einiger Phosphate in Abhängigkeit vom pH bei 25 °C. (Strengit im Gleichgewicht mit Fe(III)-hydroxid, Variscit mit Hydrargillit, Fluorapatit mit Calciumfluorid und wie die übrigen Ca-phosphate mit einer Ca-Aktivität von 0,005 m)

Optimale Phosphatlöslichkeit bei pH 6- 6,5

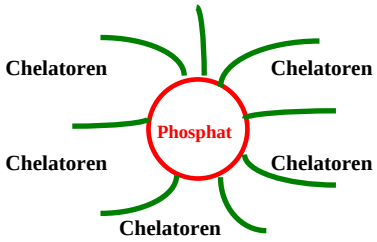
Im Boden sind jeweils nur 1-2 kg Phosphat gelöst! Deshalb ist eine

Optimale Löslichkeit und ständige Nachlieferung für Pflanzenernährung wichtig!

3.2 Abhängig vom Humateffekt

Eine organische Düngung mit Stroh, Zwischenfrucht, Mist und Gülle bewirkt einen „Humateffekt“: (in Verbindung mit optimalen Mineralisationsbedingungen)

- Freisetzung von organischen Verbindungen, die als Chelatoren wirken.
- Die Chelatoren umhüllen das Phosphat und machen es somit löslicher.



Humateffekt:
Bessere Verfügbarkeit von Phosphat

4. Schlussfolgerungen für die Düngung

Eine gute Phosphatnachlieferung ist wichtig, da jeweils nur 1 bis 2 kg Phosphat/ha gelöst sind. Deshalb müssen für eine gute Phosphatverfügbarkeit optimale Bodenbedingungen vorhanden sein:

- Saure Böden kalken!
  dadurch Verbesserung der Phosphat - Verfügbarkeit.
- Verdichtete Böden lockern!
  Luft verbessert die Mineralisation und Phosphatverfügbarkeit (Humateffekt)

  Phosphatmangel ist oft ein Zeichen für Bodenverdichtungen!
- In „schlechten“ Böden ist für eine sofortige Wirkung nur wasserlösliches Phosphat geeignet, z.B. Superphosphat, Tripple-Phosphat.
- Bei optimalen Bodenbedingungen ist auch der Einsatz von billigeren Rohphosphaten sehr gut möglich.
- Phosphatdüngemittel möglichst einarbeiten!
  Bessere Verfügbarkeit in Wurzelnähe

  Oberflächig ausgebrachtes Phosphat hat keine Sofortwirkung
  In Mais „Unterfußdüngung“ zur Saat

4.1 Übersicht wichtiger Dünger

Источник Источник http://www.beiselen.de/de/beratung/duengemittel/naehrstoffberatung.html
и http://www.kali.ch/d/produkte/duenger/feld/phosphor.htm

P/PK-DÜNGER	Phosphat					Magnesiumoxid		Schwefel	
	wasser-löslich	mineral-säure-löslich	neutral-ammonci-trat-löslich	neutral-ammonci-trat- und wasser-löslich	wasser-lösliches Kaliumoxid	gesamt	wasser-löslich	gesamt	wasser-löslich
PK 10+25 (+4 +5)	4,0	10		7,5	25	4	2	6	4
PK 12+19 (+4+7)	5,0	12		9	19	4	1	7	3,5
PK 12+24 (+6)	6,5	12		8,5	24			6	3
PK 14+14 (+4+8)	5,6	14		10,5	14	4	1	8	4
PK 15+20 (+7)	8,0	15		10,5	20			7	3,5
PK 16+16 (+7)	8,5	16		11,5	16			7	5
PK 20+30	19,0			20	30				
PK 25+25	23,0		25	25	25				
Superphosphat 18 (+11)	16,7		18		16,7			11	5,5
P 23	9,5	23						8	4
P 40	20,0	40							
TSP 46	43,5		45						

Nährstoff Kalium

1. Mangelsymptome

Quelle: http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/kali.htm
http://www.tll.de/visuplant/vp_l1.htm?vp

Auf sehr humosen Böden mit wenig Tonmineralen und wenn die Düngung vernachlässigt wird, können Mangelerscheinungen auftreten .

Dieser Mais *zeigte trotz fachgerechter Düngung deutlichen Kalimangel – ein Hinweis auf Kalifixierung durch Bodenbestandteile.*

Typische Mangelsymptome:

- ältere Blätter haben braune Ränder (Chlorosen)
- Später Absterben der Blätter

2. Tonminerale enthalten natürliches Kalium

Das in den Zwischenschichten befindliche Kali kann über längere Zeiträume hinweg an das Bodenwasser abgegeben werden. Dies bedeutet für die Bodenfruchtbarkeit:

Tonminerale sind wichtige natürliche Kaliquellen!

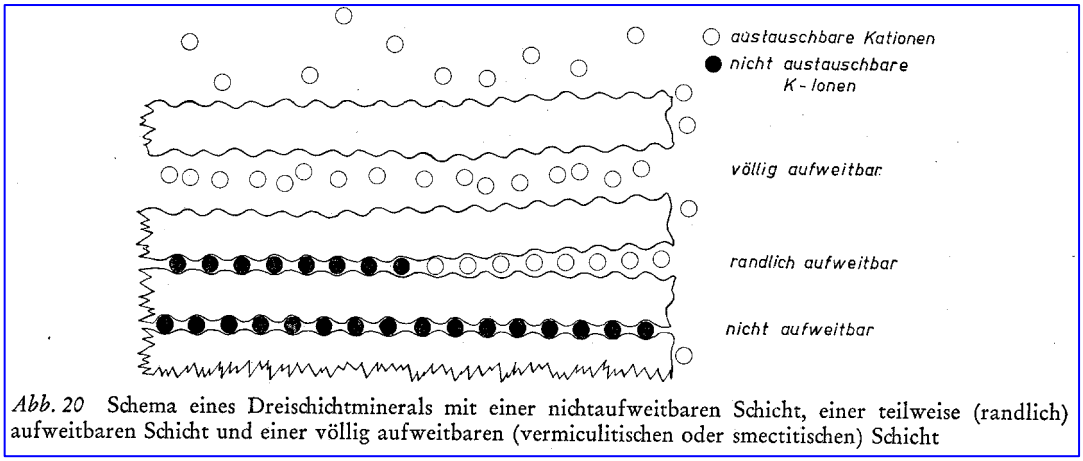


Abb. 20 Schema eines Dreischichtminerals mit einer nichtaufweitbaren Schicht, einer teilweise (randlich) aufweitbaren Schicht und einer völlig aufweitbaren (vermiculitischen oder smectitischen) Schicht

Quelle: Scheffer-Schachtschabel

3. Bindungsformen von Kalium in Tonmineralen

Das Kalium ist verschieden fest in oder an den Tonmineralen gebunden:

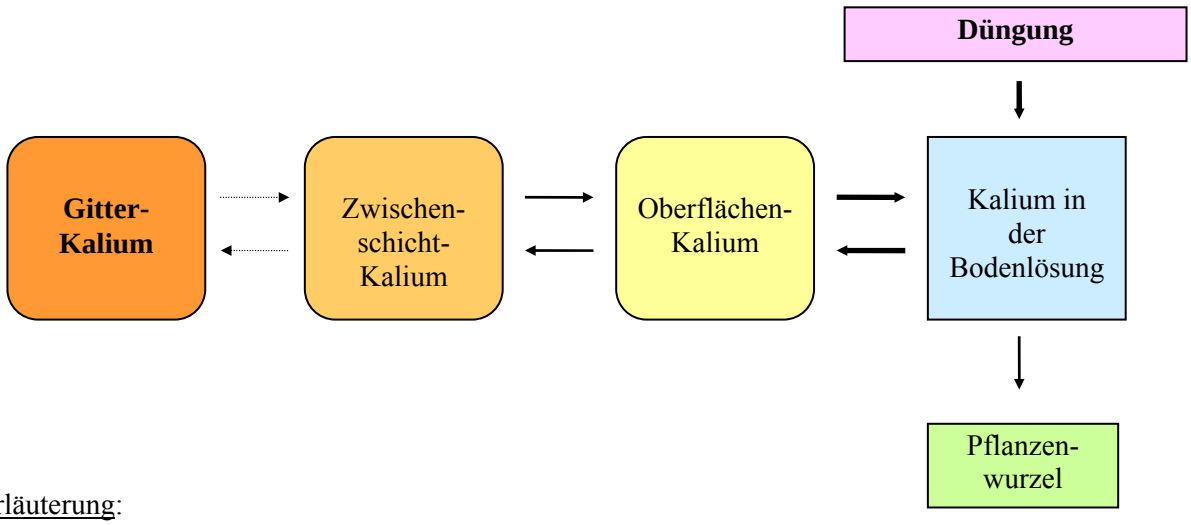
1. **Nicht pflanzenverfügbares Gitter-Kalium:**
   ist fest gebunden im Kristallgitter der Minerale. Tonminerale enthalten je nach Art bis zu 15 Gew.% Kali im Kristallgitter. Dies bedeutet bei z. B. 3500 to Ackerkrume pro ha, 20% Ton (lS/sL) und 10% Kalium in den Tonmineralen **70 to Kalium.**

   Gitterkalium ist nur "sehr langfristig" (Jahrhunderte?) durch Verwitterungsvorgänge verfügbar!

2. **Zwischenschichtkalium**
   Dieses Kalium befindet sich in den Zwischenschichten der Tonminerale und kann als Nährstoffreserve angesehen werden.

3. **Oberflächenkalium:**
   Das an den Oberflächen der Tonminerale angelagerte Kalium (und auch andere positive Nährstoffe wie NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}...) sind voll pflanzenverfügbar.
   Sie werden von der Oberfläche abgelöst (ausgetauscht), wenn
   - in der Bodenlösung diese Nährstoffe fehlen oder
   - sie von anderen positiven Nährstoffen (Überdüngung!) verdrängt werden.

4. Vorgänge und Verfügbarkeit im Boden



Erläuterung:

1. Das Kalium gelangt durch die Düngung in das Bodenwasser und an die Oberflächen der Tonminerale
2. Die Pflanze entzieht dem Bodenwasser Kalium, die Kali - Konzentration in dem Bodenwasser nimmt ab, Oberflächen - Kalium wird abgelöst und füllt das Bodenwasser wieder auf.
3. Oberflächen - Kalium wird durch Zwischenschicht - Kalium (langsam!) wieder aufgefüllt,
4. Gitter - Kalium wird (sehr langsam!) frei und setzt sich in die Zwischenschichten.

Eine Kalidüngung füllt die Oberflächen der Tonminerale wieder auf.

5. Schlussfolgerungen für die Düngung

In Mineralböden mit über 10% Ton kann Kalium auf Vorrat gedüngt werden. Die Tonminerale speichern das Kalium und geben es langsam ab

- Gesamtbedarf für 3-4 Jahre (gesamte Fruchtfolge) kann in 1-2 Gaben gegeben werden

Dies nennt man Schaukel- oder Fruchtfolgedüngung

Gilt auch für Phosphat…

- Phosphat wird in Form seiner Salze im Boden gespeichert
- Unter günstigen Bodenbedingungen (s. oben) lösen sich die Salze langsam auf.

6. Übersicht wichtiger Dünger

Quelle http://www.beiselen.de/de/beratung/duengemittel/naehrstoffberatung.html

P/PK-DÜNGER	Phosphat				wasser-lösliches Kaliumoxid	Magnesiumoxid		Schwefel	
	wasser-löslich	mineral-säure-löslich	neutral-ammonci-trat-löslich	neutral-ammonci-trat- und wasser-löslich		gesamt	wasser-löslich	gesamt	wasser-löslich
PK 10+25 (+4 +5)	4,0	10		7,5	25	4	2	6	4
PK 12+19 (+4+7)	5,0	12		9	19	4	1	7	3,5
PK 12+24 (+6)	6,5	12		8,5	24			6	3
PK 14+14 (+4+8)	5,6	14		10,5	14	4	1	8	4
PK 15+20 (+7)	8,0	15		10,5	20			7	3,5
PK 16+16 (+7)	8,5	16		11,5	16			7	5
PK 20+30	19,0			20	30				
PK 25+25	23,0		25	25	25				
Superphosphat 18 (+11)	16,7		18		16,7			11	5,5
P 23	9,5	23						8	4
P 40	20,0	40							
TSP 46	43,5		45						

Ermittlung des Düngerbedarfs für Phosphat und Kalium

1. CAL- Methode

Grundschema:

- Bodenuntersuchung und Einteilung in Gehaltsklassen (Labormethode s. Unterricht)
- Berechnung der Entzüge in Abhängigkeit vom Ertrag
- Ermittlung des Bedarfs in Abhängigkeit des Entzugs und der Bodenversorgung

1.1 Bodenproben ziehen

Wichtig für eine Entnahme der Bodenproben ist...

- Beprobung in Krumentiefe (20-25 cm), bei Grünland in Narbentiefe (10cm)
- Entnahme der Proben mit Bohrstock, gleichmäßig verteilt über den Schlag (1-2 ha)
- Mindestens 10-15 Einstiche, Bodenproben mischen, eine Tüte davon wird als Mischprobe an das Labor geschickt.

1.2 Untersuchung des Bodens im Labor

Quelle: http://www.staff.uni-mainz.de/emde/labor/pdf/laborskript.pdf

1. Im Labor wird der getrocknete Boden mit einer Pufferlösung versetzt:
   - 39,5 g **C**alcium**A**cetat + 77 g Calcium**L**actat + 89,5 ml Eisessig mit destilliertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt.
   - zum Gebrauch wird die Lösung nochmals 1 : 5 verdünnt
   - pH- Wert der so hergestellten Pufferlösung = 4,1

Die Pufferlösung soll den pH- Wert der Wurzeloberfläche und die Boden-situation (Löslichkeit der Nährstoffe...) simulieren.

2. Der Boden wird in Pufferlösung 2 Stunden geschüttelt, dadurch...
   - löst sich die pflanzenaufnehmbare Menge an Phosphatsalzen
   - wird das Kalium K^+ von den Austauscheroberflächen (Tonminerale) von Calzium Ca^{2+} verdrängt und geht ebenfalls in Lösung.
3. Der Boden wird abgefiltert und die Menge der gelösten Nährstoffe im Filtrat bestimmt.
4. Die Nährstoffgehalte im Filtrat werden umgerechnet in mg/100g Boden

1.3 Einteilung der Laborergebnisse in Gehaltsstufen

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/10330/index.php

Die Nährstoffgehalte in mg/100g Boden werden umgerechnet in Gehaltsstufen-Klassen.

Gehaltsstufen für CAL-lösliches Phosphat in Ackerböden (mg P_2O_5/100 g Boden)

Gehaltsstufe	Mineralböden	Moorböden
A = niedrig	< 5	< 3
B = mittel	5 - 9	3 - 6
C = optimal	**10 - 20**	**7 - 14**
D = hoch	21 - 30	15 - 21
E = sehr hoch	> 30	> 21

Gehaltsstufen für CAL- lösliches Kali in Ackerböden (mg K_2O /100 g Boden)

Bodenart/ Gehaltsstufe	Sand, Moor	Lehm	Ton
A = niedrig	< 4	< 5	< 7
B = mittel	4 - 7	5 - 9	7 - 14
C = optimal	**8 - 15**	**10 - 20**	**15 - 25**
D = hoch	16 - 25	21- 30	26 - 35
E = sehr hoch	> 25	> 30	> 35

1.4 Dünge-Empfehlung

Für die einzelnen Gehaltsstufen gelten folgende Düngungsziele:

Gehaltsstufe	Düngungsmaßnahmen zur Erzielung hoher, optimaler Erträge....
A = sehr niedrig **B** = niedrig	Der Nährstoffgehalt des Bodens soll durch erhöhte Phosphat- und Kaligaben angehoben werden: **Entzug + Zuschlag**
C = optimal	Der Nährstoffgehalt des Bodens soll stabilisiert werden. Düngung in Höhe der Nährstoffabfuhr ist ausreichend: **Entzugsdüngung**
D = hoch	Der Nährstoffgehalt des Bodens ist zu hoch. Durch eine reduzierte Düngung soll er langfristig gesenkt werden: **Halber Entzug**
E = sehr hoch	Der sehr hohe Nährstoffgehalt des Bodens muss gesenkt werden. Deshalb sollte über mehrere Jahre keine Düngung mehr erfolgen: **Keine Düngung**

Daraus resultiert folgende Empfehlung der Düngung:

	P_2O_5	K_2O	
	für alle Bodenarten	**Sand**	**Lehm, Ton**
A = niedrig	Entzug +60	Entzug +40	Entzug +75
B = mittel	Entzug +60	Entzug +40	Entzug +75
C = optimal	**Entzug**	**Entzug**	**Entzug**
D = hoch	½ Entzug	½ Entzug	½ Entzug
E = sehr hoch	0	0	0

2. EUF- Methode

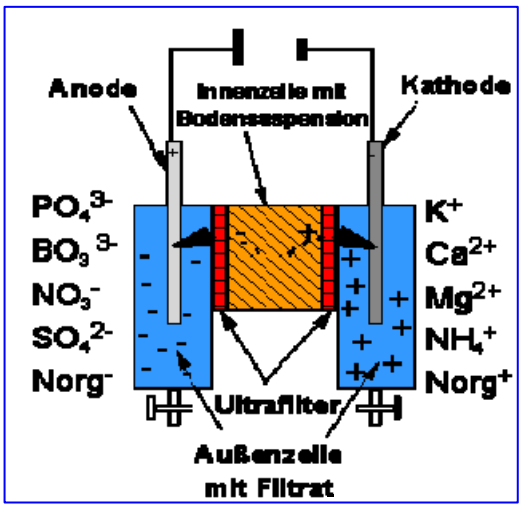
Quelle: http://bisz.suedzucker.de ,
http://bisz.suedzucker.de/Bodengesundheitsdienst/Dienstleistungen/EUF-Bodenuntersuchung/Was_ist_EUF/

Die Zuckerindustrie hat eine eigene Bodenuntersuchungsmethode entwickelt. EUF ist die Abkürzung für

Elektro- Ultra- Filtrationsmethode

Im Gegensatz zur CAL- Methode werden nach EUF alle wichtigen Nährstoffe in einer Untersuchung erfasst:

2.1 Methode und Vorgehensweise



- An eine Bodenprobe wird bei bestimmter Temperatur eine elektrische Spannung angelegt. Durch einen Ultrafilter wandern...
- zur **Anode** negativ geladene Nährstoff-Ionen wie z.B. NO_3^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, BO_3^{3-}, N_{org}
- zur **Kathode** positiv geladene Nährstoff-Ionen wie K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, NH_4^+, N_{org}

Die so gelösten Nährstoffe werden abfiltriert und mengenmäßig bestimmt.
Dies geschieht in 2 Fraktionen:

1. **Fraktion:** „Sofort pflanzenverfügbare Nährstoffe“:
   Filtrationsdauer 30 Minuten bei 20° C, max. 200 V und 15 mA
2. **Fraktion:** „Nachlieferungsfähige Nährstoffe“:
   Anschließende Filtrationsdauer 5 Minuten bei 80° C, max. 400 V und 150 mA

Die beiden Fraktionen werden im Bodenuntersuchungsergebnis ausgewiesen und dienen als Grundlage der Düngungsempfehlung.

Nährstoff Magnesium

1. Mangelsymptome

Quelle:

http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/magnesium.htm,
http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/magnesium.html
http://www.tll.de/visuplant/vp_idx.htm

Typische Magnesiummangelsymptome...

- beginnend an den älteren Blättern (Mg^{2+} ist in der Pflanze beweglich!)...
- Aufhellungen zwischen grünen Blattadern,
- Blattränder und Blattadern bleiben längere Zeit noch gesund

1.1 Natürliche Magnesiumquellen und Mangelstandorte

Quelle: http://www.kali-gmbh.com/duengemittel/fachinfo/beratung/naehrstoff_magnesium.cfm

Wie bei Kalium und Spurenelementen auch, ist Magnesium...

- vor allem in den **Tonmineralen** vorhanden.
  Eine zweite wichtige Nachlieferungsquelle ist der ...
- Bodenvorrat an **Kalk** („Kohlensaurer Magnesiumkalk“)

Dies sind vereinfachende Aussagen…

Die absoluten Mg-Gehalte von Tonmineralen und Kalkgesteinen unterliegen jedoch einer größeren Streubreite.

Mangelstandorte sind saure (=kein Kalk!) Sandböden (=wenig Ton)

2. Beweglichkeit im Boden

2.1 Ionen- Antagonismus bei der Nährstoffaufnahme

Eine weitere Ursache für Magnesiummangel ist die

- gestörte Wurzelaufnahme des Magnesium - Ions Mg^{2+} wegen
- Überangebot an positiven Ionen wie Ammonium (NH_4^+), Kalium (K^+) oder Ca^{2+}.

Bei Kaliüberdüngung verdrängt Kalium das Magnesium von der Wurzel.

2.2 Konkurrenz an den Tonmineralen

Magnesium konkurriert auch an den Tonmineralen mit anderen positiven Ionen wie Kalium K^+ oder Kalzium Ca^{2+} um die Austauscherplätze.

In mit Kalium überdüngten Böden kann es deshalb zu Magnesiumauswaschung kommen, da das Kalium- (K^+) das Magnesium- Ion (Mg^{2+}) auch von den Tonmineralen verdrängt.

Auswaschungsgefährdete Standorte für Magnesium sind u.a. also...

- leichte, saure Böden, insbesondere…
- bei Kalium- Überversorgung (Versorgungsstufe „D“ und „E“)

3. Düngung

3.1 Blattdüngung mit Bittersalz

Quelle: http://www.kali-gmbh.com/duengemittel/produkte/duengemittel.cfm

Bei akutem Magnesiummangel Einsatz von...

Bittersalz wie Epso (Magnesiumsulfat $MgSO_4$)

Bittersalz (z.B. Epso top, 16% MgO + 13% S) kann auch bei Schwefelmangel eingesetzt werden.

Blattdünger/Fertigation	K_2O	MgO	S	Na	B	Mn	Zn
EPSO Combitop		x	x			x	x
EPSO Microtop		x	x		x	x	
EPSO Top		x	x				
Hortisul	x		x				

3.2 Bodendüngung

Eine vorbeugende Erhaltungsdüngung bei annähernd optimalen pH-Werten ist mit

Kohlensaurem Magnesiumkalk

sehr gut möglich. Damit wird auch eine vorsorgende Mg-Düngung erreicht.

Die Löslichkeit oder Verfügbarkeit von Mg^{2+} aus Kalk ist abhängig von

- Mahlfeinheit des Kalkes und
- vom pH-Wert des Bodens.

Beste Verfügbarkeit von Mg^{2+} bei fein vermahlenen Kalken in sauren Böden!

Empfohlene Düngermengen …

40 - 100 kg MgO/ha

werden schon mit ca. 10 dt Kohlensauren Magnesiumkalk (mind. 15% MgO) ausgebracht.

Viele Mineraldünger enthalten auch einen Anteil an Magnesium.

Kalk

1. Folgen einer fehlenden Kalkversorgung

1.1 Gestörte Nährstoffdynamik im Boden

Zu niedrige pH-Werte im Boden behindern Nährstoffumsetzung und Verfügbarkeit:

Stickstoff:
Verringerte Mineralisation und Nitrifikation aufgrund Hemmung der biologischen Aktivität

Phosphat:
Phosphatfestlegung durch schlecht lösliche Aluminium- und Eisensalze, dadurch schlechte Phosphatmobilität (P-Mangel trotz P-Düngung!).

Kalzium:
fördert das Wachstum (Einbau in Zellwänden). Bei Mangel Schäden an Wurzel - und Sprossspitzen möglich.

Aluminium:
Erhöhte Freisetzung von Aluminium. Dies ist ein Wurzelgift und fördert auch die Festlegung von Phosphat

1.2 Gestörte Bodenstruktur

Kalkmangel verursacht Verschlämmung und schlechte Bodenstruktur.

Kalk bringt Ca^{2+}-Ionen in den Boden, die u.a. die Krümelstruktur fördern. Dadurch...

- Stabilisierung der Bodenstruktur
- Durchlüftung, Lockerung
- weniger Verschlämmung (z.B. Feldaufgang bei Zuckerrüben!)
- somit Förderung der biologischen Aktivität

1.3 Extremer Ionenantagonismus an der Wurzel

Säure-Ionen belegen Tonmineral- und Wurzeloberflächen und verdrängen andere Nährstoff- Ionen.

1.4 Säureschäden

Eine zu geringe Kalkversorgung ist verantwortlich für eine Vielzahl von untereinander abhängigen Vorgängen im Boden und an der Wurzel (die wichtigsten wurden oben erläutert).
Die sich dadurch zeigenden Schadbilder werden unter dem Begriff „Säureschäden“ zusammengefasst und zeigen sich insbesondere

auch in Kombination mit Verdichtungen und Staunässe

Merkmale von Säureschäden im Bestand (z.B. in Winter- oder Sommergerste):

- allgemeine Gelbfärbung und Vertrocknen der jüngsten Blätter
- Kümmerwuchs
- geringe Wurzelausbildung (keine Faserwurzeln)

z.B. gelbe Wintergerstenschläge im Herbst

Zwischen den Getreidearten gibt es Abstufungen in der **Säuretoleranz**:

Hafer > Roggen > Weizen > Gerste

2. Standortabhängig optimale pH-Werte

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/10330/index.php

Optimaler pH-Wert verschiedener Böden:

Bodenart	Optimaler pH-Wert
lehmiger Sand	5,8 - 6,2
Lehm	6,3 - 6,8
Ton	6,9 - 7,2

2.1 Gründe für die Unterschiede im optimalen pH-Wert

1. Höhere Kalkversorgung auf schweren Böden führt zu einer besseren Krümelstruktur, leichte Böden sind darauf nicht angewiesen.
2. Leichte Böden sich von Natur aus ärmer an Spurenelementen (natürliche Quellen der Spurenelemente sind die Tonminerale).
   Bei zu hohen pH-Werten sind die meisten Spurenelemente schlechter verfügbar; es bilden sich schwerlösliche Salze. Deshalb werden auf sandigeren Böden niedrigere pH-Werte angestrebt.

Typische Mangelstandorte für Spurenelement sind stark gekalkte oder von Natur aus kalkhaltige Sand- oder auch Moorböden.

3. Kalkdüngung

3.1 Düngemittel und Kalkform

Quelle: http://www.beiselen.de

Düngemittel	Konzentration / Kalkform	Neutralisationswert
Branntkalk 90	75-90% CaO	75-90% CaO
Branntkalk mit Schwefel 90/2	80% CaO, 2% S	80% CaO
Magnesium-Branntkalk* 85	60% CaO, 25% MgO	95% CaO
Kohlensaurer Kalk	85-95% CaCO3	48-53% CaO
Kohlensaurer Magnesiumkalk	45-80% CaCO3, 15-40%MgCO3	49-57% CaO
Kohlensaurer Kalk mit Schwefel	80% CaCO3, 2% S	45% CaO

3.2 Welche Kalkart für welchen Boden?

3.2.1 Branntkalk (CaO, Kalziumoxid)

- rasche Neutralisation der Bodensäure
- krümelnde Wirkung durch Ca^{2+} - Ionen (s. oben).

Branntkalk wichtig wenn...

- der pH-Wert rasch angehoben werden soll
- auf tonigen Böden die Krümelstruktur verbessert werden soll

3.2.2 Kohlensaure Kalke ($CaCO_3$= Kalziumcarbonat, $MgCO_3$= Magnesiumcarbonat)

Allgemein gilt:

1. Die neutralisierende Wirkung kohlensaurer Kalke ist sehr viel langsamer als die von Branntkalk.
2. Kohlensaurer Kalk ist nur sehr langsam löslich. Ausschlaggebend für die Wirkung ist die Körnung.

   Grobe Feuchtkalke (sandartige Struktur) haben eine extrem langsame Wirkung!!

3. aufgrund der allgemein langsamen Löslichkeit ist keine Krümelbildung zu erwarten.

Kohlensaure (Mg-) Kalke wenn...

- keine Krümelstruktur wichtig (leichte Böden...)
- Mg- Bedarf ersichtlich (in leichten, sauren Böden...)
- pH optimal, aber Erhaltungsdüngung wichtig (alle Böden)

3.2.3 Zusammenfassung

Auf Sandböden:

1. Rasche Anhebung des pH-Wertes bei sauren Böden auf optimale Werte durch **Branntkalk.** Damit werden Säureschäden in der Folgekultur vermieden.
2. Danach weitere Düngung mit langsam wirkendem kohlensauren Magnesiumkalk

   Kalk auf Getreidestoppel im Herbst

Auf Tonböden:

1. Auf verschlämmten Böden sollte generell mit Branntkalk gedüngt werden
   Dies gilt insbesondere bei Zuckerrübe, Raps oder Mais.

   Kalkung vor der Saat zur Strukturverbesserung des Bodens

2. Bei optimalen Bodenverhältnissen und pH-Werten kann die Kalkung auch mit Kohlensaurem Kalk Carbonatkalken durchgeführt werden (z.B. Carbokalk bei Zuckerrüben).

Nährstoff Schwefel

1. Mangelsymptome

Quelle: http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/sulphur.html

Allgemeine Mangelsymptome:

Aufhellung der jungen Blätter und Pflanzenteile

1.1 Symptome und Besonderheiten bei Raps

Bildquelle: http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/schwefel.htm

Blätter:

- gelbverfärbte Blattränder an jungen Blättern (Gegensatz zu N-Mangel, dort zuerst an älteren Blättern!),
- Blattadern bleiben lange grün (ähnlich Mg - Mangel)
- löffelartiger Verkrümmung der jungen Blätter

Blüten:

hellgelbe bis weiße Verfärbung der Blütenblätter

Schoten:

- kleine rötliche Schoten mit nur wenigen Samen

2. Typische Mangelstandorte

Schwefel wird von der Pflanze nur in Sulfat- Form SO_4^{2-} aufgenommen. Durch seine negative Ladung ist…

Sulfat stark auswaschungsgefährdet
(ähnlich wie Nitrat NO_3^- !).

Natürliche, langsam fließende Schwefelquellen sind vor allem Humus und organische Dünger.

Typische Mangelstandorte sind deshalb…

- leichte, sandige Böden, die zur Auswaschung neigen
- mit geringem Humusgehalt bzw.
- keine organische Düngung (s. auch unten)

3. Schwefeldüngung

3.1 Organische Düngung

(Dr. Gutser, v.Tucher, 2001)

In Mist und Gülle sind folgenden S-Gehalte:

	Festmist (25% TS, kg/to)		Flüssigmist (kg/m³)	
	$S_{ges.}$	davon SO_4^{2-}- S	$S_{ges.}$	davon SO_4^{2-}- S
Rind	0,8-1,5	3-17% von S_{ges}	0,2-0,6	25% von $S_{ges.}$
Schwein	0,8-2,3		0,3-0,5	

Faustzahl: 1kg S/to in Stallmist und 0,5 kg S/m³ in Gülle

Verfügbarkeit:

- Nur die Sulfat-Form (SO_4^{2-}) ist sofort verfügbar.
- Der überwiegende Teil ist jedoch $S_{org.}$ und muss mineralisiert werden
- Die Mineralisation von Schwefel ist langsamer als die von Stickstoff

3.2 Mineralische Düngung

Zusammen mit der Stickstoffdüngung im Frühjahr:

30 - 50 kg S/ha

Eine Blattdüngung mit $MgSO_4$ (Bittersalz) kann den Bedarf nicht decken

Sulfat-haltige PK-Dünger sind z.B.

Kieserit und Kalimagnesia 20% S	Superphosphat 12% S
Kaliumsulfat 18% S	Bittersalz 13% S (Blattdüngung)
40er Kornkali 5% S	

Wichtige schwefelhaltige Stickstoffdünger…

Quelle: http://www.beiselen.de , http://www.yara.de/fertilizer/products/sulfur_fertilizer/index.aspx

N-EINZELDÜNGER	Gesamt-stickstoff	Nitrat-stickstoff	Ammonium-stickstoff	Carbamid-stickstoff	Cyanamid-stickstoff	Schwefel		Magnesium	
						gesamt	wasser-löslich	gesamt	wasser-löslich
KAS	27	13,5	13,5					4	1,1
Ammonsulfatsalpeter	26	7,5	18,5			13	13		
Ammonsulfatsalpeter+Bor	26	7,5	18,5			13	13		
Piamon 33-S	33		10,4	22,6		12	12		
Piasan / AHL	28	7	7	14					
Schwefels. Ammoniak	21		21			24	24		
Dynamag-S	24	12	12			6	6	6	6
Dynamon-S / SAN 24	24	12	12			7	7		
Piasan 24-S	24	5	8	11		3	3		
Harnstoff / Piagran	46			46					

Beispielrechnung zu Schwefeldüngung in Raps:

1. Grundbedarf an Schwefel mit Stickstoffdüngung ausbringen

   - Für einen Bedarf von 100 kg N/ha zu Vegetationsbeginn werden etwa 400 kg Bor- Ammonsulfatsalpeter (ASS, 26%N) benötigt.
   - Dabei werden auch 400 kg x 13% = 52 kg S/ha ausgebracht.

   Eine normale N-Düngung mit ASS deckt den S- Bedarf!

2. Spitzenbedarf mit Blattdünger abdecken
   Bittersalz ($MgSO_4$) gegen akute Mangelsymptome:

   - Bei einem S-Gehalt von 13% und
   - einer max. 5%-iger Lösung der Spritzbrühe
   - können in 400 l/ha max. 2,6 kg S/ha ausgebracht werden. Auch hier gilt:

   Blattdüngung kann Schwefel-Bedarf nur ergänzen!

Schwefel in Stallmist und Gülle

Wie obigen ausgeführt, liegt der Schwefel in organischen Düngern überwiegend in Form von nur langsam verfügbarem $S_{org.}$ vor.

Einen sofortigen, aktuellen Bedarf kann Mist nicht decken, da der Schwefel hauptsächlich in organischer Form vorliegt und nicht als Sulfat SO_4^{2-}.

Spurenelemente

Quellen: http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/index.html (Dr. G. Rühlicke)

1. Entzüge wichtiger Spurenelemente

Entzüge in Gramm/Hektar

Kultur (Ertrag/ha)	Bor	Mangan	Zink	Kupfer
Getreide (80 dt)	30	500	100-400	45
Zuckerrüben (600 dt)	300	360	180	48
Raps (35 dt)	250-500	1300-2500	400-700	30-60
Mais (140 dt TM)	150	2400-3600	310-380	80-160
Kartoffeln (400 dt)	90-240	50-60	80-160	60
Sonnenblumen *)	mind. 300			
Gehalte in Gülle (g/m³)				
Rinder (10% TS)	2	20-25	14-20	5
Schweine (7,5 % TS)	2	20-30	27-58	15

(weitere Spurenelemente sind Eisen und Molybdän).

2. Verfügbarkeit im Boden

Die Verfügbarkeit von Spurenelementen ist von verschiedenen **Bodeneigenschaften** abhängig. Nachfolgend allgemeine, vereinfachende Aussagen:

2.1 Abhängig vom pH-Wert

Die Löslichkeit der Spurenelemente nimmt mit steigendem pH-Wert ab.
Ausnahmen bilden die Elemente Bor und Molybdän:

Hohe Löslichkeit der Spurenelemente bei...

pH: 5	6	6,5	7
Mangan, Eisen Kupfer, Zink	Bor		Molybdän

2.2 Durchlüftung des Bodens

Je mehr Sauerstoff im Boden ist, desto mehr liegen die Ionen in ihrer unlöslichen Oxidform vor.

Gut durchlüftete Böden begünstigen die Festlegung von Spurenelementen!

Grüne Fahrspuren im Bestand:

Die verdichteten Fahrspuren haben weniger Sauerstoff und damit eine bessere Spurenelementverfügbarkeit. Dies gilt insbesondere für **Mangan**:

Dunkelgrüne Fahrspuren in hellgrünem Getreide zeigt Manganmangel!

2.3 Gehalt an organischer Substanz (Humus)

Spurenelemente können an Humus fixiert werden und sind dann nur noch gering verfügbar. Dazu gehört vor allem das Kupfer (Cu).

Spurenelementmangel in stark humosen Böden oder auf Moorstandorten!!

2.4 Tongehalt

Tonminerale sind natürliche Quellen für Spurenelemente. Die Haupteinflussgrößen für die Verfügbarkeit sind jedoch die genannten Faktoren pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Humusanteil. Deshalb können auch schwere Böden (humos, hohe pH-Werte) Mangelerscheinungen zeigen (z.B. bei Kupfer oder Zink).

2.5 Ionenkonkurrenz an der Wurzel

Die Wurzel- Aufnahme von Spurenelementen kann durch Nährstoffantagonismus gestört sein

Die Nährstoff-Ionen "streiten sich" um die Aufnahmeplätze an der Wurzel. Dabei treten...

- die negativ geladenen Ionen (Anionen) gegeneinander in Konkurrenz
  wie z.B. Borat, Molybdän, Phosphat und Nitrat
- die positiv geladenen Ionen (Kationen) gegeneinander in Konkurrenz
  wie z.B. Eisen, Kupfer, Zink, Mangan, Kalium, Kalzium, Ammonium, Magnesium...

Dies ist der Grund, warum in einem Boden eine ausgewogene Nährstoffversorgung vorhanden sein sollte. Eine Überversorgung mit Kalium kann einen Magnesiummangel verursachen.

2.5.1 Konkurrenz in der Pflanze

Spurenelemente können sich im Stoffwechsel der Pflanze an ihren Wirkungsorten (Enzyme...) gegenseitig verdrängen. Dieses Konkurrenzverhalten ist insbesondere bekannt zwischen Kupfer und Mangan:

Kupfer verdrängt Mangan in der Pflanze

Um Manganmangel zu vermeiden, muss bei Kupferspritzungen Mangan mit beigemischt werden!

3. Mangan

Quelle: http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/manganese.html

Auf bestimmten Standorten (z.B. Löß, Sandsteinkeuper) sind in tieferen Bodenschichten (ab B-Horizont des Bodenprofils)

typische schwarzblaue stecknadelkopfgroße Kügelchen

zu beobachten. Diese Manganknollen werden von Bakterien produziert, die Mn^{2+} zu Mn^{4+} oxidieren. Mn^{4+} fällt als festes Oxid aus. Da die Pflanze nur lösliches Mn^{2+} aufnimmt, wird ihr somit verfügbares Mangan entzogen.

In Mineralböden ist also immer genügend Mangan vorhanden. Die Pflanzenverfügbarkeit dieses Mangans ist jedoch sehr stark vom Boden abhängig:

Mangan wird insbesondere festgelegt bei…

- hohen pH-Werten...)
- hohe Humusgehalte (Anlagerung und Fixierung...)
- guter Durchlüftung (Festlegung in Form von Oxiden...)

3.1 Mangan-Mangelsymptome

Quelle: http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/mangan.htm

etreide (Bild: SCPA, Mulhouse)

Da Mangan in verdichteten, staunassen Böden besser verfügbar ist als in gut durchlüfteten (s. oben), zeigt sich folgender erster aber wichtiger Hinweis…

dunkelgrüne Fahrspuren in einem aufgehellten Bestand.

Eine Bodenuntersuchung ist deshalb auf Mineralböden nicht brauchbar (berücksichtigt nicht die Pflanzenverfügbarkeit!).

3.2 Düngung

Quelle: http://www.jost-group.com/

Die Mangan-Form muss wasserlöslich sein (= Blattdünger auf **Chelat- Basis**).

Beispiele für Blattdünger:

- Folicin (Fa. Jost) mit 13% Mn in Chelatform, bei sichtbarem Mangel 1,5 kg/ha
- Nutricombi® Fluid (Fa. Combo)

4. Bor

Quelle: http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/boron.html

Die Verfügbarkeit von Bor ist im basischen wie auch im stark sauren Bereich relativ schlecht. Außerdem ist es stark auswaschungsgefährdet!

sauer ⟷ **basisch**

Festlegung als nichtlösliche Borsäure (H_3BO_3)	optimal löslich bei pH 6,0- 6,5 als negativ geladenes Bor- Ion,	Verstärkte Bindung an Boden-Oxide (Fe, Al)

Bormangelstandorte sind aus diesem Grund vor allem...

- saure, leichte Böden oder
- oder von Natur aus kalkhaltige (Sand-) Böden

4.1 Mangelsymptome

Quelle: http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/bor.htm

Bor ist in der Pflanze nicht beweglich und insbesondere für die Ausbildung von "Feingewebe" wichtig.

Mangel zeigt sich deshalb ausschließlich an jungem (Wachstums-) Gewebe.

Typische Symptome sind bei…

- **Zuckerrüben:** Herz- und Trockenfäule (s. oben)
- **Körnerraps:** Verkümmerung bzw. braunes Vertrocknen der Triebspitzen oder junger Triebe.
  An den jungen Trieben leere Schotenstiele (keine Schotenausbildung) bzw. kleine vertrocknete Schoten oder vertrocknete Schotenspitzen.
- **Mais**: Im frühen NA weiße, verbräunte Blattspitzen. Später im Kolben unregelmäßige Kornanlagen (keine gleichmäßigen Kornreihen).
  Bor ist für die embryonale Ausbildung des Kolbens wichtig.

4.2 Düngung

Quelle: http://www.kali.ch/d/produkte/duenger/duenger.htm und http://www.compo-profi.de/produkte/2908.php

Bei borbedürftigen Kulturen wie Zuckerrüben und Raps (auch Sonnenblumen)...

- Bodendüngung mit borhaltigen Stickstoffdüngern (Bor-ASS)
- mit speziellen Blattdüngern (Solubor, Nutribor...)
- Blattdüngung möglichst frühzeitig