

---

# Nährstoffe und Grundlagen der Düngung

Stand: Herbst 2013

Unterrichtsleitfaden an der  
Technikerschule für Agrarwirtschaft  
Triesdorf

mit ergänzenden Links aus dem Internet, insbesondere  
<http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/>  
Fa. [Agravis Online-Katalog 2013](#)

Ein herzlicher Dank an die Quellenautoren!

Autor und Kopierrechte:  
Helmut Rogler

## Inhaltsverzeichnis

<b>NÄHRSTOFF STICKSTOFF</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Stickstoffkreislauf</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Stickstoff-Mangelsymptome</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Wirkungen des Kalkstickstoffs</b> .....	<b>6</b>
<b>4. Physiologisch saure Wirkung von Stickstoffdüngern</b> .....	<b>7</b>
<b>5. Gasförmige Stickstoffverluste</b> .....	<b>8</b>
5.1 Vermeidung durch Einarbeitung .....	8
5.1.1 Stickstoffverluste bei Gülledüngung .....	8
5.1.2 Wichtige Grundsätze um gasförmige NH <sub>3</sub> -Verluste zu vermeiden.....	8
5.2 Ammoniakverluste bei Harnstoffdüngung .....	9
<b>6. Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff</b> .....	<b>9</b>
<b>7. Langsam wirkende, stabilisierte Stickstoffdünger</b> .....	<b>10</b>
7.1 Ammoniumernährung der Pflanze .....	10
7.2 Stabilisierte Stickstoffdünger .....	11
7.3 CULTAN- Verfahren .....	12
7.3.1 Firmen-Diskussion „Für und Wider“ .....	12
7.4 Einsatz von AHL .....	13
7.4.1 Terminierung und Verträglichkeit .....	13

---

<b>8. Übersicht gebräuchlicher N-Düngemittel .....</b>	<b>14</b>
<b>NÄHRSTOFF PHOSPHAT .....</b>	<b>15</b>
<b>1. Phosphat-Formen .....</b>	<b>15</b>
1.1 Kalziumphosphat-Salze .....	15
1.2 Eisen- und Aluminiumphosphat- Salze .....	15
1.3 Organische Phosphatverbindungen .....	16
<b>2. Phosphatmobilität im Boden .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Praktische Schlussfolgerungen.....</b>	<b>17</b>
3.1 Aufkalkung saurer Böden.....	17
3.2 Zufuhr organischer Substanz.....	17
3.3 Einarbeitung von Phosphat.....	17
<b>4. Phosphatdüngemittel.....</b>	<b>18</b>
4.1 Löslichkeitsgruppen .....	18
4.2 Welche Düngung ist hier wichtig? .....	18
4.3 Übersicht wichtiger Dünger .....	19
<b>NÄHRSTOFF KALIUM .....</b>	<b>20</b>
<b>1. Kalium-Eigenschaften der Tonminerale .....</b>	<b>20</b>
1.1 Tonminerale tragen negative Ladungen .....	20
1.2 Tonminerale enthalten natürliches Kalium .....	20
<b>2. Bindungsformen von Kalium in Tonmineralen.....</b>	<b>21</b>
<b>3. Vorgänge und Verfügbarkeit im Boden .....</b>	<b>21</b>
3.1 Austausch an Tonmineralen .....	21
3.2 Kalifixierung und Mangelsymptome.....	22
3.3 Fruchtfolge- bzw. Schaukeldüngung.....	23
3.4 Chloridhaltige oder sulfathaltige Kalidünger? .....	23
<b>NÄHRSTOFF MAGNESIUM.....</b>	<b>24</b>
<b>1. . Natürliche Magnesiumquellen und Mangelstandorte.....</b>	<b>24</b>
<b>2. Mangelsymptome.....</b>	<b>24</b>
<b>3. Beweglichkeit im Boden .....</b>	<b>24</b>
3.1 Ionen- Antagonismus bei der Nährstoffaufnahme.....	24
3.2 Konkurrenz an den Tonmineralen .....	25
<b>4. Düngung .....</b>	<b>25</b>
4.1 Blattdüngung mit Bittersalz.....	25
4.2 Magnesiumversorgung über Bodendüngung.....	26
<b>KALK .....</b>	<b>27</b>
<b>1. pH-Wert .....</b>	<b>27</b>
1.1 Bodenartabhängige optimale pH-Werte .....	27
1.2 pH- abhängiger Kalkbedarf einer Meliorationskalkung .....	28

<b>2. Folgen einer fehlenden Kalkversorgung .....</b>	<b>29</b>
2.1 Gestörte Nährstoffdynamik im Boden.....	29
2.2 Gestörte Bodenstruktur (Verschlammung, Verdichtung).....	29
2.3 Extremer Ionenantagonismus an der Wurzel.....	29
2.4 Säureschäden .....	29
<b>3. Kalkdüngung .....</b>	<b>30</b>
3.1 Düngemittel und Kalkform .....	30
3.2 Welche Kalkart für welchen Boden?.....	30
3.2.1 Branntkalk (CaO) .....	30
3.2.2 Kohlensäure Kalke .....	31
3.2.3 Hütten- und Konverterkalke.....	31
3.2.4 Einsatz langsam wirkender Kalkformen .....	31
3.2.5 Zusammenfassung .....	32
<b>4. Preisvergleich Kalk- und Magnesiumdüngung .....</b>	<b>33</b>
4.1 Kohlensäurer Kalk mit 90% CaCO <sub>3</sub> .....	33
4.2 Branntkalk mit 90% CaO .....	33
4.3 Kalkwirkung eines kohlensäuren Magnesiumkalk 90% .....	33
4.3.1 Magnesiumwirkung.....	33
4.3.2 Kosten der Kalkwirkung und des Magnesiums.....	33
<b>NÄHRSTOFF SCHWEFEL.....</b>	<b>34</b>
<b>1. Mangelsymptome.....</b>	<b>34</b>
1.1 Symptome und Besonderheiten bei Raps .....	34
1.2 Typische Mangelstandorte .....	34
1.3 Diagnoserahmen zur Abschätzung des Schwefelbedarfs .....	35
<b>2. Bodennachlieferung.....</b>	<b>36</b>
2.1 Schätzung der natürlichen Freisetzung.....	36
<b>3. Freisetzung und Festlegung durch organische Düngung.....</b>	<b>36</b>
<b>4. Schwefeldüngung.....</b>	<b>37</b>
4.1 Allgemeine Aussagen.....	37
4.2 Praktische Düngung .....	37
<b>SPURENELEMENTE .....</b>	<b>39</b>
<b>1. Entzüge wichtiger Spurenelemente.....</b>	<b>39</b>
<b>2. Allgemeine Verfügbarkeit im Boden .....</b>	<b>39</b>
2.1 pH-Wert.....	39
2.2 Durchlüftung des Bodens .....	40
2.3 Gehalt an organischer Substanz (Humus) .....	40
2.4 Tongehalt.....	40
2.5 Spurenelementfestlegungen im Boden durch Phosphat .....	40
2.6 Ionenkonkurrenz an der Wurzel .....	40
2.6.1 Konkurrenzverhalten der Nährstoffe und Spurenelemente an der Wurzel.....	41
2.6.2 Weg der Nährstoffe in das Wurzelinnere (Xylem).....	41
2.6.3 Ionenkonkurrenz und Eigenschaften in der Pflanze .....	41

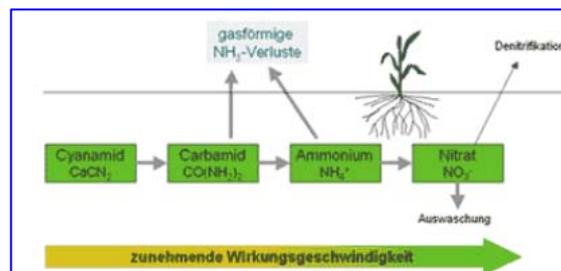
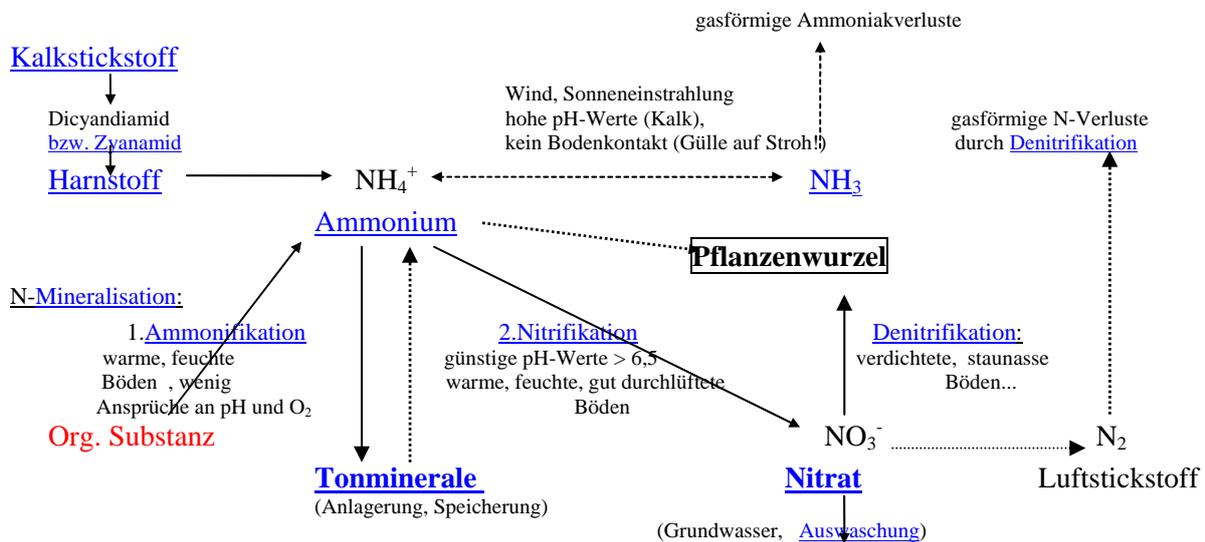
<b>3. Bor</b> .....	<b>42</b>
3.1 Borbedürftigkeit und Mangelsymptome.....	42
3.2 Düngung .....	43
<b>4. Zink</b> .....	<b>44</b>
4.1 Mangelsymptome .....	44
4.2 Düngung .....	45
<b>5. Mangan</b> .....	<b>46</b>
5.1 Mangan-Mangelsymptome.....	46
5.2 Düngung .....	47
<b>6. Kupfer</b> .....	<b>47</b>
6.1 Mangelsymptome .....	47
6.2 Düngung .....	47

# Nährstoff Stickstoff

Weiterführende Infos: [SKW](#), [Südzucker](#), [Yara](#), [HaberBosch](#), Grundlagen [Uni Kiel](#),

## 1. Stickstoffkreislauf

Der [Stickstoffkreislauf](#) zeigt die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen [N-Formen im Boden](#):



- Kalkstickstoff wird zu Harnstoff umgewandelt (Bodenfeuchte wichtig!)
- Aus Harnstoff  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  entsteht Ammoniak bzw. Ammonium (Enzym [Urease](#))
- Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) 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 ( $\text{NH}_4^+$ ) und andere Kationen werden an den Oberflächen der Tonminerale zwischengespeichert.
- Die Pflanzenwurzel kann  $\text{NH}_4^+$  aufnehmen (Ammoniumernährung mit stabilisiertem Dünger, CULTAN- Verfahren...)
- Ammonium im Bodenwasser wird durch Bakterien zu Nitrat umgebaut (nitrifiziert).

**Mineralisation** ([Ammonifikation](#) und [Nitrifikation](#)) sind bakteriengesteuerte Prozesse, für die Wärme, günstige pH-Werte (insbesondere Nitrifikation), Sauerstoff und Bodenfeuchtigkeit wichtig sind!

- Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) 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. Stickstoff-Mangelsymptome

[Zurück](#)

Quelle: [VisuPlant](#) und [Kali und Salz](#)



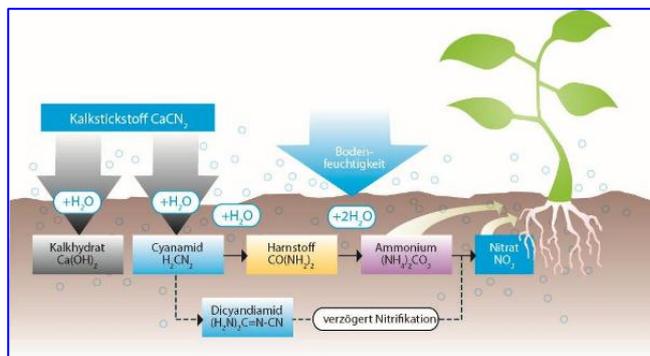
### Beispiel Gerste:

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

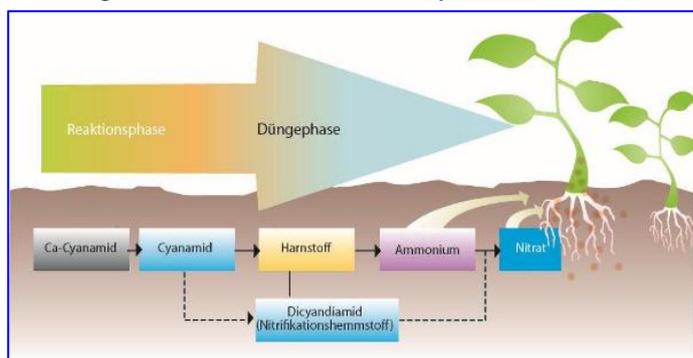
ist das bei der Umsetzung entstehende

**Cyanamid und Dicyandiamid**

verantwortlich.

**Wichtig: ausreichende Bodenfeuchte und ein früher Einsatz.**

Wirkung und Einsatzbereiche von [Cyanamid](#) sind u.a. ...



- Bekämpfung keimender Unkräuter im Voraufbau und frühen Nachaufbau (zu große Unkräuter werden nicht erfasst!)
- Schneckenbekämpfung in Raps (Wirkung gegen Eier und direkt getroffene Tiere, ähnlich wie beim Einsatz von reinem Branntkalk)
- Bekämpfung von Sklerotina in Raps

**Wirkung nur in der Reaktionsphase.  
Problem: evtl. nicht termingerechte Wirkung.**

Die nitrifikationshemmende Wirkung von (hergestelltem) Dicyandiamid wird eingesetzt in

- stabilisierten Ammonium- Düngemitteln ([Alzon](#),) oder
- [Piadin](#) (früher „Didin“) als Güllezusatz (s. unten)

[Zurück](#)

#### 4. Physiologisch saure Wirkung von Stickstoffdüngern

Ammoniumdünger wirken in zweierlei Hinsicht versauern:

1. bei der Nitrifikation  $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$  setzen die Bakterien Säure-Ionen  $\text{H}^+$  frei
2. bei der Wurzelaufnahme werden im Austausch mit  $\text{NH}_4^+$ - Ionen ebenfalls von der Wurzel meist Säure-Ionen  $\text{H}^+$  abgegeben

So muss bei einer Ammoniumdüngung auf kalkbedürftigen Standorten der verbrauchte Kalk mit in Anrechnung gebracht werden. Auf Kalkböden ist eine physiologisch saure Düngung jedoch sogar wünschenswert (z.B. Spurenelementverfügbarkeit, Phosphatlöslichkeit...)

#### Kalkwirkung:

Quelle: [DLR Eifel](#) Rheinland-Pfalz

Düngemittel	% N	kg CaO / kg N	kg CaO / 100 kg N
Kalkammonsalpeter	27,0	- 0,6	- 60
Ammonsulfat (SSA)	21,0	- 3,0	- 300
Ammonsulfatsalpeter	26,0	- 1,9	- 190
Stickstoffmagnesia	22,0	$\pm 0$	$\pm 0$
Harnstoff	46,0	- 1	- 100
Kalkstickstoff	21,0	+ 1,7	+ 170
AHL	28,0	- 1	- 100
Kalksalpeter	15,5	0,8	+ 80
Superphosphat	18	$\pm 0$	$\pm 0$
Triplephosphat	46	$\pm 0$	$\pm 0$
Hyperphos	29	+ 1,1	+ 115
Monoammonphosphat	11/52	- 3,4	- 340
NP-Lösung	10 / 34	- 2,5	- 250
NPK-Dünger	6 / 12 / 18	- 1,7	- 170
	12 / 12 / 17	- 1,1	- 110
	15 / 15 / 15	- 0,9	- 90
	21 / 8 / 11	- 0,6	- 60
Diammonphosphat	18 / 46	- 2	- 200
NP-Dünger	20 / 20	- 0,9	- 90

Die Werte in der Tabelle zeigen z.B., dass die Umsetzung von 100 kg N in...

- KAS: 60 kg CaO verbraucht
- Harnstoff: 100 kg CaO verbraucht

#### Ammoniumdünger sind grundsätzlich „kalkzehrende“ Dünger:

- auf kalkbedürftigen Böden sollte der Kalkverbrauch kostenmäßig berücksichtigt werden
- auf kalkhaltigen Böden (pH über 7) kann der Einsatz von...

#### „physiologisch sauer“ wirkenden Düngern...

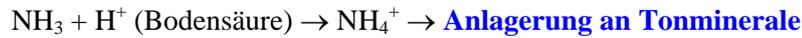
Vorteile z.B. in der Verfügbarkeit von Spurenelementen bringen.

[Zurück](#)

## 5. Gasförmige Stickstoffverluste

### 5.1 Vermeidung durch Einarbeitung

Kommt **Ammoniak** (NH<sub>3</sub>) mit der Bodensäure in Berührung, wird es zu Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) umgewandelt, welches die gasförmigen Eigenschaften verliert und sich an die Tonminerale anlagert.



Bodenkontakt verringert gasförmige N-Verluste, deshalb...

**Rasche Einarbeitung der Jauche und Gülle wichtig!**

#### 5.1.1 Stickstoffverluste bei Güllenedüngung

Quelle: Uni Hohenheim: [Beratungsempfehlungen](#) (pdf)

**Ammoniakverluste in % des gedüngten NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N nach der Ausbringung von Rindergülle mit Prallteller und Schleppschauch in Abhängigkeit der Temperatur (ohne Einarbeitung) (nach KTBL, zitiert nach Albert und Schliephake, 2005)**

Stunden	Prallteller				Schleppschauch			
	5°C	10°C	15°C	25°C auf Stroh	5°C	10°C	15°C	25°C auf Stroh
1	3	6	10	20	1	3	4	10
2	5	10	15	43	3	6	8	20
4	10	18	26	65	6	10	15	35
6	14	25	35	78	9	14	20	47
12	22	32	43	85	15	22	30	70
24	26	36	46	90	22	31	39	80
48	30	40	50	90	26	36	46	90

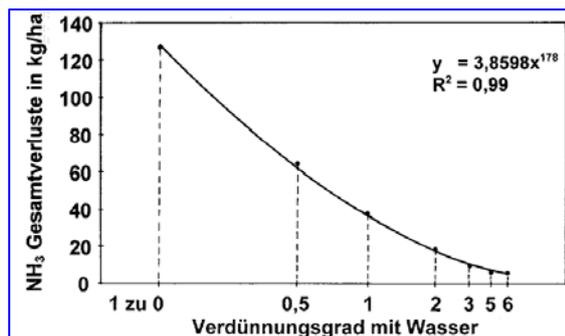
Die gasförmigen NH<sub>3</sub>-Verluste sind abhängig von der Ausbringungssituation bezüglich...

- Temperatur und Wind
- Ausbringtechnik
- TS-Gehalt (Wasserzusatz)

Ammoniak ist ein umweltschädliches Gas. Dies ist der Grund, warum die **Dünge-VO** vorschreibt eine...  
**Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden**

#### 5.1.2 Wichtige Grundsätze um gasförmige NH<sub>3</sub>-Verluste zu vermeiden

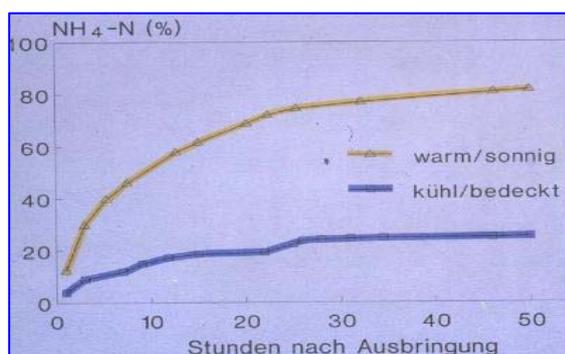
Quelle: Uni Bonn



#### 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%!!

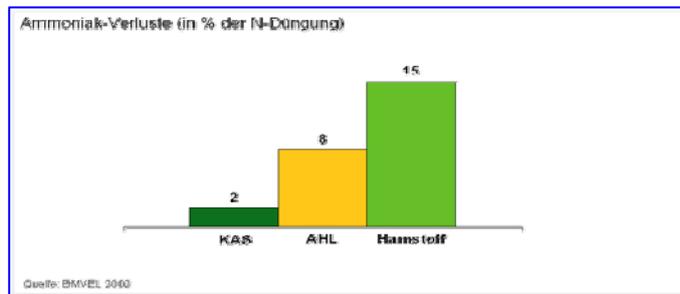
**Regenwetter und sofortiges Einarbeiten wichtig!**

## 5.2 Ammoniakverluste bei Harnstoffdüngung

[Zurück](#)

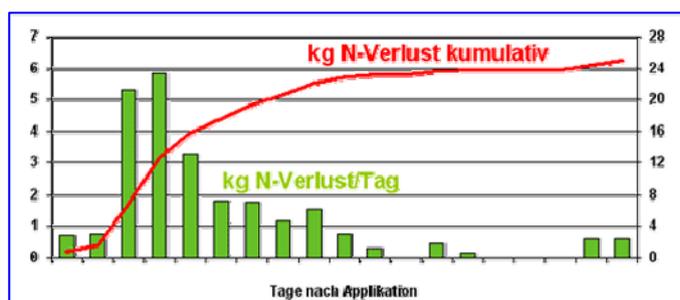
Quelle: [Yara](#) (Interessenverband der KAS- Industrie?!)

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



**10-20% gasförmige Verluste (NH<sub>3</sub>) bei "Nichteinarbeitung".**

Damit wäre ein Preisvorteil von Harnstoff evtl. wieder verloren.



**Deshalb gelten auch hier die Grundsätze "Gülewetter" und „Einarbeitung“**

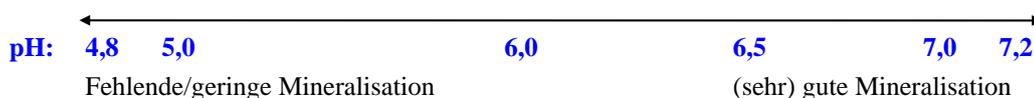
Als Beispiel eines Harnstoffdüngers kann Piagran 46 der Firma [SKW](#) genannt werden.

## 6. 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...

- Nährstoffgehalt der org. Substanz:** Je nährstoffreicher, desto rascher
- pH-Wert:** Je saurer der Boden, desto langsamer die Umsetzung

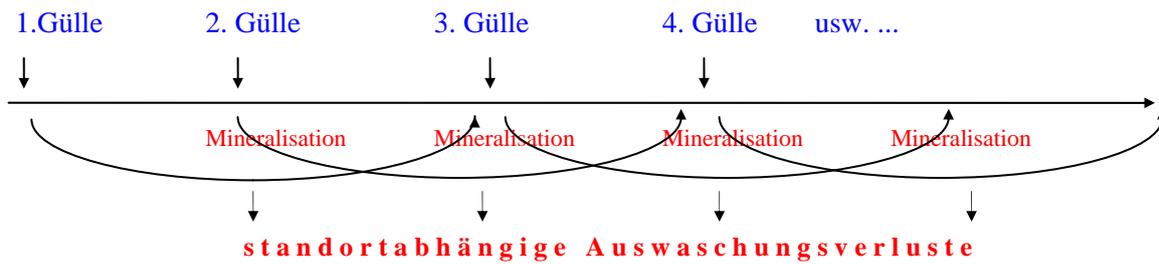


- Bodenstruktur:** feuchte, gut durchlüftete Böden für gute Umsetzung wichtig
- Bodentemperatur:** Je wärmer, desto besser.

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

	N <sub>ges</sub> kg/m <sup>3</sup> kg/t	davon org. N	Mineralisation von org. N	
			im ersten Jahr	in Folgejahren
Rinder-Gülle	4	2 kg (50%)	<b>10%</b>	<b>1-3% pro Jahr</b>
Schweine-Gülle	6	2 kg (33%)		
Rinder-Stallmist	6	5 kg (80-90%)		

**Zeitversetzte Wirkung des organisch gebundenen Gülle-Stickstoffs durch Mineralisation:** [Zurück](#)

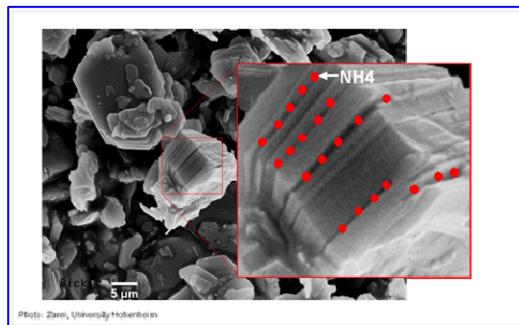


Die Wirkung des organisch gebundenen Stickstoffs in der Gülle ist durch die zuerst ablaufende Mineralisation zeitversetzt.

**7. Langsam wirkende, stabilisierte Stickstoffdünger**

**7.1 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 (s. Bild)



Tonminerale speichern Ammonium und geben es langsam wieder frei

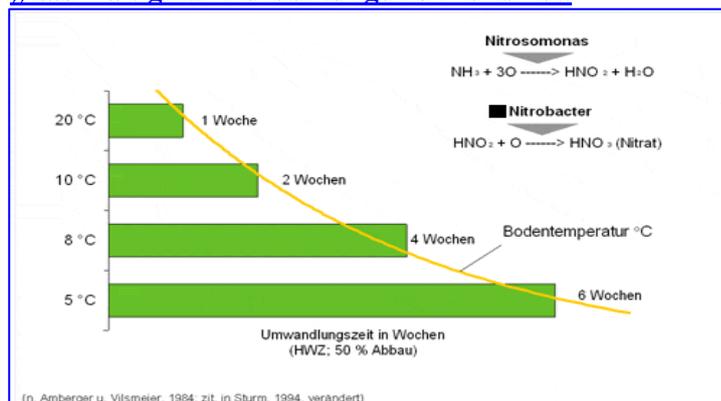


Pflanzenwurzel nimmt Ammonium auf

Bildquelle: [Yara](#)

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

**„Nachhaltig“ wirkende Düngerformen sind..**



- Ammonium
- Harnstoff und
- Kalkstickstoff

Sie erhöhen die Menge des Ammoniums an den Tonmineralen.

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“**

**Was ist besser, Nitratdüngung oder Ammoniumdüngung?**

z.T. konträre Diskussion zwischen Ammonium- und Nitratindustrie (s. [Yara](#))

## 7.2 Stabilisierte Stickstoffdünger

[Zurück](#)

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

- **Alzon 46 (Harnstoff), Alzon flüssig (AHL)** (s. Firma [SKW](#))
- **ENTECC:** 7,5% Nitrat-N, 18,5% Ammonium-N (Fa. [Euro-Chem](#))

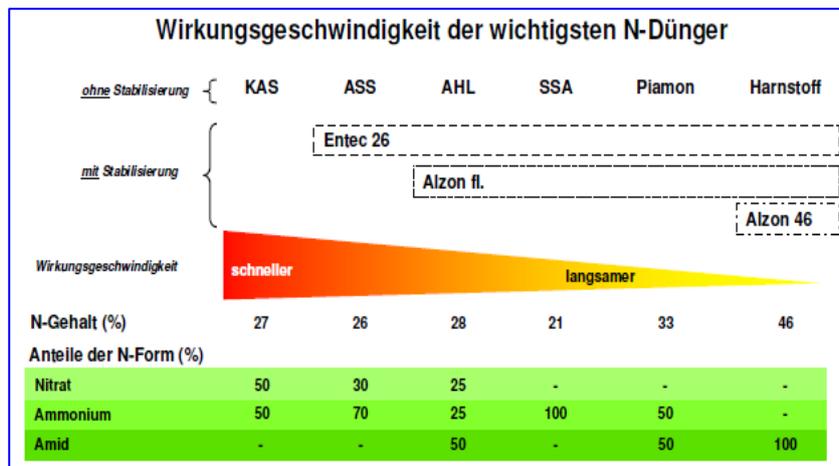
Die Substanzen hemmen nitrifizierende Bakterien und verhindern über einen gewissen Zeitraum die Umsetzung des  $\text{NH}_4^+$  zu Nitrat, das ausgewaschen werden könnte.

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“**

### Wirkungsgeschwindigkeit der N-Formen:

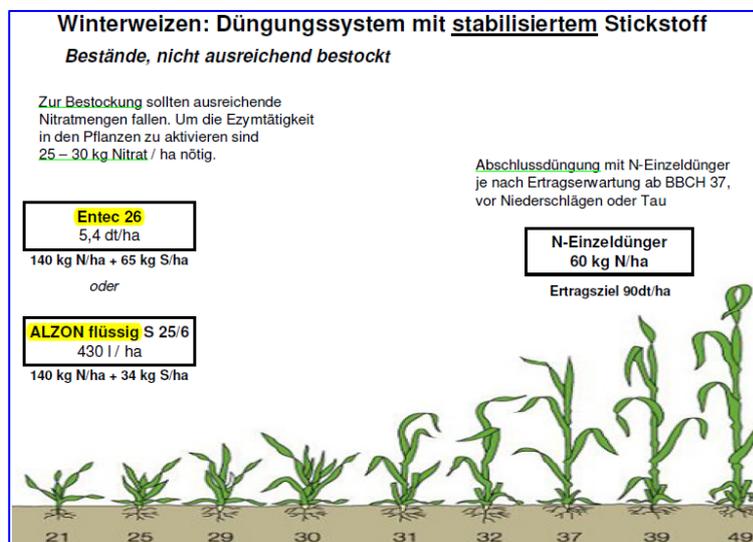
Quelle: Agravis [Frühjahr 2012](#) (s. auch [2013](#))



**Je höher der Ammonium- bzw. Harnstoffanteil, desto langsamer und nachhaltiger die N-Wirkung**

**Die nachhaltige Wirkung wird durch die Stabilisierung (Nitrifikationshemmung) verstärkt.**

### Düngersystems mit stabilisiertem Stickstoff (Beispiel Fa. Agravis):



Quelle: Agravis ([2013](#))

### 7.3 CULTAN- Verfahren

[Zurück](#)

Infos: [cultan.de](http://cultan.de) (pro), [Yara](#) (contra)

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.

#### Ausbringungstechnik:

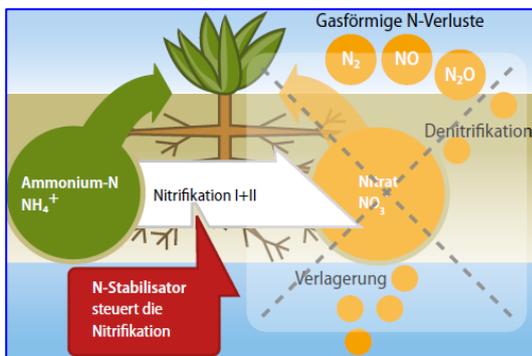
Quelle: Baden-Württemberg



15 cm tiefe Injektion des Ammonium- Düngers

#### 7.3.1 Firmen-Diskussion „Für und Wider“

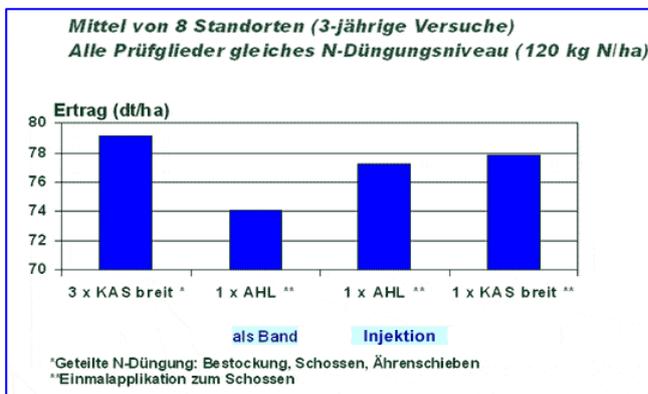
##### Pro CULTAN bzw. stabilisierte N-Düngung:



- Ammoniumernährung der Pflanzen möglich (bringt Vorteile im Stoffwechsel)
- Geringere Auswaschung, da langsamere Nitrifikation
- Reduzierung der Düngungstermine spart Ausbringungskosten (jedoch Dünger-Mehrkosten)

Quelle: [SKW: pdf1](#) (s. auch [pdf2](#))

##### Contra:



Für intensiven Anbau nicht geeignet, da...

- Keine Düngung nach aktuellem Bedarf
- Kein Einsatz von N-Sensor möglich
- Gefahr eines Bilanzüberschuss
- sehr schwankende Versuchsergebnisse

Quelle:

Nitratdüngerindustrie Fa. [Yara](#)

#### Was soll der Landwirt glauben?

**Eigene Information und eigenes Grundlagenwissen wichtig!**

[Zurück](#)

## 7.4 Einsatz von AHL

Quelle: [SKW](#)

Der Flüssigdünger AHL ([Ammonitrat-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<sub>2</sub> oder Amid-N),
  - 7% **Ammonium-N** (NH<sub>4</sub>): als langsam fließende N-Quelle und
  - 7% **Nitrat-N** (NO<sub>3</sub>), schnell wirkend, da im Boden nicht fixiert an Tonminerale

### 7.4.1 Terminierung und Verträglichkeit

#### 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)

#### AHL-Mischtabelen:

[BSL-online.de](#) ([pdf](#)) und LfL Bayern ([Übersicht](#), [pdf](#))

## 8. Übersicht gebräuchlicher N-Düngemittel

[Zurück](#)

Quelle Fa. [Beiselen](#), s. auch [Yara](#)

N-EINZELDÜNGER	Gesamtstickstoff	Ammoniumstickstoff	Nitratstickstoff	Carbamidstickstoff	Cyanamidstickstoff	Schwefel in %		Magnesium in %		Sonstige
	in %	in %	in %	in %	in %	gesamt	wasserlöslich	gesamt	wasserlöslich	
KAS	27	13,5	13,5	-	-	-	-	4	1,1	ca.12% CaO
AHL	28	7	7	14	-	-	-	-	-	-
Schwefels. Ammoniak	21	21	-	-	-	24	24	-	-	-
Ammonsulfatsalpeter	26	18,5	7,5	-	-	13	13	-	-	-
Bor-Ammonsulfatsalpeter	26	18,5	7,5	-	-	13	13	-	-	0,3 % Bor
Harnstoff/Piagran	46	-	-	46	-	-	-	-	-	-
Ureas 38(+7)	38	6,6	-	31,4	-	7,5	7,5	-	-	-
Piasan 25/6	25	9	5	11	-	6	6	-	-	-
Piamon	33	10,4	-	22,6	-	12	12	-	-	-
Alzon 46	46	-	-	46	-	-	-	-	-	mit Nitrifikationshemmstoff
Alzon flüssig	28	7	7	14	-	-	-	-	-	mit Nitrifikationshemmstoff
Alzon flüssig-S 25/6	25	9	5	11	-	6	6	-	-	mit Nitrifikationshemmstoff
Yara Sulfan	24	12	12	-	-	6	6	-	-	-
Kalkstickstoff gepulvert (PERLKA)	19,8	-	1,5	-	>15	-	-	-	-	>50 % CaO 0,5 % Dicyandiamidstickstoff

NPK/NK-Dünger	Gesamtstickstoff	Ammoniumstickstoff	Nitratstickstoff	Phosphat (P2O5)		Kaliumoxid wasserlöslich	Magnesiumoxid		Schwefel		Sonstige
				gesamt	wasserlöslich		gesamt	wasserlöslich	gesamt	wasserlöslich	
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(+8S)	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 12+12+17(+2+6)	12	7,7	4,3	12	8,5	17	2	1,6	6	4,8	+B+Fe+Zn
NPK 13+9+16(+4+7)	13	9,2	3,8	9	6,3	16	4	3,2	7	5,6	-
NPK 13+10+20(+3S)	13	8,2	4,8	10	6,5	20	-	-	3	2,4	ca.3,8%CaO
NPK 13+13+21(+2S)	13	8	5	13	8,5	21	-	-	2	1,6	ca.4,5%CaO
NPK 14+10+16(+5S)	14	9,3	4,7	10	6	16	-	-	5	-	-
NPK 14+10+20(+3S)	14	9,2	4,8	10	7	20	-	-	3	2,4	-
NPK 15+15+10(+4S)	15	9	6	15	11	10	-	-	4	4	-
NPK 15+15+15(+2S)	15	9	6	15	10	15	-	-	2	1,6	ca.5,4%CaO
NPK 15+15+15 (+3)	15	9	6	15	12	15	-	-	3	2,7	0,01% Zink
NPK 16+16+16	16	9,5	6,5	16	11,2	16	-	-	-	-	-
NPK 17+13+13	17	5,3	11,7	13	8,5	13	-	-	-	-	-
NPK 20+5+5(+3+5)	20	12	8	5	3,5	5	3	0,8	5	2,5	-
NPK 20+7+10(+2+4)	20	12,9	7,1	7	4,9	10	2	-	4	4	-
NPK 20+5+14(3)	20	11	9	5	4	14	-	-	3	3	-
NPK 20+8+8(+2+5)	20	12	8	8	5,5	8	2	1,8	5	4,5	6% wasserlösliches Chlorid
NPK 20+8+8(+3+4)	20	11	9	8	5	8	3	2,4	4	3,2	-
NPK 22+6+12+5S	22	12	10	6	4,5	12	-	-	5	3	-
NK 10+0+17(2+5)	18	9	9	-	-	17	2	1,7	5	4	-

# Nährstoff Phosphat

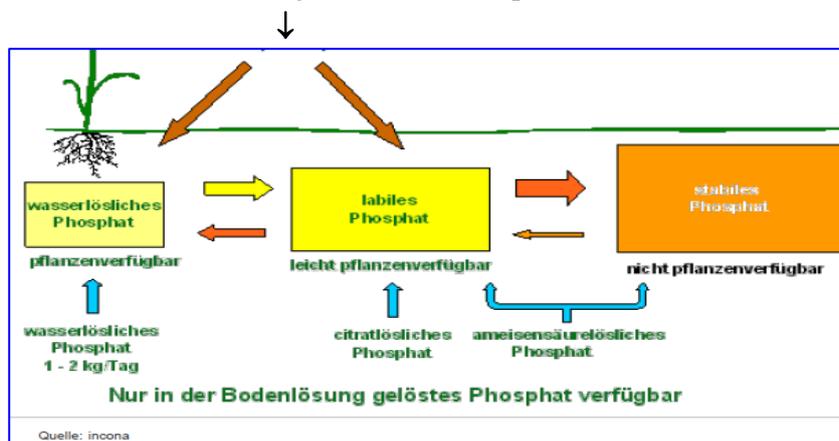
## 1. Phosphat-Formen

### 1.1 Kalziumphosphat-Salze

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

- Weich- und harterdige Rohphosphate**  
werden in Lagerstätten abgebaut und als Düngephosphate eingesetzt (Hyperphos...).  
Diese Phosphatformen (Hydroxyl- und Flourapatite) sind unter normalen pH- Werten im Boden nur extrem langsam löslich. In stark sauren Böden erhöht sich ihre Löslichkeit.
- teilaufgeschlossene oder voll aufgeschlossene Phosphate:**  
Bei der Herstellung von Düngemitteln werden Rohphosphate mit Säure „aufgeschlossen“ und somit löslicher gemacht.

Teil- und voll aufgeschlossene Phosphate



Je nach Form und pH-Wert hat Phosphat eine (sehr) geringe Löslichkeit im Boden

ca. 1-2 kg/ha  
im Bodenwasser gelöst

**Deshalb wichtig:**

**Nachlieferung muss gewährleistet sein!**

**Wie geht das?**

Bildquelle: [Yara](#)

### 1.2 Eisen- und Aluminiumphosphat- Salze

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

- Aluminiumphosphat:  $\text{Al PO}_4$  (**Variscit**)
- Eisenphosphate:  $\text{Fe PO}_4$  (**Strengit**) oder  $\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2$  (**Vivianit**)

Diese Phosphate sind vor allem in **sauren** Böden vorhanden, wenn Aluminium- ( $\text{Al}^{3+}$ ) und Eisen-Ionen ( $\text{Fe}^{2+}$ ) 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 Phosphatübersorgung Eisenmangel möglich!**

<http://www.kali.ch/d/service/dokumentation/naehrstoff/eisen.htm>

## 1.3 Organische Phosphatverbindungen

[Zurück](#)

**Phytin:** (s. Wikipedia [Phytin](#) und [Phytasen](#))

- Phytin ist aus der Schweinefütterung bekannt (Phytasen). Es ist eine ringförmige Verbindung mit sechs Phosphatresten, die bakteriell nur sehr langsam abgebaut werden kann.

**Die Löslichkeit im Boden ist sehr gering.**

- Da Phytin vor allem im Getreide zu finden ist und [Monogaster](#) keine Phytase haben, sind in...

**Schweine- und Hühnergüllen relativ hohe Gehalte an Phytin!**

**P<sub>org</sub> und Humus:**

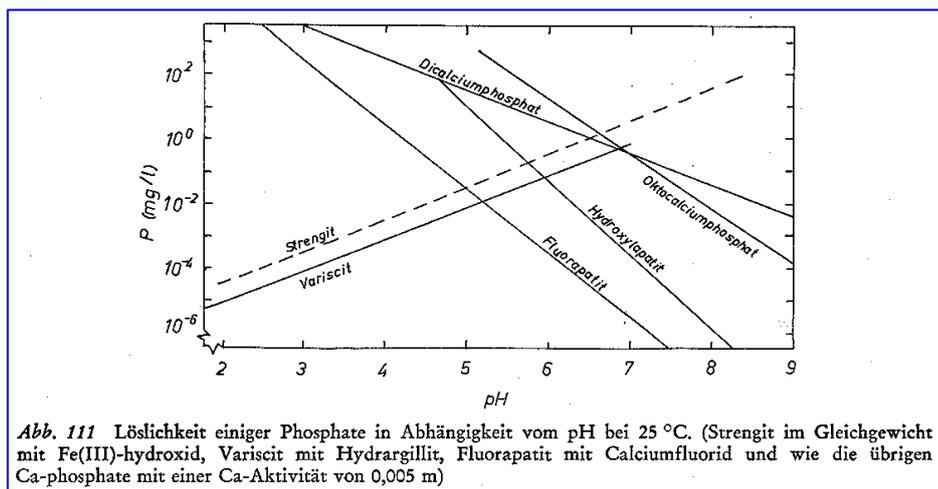
- Wie andere Nährstoffe, ist auch Phosphat in organischer Substanz eingebaut und kann bei Mineralisation dieser organischen Substanz freigesetzt werden.
- Auch kann Phosphat an [Humuskolloide](#) gebunden werden

## 2. Phosphatmobilität im Boden

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:**

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



**Optimale Phosphatlöslichkeit bei pH 6- 6,5**

Im Boden sind **jeweils nur 1-2 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha gelöst!** Deshalb ist eine

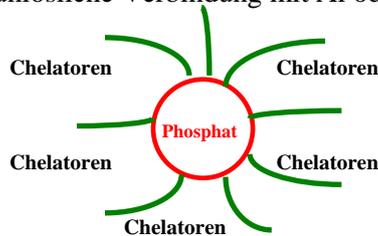
**Optimale Löslichkeit und ständige Nachlieferung für Pflanzenernährung wichtig!**

### Eine reichliche Zufuhr organischer Substanz bewirkt

[Zurück](#)

(in Verbindung mit optimalen Mineralisationsbedingungen wie pH, Luft, Temperatur...):

- Freisetzung von organischen Verbindungen, die als Chelatoren wirken.
- Die **Chelatoren** umhüllen das Phosphat und machen es somit löslicher.
- Durch die Umhüllung kann sich das Phosphat an keine Austauscher anlagern
- bzw. keine unlösliche Verbindung mit Al oder Fe eingehen



#### Humateffekt:

Bei der Mineralisation von organischer Substanz werden Chelatoren frei, die eine erhöhte Phosphatverfügbarkeit bewirken.

## 3. Praktische Schlussfolgerungen

### 3.1 Aufkalkung saurer Böden

Ein Aufkalken saurer Böden auf optimale **pH-Werte von etwa 6,5** bewirkt eine

**Verbesserung der Phosphat - Verfügbarkeit.**

Genauere Gründe dafür sind...

- höhere (pH- abhängige) Löslichkeit der Phosphat-Salze
- geringere Bindung des Phosphats an pH - abhängige Austauscher
- geringere Bindung des Phosphat an Fe/Al - Oxide (s. oben)

### 3.2 Zufuhr organischer Substanz

Durch den **Humateffekt** (s. oben) wird durch eine reichliche Versorgung des Bodens mit leicht abbaubarer organischer Substanz eine Erhöhung der Phosphatverfügbarkeit erreicht.

### 3.3 Einarbeitung von Phosphat

In unmittelbarer Nähe von Wurzeln liegt aufgrund der sauren Wurzelausscheidungen oft ein pH-Wert von 2 - 3 vor. Damit können eingebrachte Düngerphosphate (Kalziumphosphate!) rasch gelöst und von der Wurzel aufgenommen werden.

Phosphat kann auf zwei verschiedene Arten in Wurzelnähe gebracht werden:

1. Die Wurzel wächst zum Phosphat.  
 Maßnahme: Durchwurzelung fördern durch strukturfördernde Bodenbearbeitung.  
**Phosphatmangel ist oft ein Zeichen für Bodenverdichtungen!**
2. Einarbeitung von P-Düngern in die Wurzelzone  
**Oberflächlich ausgebrachtes Phosphat hat keine Sofortwirkung**

[Zurück](#)

## 4. Phosphatdüngemittel

### 4.1 Löslichkeitsgruppen

Die P-Dünger werden nach dem Düngemittelgesetz in verschiedene Löslichkeitsgruppen eingeteilt. Wie viel Gewichts- %  $P_2O_5$  mit welchen Löslichkeitseigenschaften die Dünger haben, muss auf dem Düngemittelsack oder auf dem Lieferschein vermerkt sein.

**Tabelle: Zusammensetzung wichtiger Phosphatdünger**  
 Quelle: LAD Informationen zur Düngung, Ausgabe NRW 2004)

Zusammensetzung wichtiger Phosphatdünger (Quelle: LAD Informationen zur Düngung, Ausgabe NRW 2004)		
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 $P_2O_5$ , davon ca. 60% in 2%iger Ameisensäure, 65% $CaCO_3$ und 15% $MgCO_3$

- **wasserlösliche** Formen:  
z.B. Superphosphat, Tripple-Phosphat, z.T. Novaphos
- **zitronensäurelösliche** Formen:  
z.B. Thomasphosphat
- **ameisensäurelösliche** Formen:  
z.T. Carolonphosphat, z.T. Hyperphos
- **mineralsäurelösliche** Formen (Schwefelsäure, Phosphorsäure):  
Rohphosphate wie z.T. Novaphos, z.T. Hyperphos

Quelle: [Yara](#)

**Die Löslichkeit nimmt (bei normalem pH- Wert) von oben nach unten ab.**

### 4.2 Welche Düngung ist hier wichtig?

Quelle: [Yara](#),

**Typische Phosphat-Mangelsymptome sind...  
auf sauren, verdichteten Böden**

- ältere Blätter rötlich-violett verfärbt.
- Rotverfärbung auch am Stängel.
- Die Pflanzen sind klein und zeigen ein steifes Aussehen (Starrtracht).
- **später Absterben** der älteren Blätter.

Weitere Bilder von Mangelsymptomen s. [VisuPlant](#), [Kali und Salz](#)

### Diskussion und Vorschlag...

1. **Kurzfristig** tiefe Reihenhacke in Kombination mit wasserlöslichem NP-Dünger...
  - Luft im Boden fördert Mineralisation und Umsetzung...
  - Einarbeitung von wasserlöslichem Phosphat in Wurzelnähe
2. **Langfristig** Optimierung des pH-Wertes auf 6,2- 6,5 und Strukturverbesserung durch...
  - Meliorationskalkung mit Branntkalk, Erhaltungskalkung mit Carbo- bzw. Kohlens. Kalk
  - Vermeidung von Verdichtungen und Mulchsaatverfahren (Stabilisierung der Krümelstruktur und Förderung des Humateffekts)

### 4.3 Übersicht wichtiger Dünger

[Zurück](#)

 Quelle Fa. [Beiselen](#), (s. auch [Online-Nährstoffberatung](#) der Fa. Beiselen)

P/PK-DÜNGER	Phosphat(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) in %				Kalium wasserlöslich	Magnesiumoxia		Schwefel	
	Gesamt- gehalt	neutral- ammoncitrat und wasserlöslich	wasser- löslich	ausschließlich mineralsäure löslich		gesamt	wasser- löslich	gesamt	wasser- löslich
PK(Mg+S) 10+25 (+4+6)	10	7,5	4	2	25	4	1	6	3
PK(Mg+S) 12+19 (+4+7)	12	9	6	-	19	4	1	7	3,5
PK (S) 12+24 (+6)	12	8,5	6,5	2	24	-	-	6	3
PK (Mg+S) 14+14 (+4+8)	14	10	7	-	14	4	1	8	4
PK (S) 15+30 (+3)	15	15	13,5	-	30	-	-	3	1,5
PK (S) 16+16 (+7)	16	11,5	8,5	2	16	-	-	7	3,5
PK 20+30	20	20	18	-	30	-	-	-	-
PK(S) 20+20(+5)	20	20	18	-	20	-	-	5	2,5
Superphosphat 18 (+11)	18	18	16,7	-	-	-	-	11	5,5
Novaphos 23 (+8)	23	-	9,5	-	-	-	-	8	4
P 40	40	-	20	-	-	-	-	-	-
Tripelsuperphosphat	45-46	45-46	43	-	-	-	-	-	-

NP- DÜNGER	Gesamtstickstoff in %	Nitrat- stickstoff in %	Ammonium- stickstoff in %	Phosphat (PO <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) in %		Schwefel		Sonstige
				gesamt	wasser- löslich	gesamt	wasser- löslich	
MAP 12+52	12	-	12	52	48	-	-	-
DAP 18+46	18	-	18	46	36,8-43	-	-	-
NP(S) 17+17+14S	17	-	17	17	15,3	14	10	0,1 % Bor
NP(S) 20+20	20	7,2	12,8	20	13	4	3,2	ca. 6% CaO
NP(S) 20+20+(14S)	20	-	20	20	17	14	14	-
NP(S) 24+14(+4)	24	9,1	14,9	14	11,9	4	3,6	Cu+Zn

DAP z.B. für Unterfußdüngung in Mais

# Nährstoff Kalium

## 1. Kalium-Eigenschaften der Tonminerale

(Siehe auch Bodenkunde!)

Die Kenntnis vom Aufbau der Tonminerale ist für das Verständnis der Kalium-Dynamik im Boden sehr wichtig.

### 1.1 Tonminerale tragen negative Ladungen

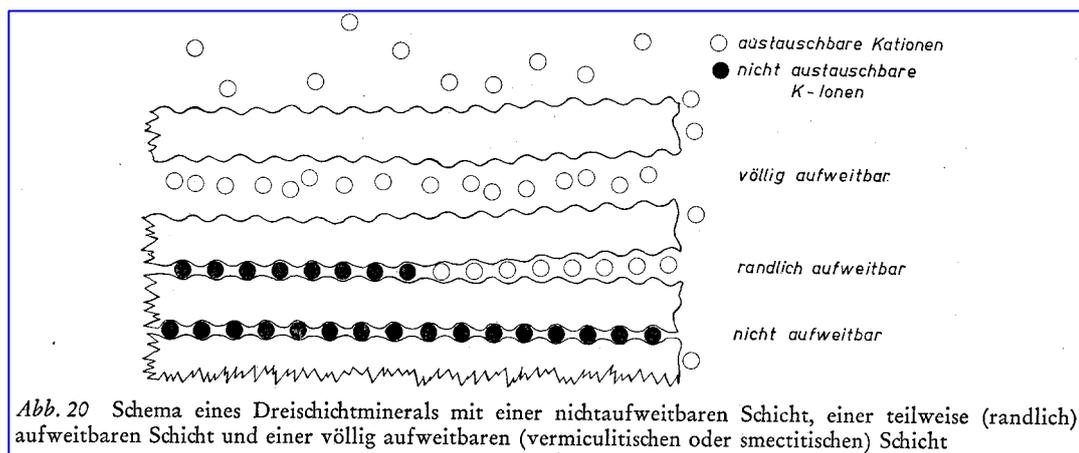
Der Ersatz von Si-Atomen durch Al-Atome oder der Al-Atome durch Mg-Atome in dem Strukturgitter hat einen negativen Ladungsüberschuss zur Folge.

Dies bedeutet für die Bodenfruchtbarkeit:

- Anlagerung von positiv geladenen Nährstoff-Ionen wie z.B. Kalium
- Anlagerung von Schwermetallen, Pflanzenschutzmittelrückständen u.a.

Durch den Schichtaufbau ist die Fläche, die für die Anlagerungsvorgänge zur Verfügung steht, sehr groß:

**1 Gramm Ton hat eine Anlagerungsfläche von 100 bis 800 m<sup>2</sup> !!**



### 1.2 Tonminerale enthalten natürliches Kalium

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

**TM sind z.T. sehr bedeutende natürliche Kaliquellen des Bodens!**

Viele Böden (z.B. fränkische Keuperlagen) haben aufgrund besonderer TM ein hohes natürliches Nachlieferungsvermögen für Kalium!

**Diese natürliche Nachlieferung unterstützt die Kali-Versorgung der Pflanze.  
s. Unterricht und Tafelzeichnung!**

## 2. Bindungsformen von Kalium in Tonmineralen

[Zurück](#)

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 (IS/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 aufweitbaren Tonminerale und kann als Nährstoffreserve angesehen werden.

### 3. Oberflächenkalium:

Das an den Oberflächen der Tonminerale angelagerte Kalium (und auch andere positive Nährstoffe wie  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ...) sind voll pflanzenverfügbar.

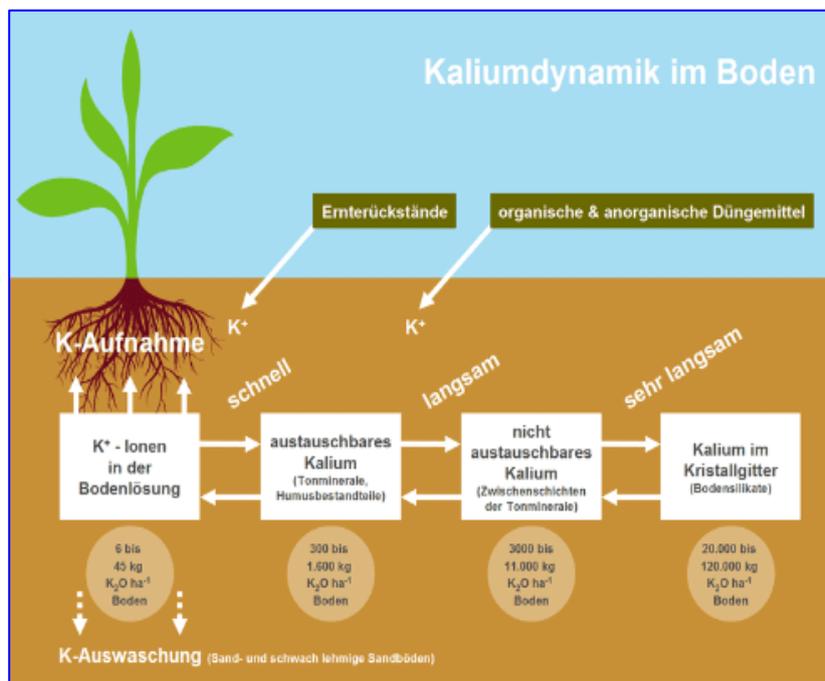
Sie werden von der Oberfläche abgelöst (ausgetauscht), wenn

- in der Bodenlösung diese Nährstoffe fehlen oder
- sie von anderen positiven Nährstoffen (Überdüngung!) verdrängt werden.

## 3. Vorgänge und Verfügbarkeit im Boden

### 3.1 Austausch an Tonmineralen

Bildquelle: [Kali+Salz](#), s. auch [Yara \(„effizient düngen“\)](#)



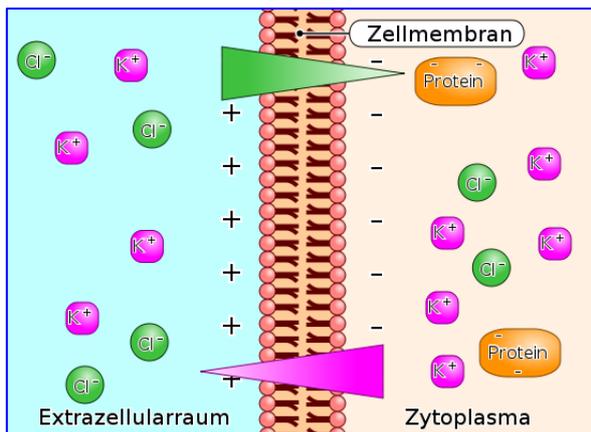
#### Erläuterung:

- Das Kalium gelangt durch die Düngung in die **Bodenlösung** und an die Oberflächen der Tonminerale
- Die Pflanze entzieht der Bodenlösung Kalium, die Kali-Konzentration in der Bodenlösung nimmt ab, **Oberflächen-Kalium** wird abgelöst und füllt die Bodenlösung wieder auf.
- Oberflächen-Kalium wird durch **Zwischenschicht-Kalium** (langsam!) wieder aufgefüllt,
- **Gitter-Kalium** wird (sehr langsam!) frei und setzt sich in die Zw.schichten.

## Merke:

[Zurück](#)

1. Es besteht ein **Konzentrationsgleichgewicht** zwischen dem Oberflächenkalium an den Tonmineralen und dem Kalium im Bodenwasser.
2. Nach Pflanzenentzug wird das Bodenwasser durch Oberflächen-Kalium (in sehr geringem Umfang durch Zwischenschicht - Kalium) wieder aufgefüllt.
3. Eine Kalidüngung füllt die Oberflächen und aufgeweitete Zwischenschichten der Tonminerale wieder auf.



Das Konzentrationsgleichgewicht, das sich in unmittelbarer Nähe der Wurzeloberfläche einstellt, wird bezeichnet als

**Donnan- Gleichgewicht**

Quelle: [Wikipedia](#)

**3.2 Kalifizierung und Mangelsymptome**

Quelle: [Kali+Salz](#), [VisuPlant](#) oder [Yara](#)

Kalifizierende Tonminerale natürlichen Ursprungs befinden sich **in Auenböden der Voralpenflüsse** sowie in den Unterböden der niederbayerischen Löss. Die Entleerung des Kaliums aus den Mineralschichten erfolgte durch die großen Mengen Schmelzwasser am Ende der letzten Eiszeit.



Typische **Mangelsymptome** auf diesen fixierenden Flächen sind (bzw. waren vor der Aufdüngung):

- Blattrandchlorosen älterer Blätter
- Später Absterben der Blätter



Weniger deutliche Ausprägung im Getreide, hier auch **Verwechslung mit anderen Ursachen** wie

- Sortentypische Spitzenaufhellungen
- Überkonzentrierung beim Fungizideinsatz

### 3.3 Fruchtfolge- bzw. Schaukeldüngung

[Zurück](#)

Aus den Grundlagen zur P- und K-Düngung kann abgeleitet werden, dass der

#### **PK- Bedarf der gesamten Fruchtfolge in 1-2 Gaben ausgebracht**

werden kann. Damit können **arbeitswirtschaftliche und Kostenvorteile** ausgenutzt werden:

1. Das Kalium wird an bzw. in den Tonmineralen gespeichert und
2. das Phosphat in Form seiner nur langsam löslichen Salze (=Pufferung).

Auf sehr leichten Sandböden (wenig Tonminerale) jedoch nicht möglich

### 3.4 Chloridhaltige oder sulfathaltige Kalidünger?

Quelle: [Kali und Salz](#)

Welcher Kalidünger zu welchen Kulturen?
<b>Chlorid-liebend:</b> (chloridische Düngemittel werden bevorzugt) Zuckerrübe, Futterrübe, Sellerie, Mangold <b>Korn-Kali®</b> , <b>60er Kali® 'gran.'</b>
<b>Chlorid-verträglich:</b> (chloridische Düngemittel sind einsetzbar; die meisten Gemüsearten bevorzugen aber wegen des Schwefelbedarfs sulfatische Kalidünger) Getreide, Mais, Raps, Spargel, Grobkohlarten, Rote Bete, Rhabarber <b>Korn-Kali®</b> Grünland, Klee gras <b>Korn-Kali®, Magnesia-Kainit®</b>
<b>bedingt Chlorid-verträglich:</b> (chloridische Düngemittel können eingesetzt werden, wenn dies rechtzeitig vor Vegetationsbeginn erfolgt) Sonnenblume, Weinrebe, Kernobst, Schwarze Johannisbeere, Pflanz- und Speisekartoffel, Tomate, Radies, Kohlrabi, Feinkohlarten, Erbse, Spinat, Karotte, Lauch, Rettich, Chicorée <b>Patentkali®, Kaliumsulfat 'gran.'</b> , <b>Korn-Kali®</b>
<b>Chlorid-empfindlich:</b> (es sollten nur Düngemittel angewendet werden, in denen Kali in sulfatischer Form vorliegt) Stärke- und Veredelungskartoffel, Tabak, Rote Johannisbeere, Stachelbeere, Himbeere, Erdbeere, Brombeere, Heidelbeere, Steinobst (speziell Süßkirsche), Buschbohne, Dicke Bohne, Gurke, Melone, Paprika, Zwiebel, Salat, Frühgemüse, alle Untergraskulturen, Koniferen, Blumen und Zierpflanzen sowie Keimlinge und Setzlinge der meisten Pflanzen <b>Patentkali®, Kaliumsulfat 'gran.'</b>
Bei einer Düngung direkt zur Saat bzw. im Keimstadium ist immer der Einsatz sulfatischer Düngemittel anzuraten.

#### Düngung chloridempfindlicher Kulturen...

- **im Frühjahr** mit sulfathaltigem **Patentkali** oder Kaliumsulfat oder...
- **im Herbst** mit kostengünstigem **Kaliumchlorid** oder auch Gülle

Bei einer chloridhaltigen Grund- oder auch Gölledüngung im Herbst...

- wird bis zur Saat im Frühjahr das negative Chlorid-Ion Cl<sup>-</sup> aus der Wurzelzone ausgewaschen

#### Chloridempfindlich sind ...

- Die meisten **Gemüsearten** und andere gärtnerische Kulturen (s. links)
- **Stärkekartoffeln**

#### **Chlorid behindert den Stärkeaufbau**

#### Für festkochende Speisekartoffel...

- kann dies von Vorteil sein.
- Ein um 1-2%-Punkte geringerer Stärkegehalt erhöht die Speisequalität

### Übersicht wichtiger Kali-Dünger s. [Fa. Kali und Salz](#)

# Nährstoff Magnesium

## 1. . Natürliche Magnesiumquellen und Mangelstandorte

s. auch [Kali und Salz](#)

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 qualitativ richtig sind. Die absoluten Mg-Gehalte von Tonmineralen und Kalkgesteinen unterliegen jedoch einer größeren Streubreite, je nach Entstehungsgeschichte des Bodens und geologischer Herkunft des Gesteins

### Schlussfolgerungen:

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

- Granitverwitterungsböden (Bayerischer Wald, Fichtelgebirge, Schwarzwald)
- Böden des Mittleren Buntsandsteins (z.B. Unterfranken)
- Böden des Sandsteinkeupers (z.B. mittelfränkische Lagen)

## 2. Mangelsymptome

Quelle: [Kali und Salz](#) und [VisuPlant](#)



### Typische Magnesiummangelsymptome...

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

## 3. Beweglichkeit im Boden

### 3.1 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 Kali das Magnesium von der Wurzel.**

### 3.2 Konkurrenz an den Tonmineralen

[Zurück](#)

Magnesium konkurriert auch an den Kolloiden (Tonmineralen...) mit anderen positiven Ionen wie  $Al^{3+}$  (Freisetzung in sauren Böden), Kalium oder auch  $Ca^{2+}$  um die Austauschplätze.

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“)

Weitere Erläuterungen s. „Spurenelemente“

## 4. Düngung

### 4.1 Blattdüngung mit Bittersalz

Bei akutem Magnesiummangel Einsatz von...

**Bittersalz wie Epso Microtop (Magnesiumsulfat  $MgSO_4$  mit Bor)**

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

Blattdünger/Fertigation	<u>K<sub>2</sub>O</u>	<u>MgO</u>	<u>S</u>	<u>Na</u>	<u>B</u>	<u>Mn</u>	<u>Zn</u>
<a href="#">EPSO Combitop</a>		x	x			x	x
<a href="#">EPSO Microtop</a>		x	x		x	x	
<a href="#">EPSO Top</a>		x	x				
<a href="#">Hortisul</a>	x	Nur Kali-Blattdünger!					

s. Übersicht Düngemittel [Kali und Salz](#)

#### Hinweise zum praktischen Einsatz von Bittersalz:

- **maximal 5%ige Lösung**, d.h. 20 kg je 400 l/ha Wasser (ca. 3 kg  $MgO$ /ha!!)

Bei Entzügen von ca. 30-50 kg  $MgO$ /ha (Zuckerrüben ca. 70 kg) kann die Blattdüngung die Bodendüngung nur unterstützen bzw. ergänzen (gilt auch für S!)

- empfohlene Gesamtmenge 25 – 30 kg/ha Bittersalz (= 5 kg  $MgO$ ). Dies bedeutet Mehrfachbehandlungen!
  - sinnvolle Ausbringungstermine in EC 31- 59 (Blattdüngung!), bei E- Weizen auch zur Kornausbildung.
  - Probleme bei Mischungen?
- Mit den meisten PSM ist Bittersalz gut mischbar (Beipackzettel beachten!). Bei Unsicherheit...

#### **evtl. Probemischung in Eimer vornehmen**

(schlecht wären Ausflockungen, Niederschläge, Schaumbildung...)

- Bei Zugabe in reines AHL Bittersalz vorher in Wasser auflösen!
- Einsatz als Vorratsmischung in Großbehältern möglich (kristallisiert nach Auflösung nicht mehr aus)

#### Bittersalz als Schwefeldünger (s. unten):

Bei max. 5%-iger Lösung und 13% S können in 400 l/ha max. 2,6 kg S/ha ausgebracht werden:

**Blattdüngung kann Schwefel-Bedarf nur ergänzen!**

## 4.2 Magnesiumversorgung über Bodendüngung

[Zurück](#)

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<sup>2+</sup>](#) aus Kalk ist abhängig von

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

Gute Verfügbarkeit von Mg<sup>2+</sup> bei fein vermahlenden Kalken in sauren Böden!

### Gelöstes Magnesium im Boden:

- Feiner Kohlensäurer Magnesiumkalk hat eine Löslichkeit von ca. 0,1 g/Liter MgCO<sub>3</sub>.
- Dies entspricht bei 100 l/ m<sup>2</sup> Bodenwasser (siehe nFk!) etwa 100 kg MgCO<sub>3</sub>/ha oder ca. 60 kg MgO/ha (= Entzug der meisten Kulturpflanzen, s. oben)

Das kg MgO ist in einem Magnesiumkalk wesentlich billiger als in einem Blattdünger! Während ein Blattdünger je kg MgO ca. 0,5 Euro kostet, kann das kg MgO in kohlensaurem Kalk mit 5- 10 Cent verrechnet werden. Vergleichsrechnung s. Unterricht!

Die empfohlenen Düngermengen (je nach Kultur und Bodenversorgung) von

**40 - 100 kg MgO/ha**

(s. Tabelle Gelbes Heft S. 29).

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

### Übersicht Kalkdünger:

Quelle Fa. [Beiselen](#), (s. auch [Online-Nährstoffberatung](#) der Fa. Beiselen)

KALK- DÜNGER	Kalk als CaCO <sub>3</sub> in %	Kalk als CaO in %	Magnesium als MgCO <sub>3</sub> in %	Magnesium als MgO in %	Mangan in %	Kieselsäure in %	Spuren-nährstoffe
Kohlensäurer Kalk	75-95	-	bis 5	-	-	-	-
Kohlensäurer Magnesiumkalk	75-90	-	>15	-	-	-	-
Branntkalk	-	65-90	-	bis 5	-	-	-
Branntkalk mit Magnesium	-	65-85	-	5-14	-	-	-
Mischkalk	-	50-60	-	-	-	-	-
Mischkalk mit Magnesium	-	50-65	-	5-14	-	-	-
Konvertkalk feucht körnig	-	40-45	-	3-5	2-3	10-12	enthalten
Konverterkalk	-	mind. 40	-	2-3	2-3	10-12	enthalten
Hüttenkalk	-	mind. 42	-	7	0,5-2	32	enthalten

[Andere Mg-Dünger sind z.B...](#)

- Kieserit (Mg-Sulfat, ca. 25-30% MgO)
- Mg- haltige Grunddünger wie Patentkali (10% MgO), Kornkali (6%)...
- Mg- haltige Volldünger wie z.B. NPK- Dünger 16+9+14+3+4 (Mg S) oder 21+8+11+2 (Mg)

# Kalk

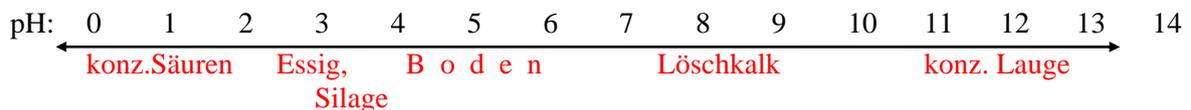
## 1. pH-Wert

In sauren Lösungen überwiegen die  $H^+$ -Ionen, in basischen Lösungen (Laugen) die  $OH^-$ -Ionen. Die Konzentration der beiden Ionen-Arten wird mit dem pH-Wert bzw. mit dem pOH-Wert angegeben. Normalerweise genügt für die Angabe der pH-Wert, da sich die beiden Werte immer zu der Konstante 14 ergänzen.

Beispiel:

- Eine Säure mit einem pH-Wert von 3 enthält...  
 $1 \cdot 10^{-3}$  Mol  $H^+$ -Ionen und  $1 \cdot 10^{-11}$  Mol  $OH^-$ -Ionen pro Liter.
- Ein destilliertes Wasser (neutral) hat einen pH-Wert von 7 und enthält...  
 $1 \cdot 10^{-7}$  Mol  $H^+$ -Ionen und  $1 \cdot 10^{-7}$  Mol  $OH^-$ -Ionen pro Liter.
- Eine Lauge (z.B. Löschkalk) hat einen pH-Wert von 10 und enthält...  
 $1 \cdot 10^{-10}$  Mol  $H^+$ -Ionen und  $1 \cdot 10^{-4}$  Mol  $OH^-$ -Ionen pro Liter.

### Größenordnungen:



## 1.1 Bodenartabhängige optimale pH-Werte

Quelle: LfL Bayern [Gelbes Heft, S. 22](#), s. auch [Rheinland Pfalz](#)

Schlüssel	Bodenarten		anzustrebender pH-Bereich
	Kurzzeichen	Bezeichnung	
01	S	Sand	5,4 - 5,8
02	lS	schwach lehmiger Sand	5,8 - 6,3
03	lS	stark lehmiger Sand	
04	sL	sandiger Lehm	6,2 - 6,8
05	uL	schluffiger Lehm (Löblehm)	
06	tL	toniger Lehm	
07	lT	lehmiger Ton	6,6 - 7,2
08	T	Ton	

### 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** sind 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 aufgekalkte oder von Natur aus kalkhaltige (humose!) Sandböden.

### Optimale pH-Werte auf Grünland:

Auf Grünland gilt die Faustregel.

$$\text{Grünland-pH} = \text{Ackerland-pH} \text{ minus } 0,8 \text{ bis } 1,0 \text{ (warum?)}$$

## 1.2 pH- abhängiger Kalkbedarf einer Meliorationskalkung

[Zurück](#)

Quelle: [Rheinland Pfalz \(pdf\)](#)

Nach folgenden Tabellen berechnen Bodenuntersuchungslabors in Abhängigkeit der gemessenen pH-Werte und der (mit Fingerprobe) festgestellten Bodenarten ihre Kalkempfehlungen.

<b>Kalkungsempfehlungen in dt CaO/ha - Ackerland</b>					
<b>Sandböden</b>		<b>Lehmböden</b>		<b>Tonböden</b>	
<b>pH</b>	<b>dt CaO</b>	<b>pH</b>	<b>dt CaO</b>	<b>pH</b>	<b>dt CaO</b>
bis 4,0	67	bis 4,6	97	bis 4,8	140
4,1	63	4,7	91	4,9	128
4,2	59	4,8	87	5,0	121
4,3	55	4,9	81	5,1	113
4,4	52	5,0	76	5,2	105
4,5	48	5,1	70	5,3	98
4,6	44	5,2	65	5,4	90
4,7	41	5,3	60	5,5	82
4,8	38	5,4	55	5,6	75
4,9	34	5,5	49	5,7	67
5,0	31	5,6	44	5,8	59
5,1	27	5,7	38	5,9	52
5,2	23	5,8	33	6,0	44
5,3	20	5,9	28	6,1	36
5,4	17	6,0	23	6,2	29
5,5	14	6,1	19	6,3	21
5,6-6,1	9	6,2-6,9	16	6,4-7,2	20
ab 6,2	0	ab 7,0	0	ab 7,3	0
Höchste Einzelgabe	15	Höchste Einzelgabe	30	Höchste Einzelgabe	50

<b>Kalkungsempfehlungen in dt CaO/ha - Grünland</b>					
<b>Sandböden</b>		<b>Lehmböden</b>		<b>Tonböden</b>	
<b>pH</b>	<b>dt CaO</b>	<b>pH</b>	<b>dt CaO</b>	<b>pH</b>	<b>dt CaO</b>
bis 3,7	36	bis 4,1	53	bis 4,1	70
3,8	34	4,2	50	4,2	68
3,9	32	4,3	47	4,3	63
4,0	30	4,4	44	4,4	59
4,1	27	4,5	40	4,5	55
4,2	24	4,6	36	4,6	51
4,3	22	4,7	33	4,7	47
4,4	19	4,8	30	4,8	43
4,5	17	4,9	26	4,9	38
4,6	14	5,0	22	5,0	34
4,7	12	5,1	19	5,1	30
4,8	11	5,2	15	5,2	26
4,9	9	5,3	10	5,3	22
5,0-5,2	5	5,4	9	5,4	17
ab 5,3	0	5,5-5,7	7	5,5	13
		ab 5,8	0	5,6	9
				5,7-5,8	8
				ab 5,9	0
Höchste Einzelgabe	15	Höchste Einzelgabe	20	Höchste Einzelgabe	30

[Zurück](#)

## 2. Folgen einer fehlenden Kalkversorgung

### 2.1 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  $Al^{3+}$  und  $Fe^{2+}$  zu  $Fe_3(PO_4)_2$  und  $AlPO_4$ , dadurch schlechte Phosphatmobilität (P-Mangel trotz P-Düngung!).
  - **Kalzium:**  
fördert das Meristemwachstum (Einbau in Zellwänden), bei Mangel Schäden an Wurzel - und Sprossspitzen möglich.
  - **Aluminium:**  
Erhöhte Freisetzung von  $Al^{3+}$  - und  $Fe^{2+}$  - Ionen aus Tonmineralen (s. dort)
- Al = Wurzelgift,
  - Phosphatfestlegung durch Al + Fe

### 2.2 Gestörte Bodenstruktur (Verschlämmung, Verdichtung)

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

### 2.3 Extremer Ionenantagonismus an der Wurzel

Darunter versteht man die Tatsache, dass durch eine einseitig hohe Nährstoff- oder (wie hier) Säurekonzentration andere Nährstoffe von der Wurzel verdrängt werden.

**Säure-Ionen belegen Austausch- und Wurzeloberflächen  
und verdrängen andere Nährstoff- Ionen.**

### 2.4 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 Wurzelbildung (keine Faserwurzeln)

**z.B. gelbe Wintergerstensläge im Herbst**

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

Hafer > WR + WW > WG > SoG

### 3. Kalkdüngung

[Zurück](#)

#### 3.1 Düngemittel und Kalkform

 Quelle: [BayWa](#).

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% CaCO <sub>3</sub>	48-53% CaO
Kohlensaurer Magnesiumkalk	45-80% CaCO <sub>3</sub> , 15-40% MgCO <sub>3</sub>	49-57% CaO
Kohlensaurer Kalk mit Schwefel	80% CaCO <sub>3</sub> , 2% S	45% CaO

Bei Kalkdüngemitteln muss unterschieden werden zwischen...

- Konzentrationsangabe:  
Konzentrationsangabe der jeweiligen chemischen Kalkform (CaO, MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>...)
- Kalkwirkung (Neutralisationswert)  
Um chemisch unterschiedliche Kalke in ihrer Wirkung vergleichen zu können, ist die

#### rechnerische Basis CaO

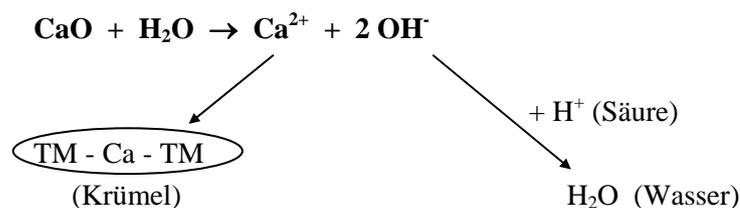
sehr wichtig. Die Kalkformen werden über ihre Molekulargewichte in „CaO- Wirkung“ umgerechnet.

**Für Preisvergleiche und Düngeempfehlungen wichtig**

#### 3.2 Welche Kalkart für welchen Boden?

##### 3.2.1 Branntkalk (CaO)

- rasche neutralisierende Wirkung durch Freisetzung der OH<sup>-</sup> - Ionen.
- krümelnde Wirkung durch Ca<sup>2+</sup> - Ionen (s. oben).



**Branntkalk wichtig, wenn** der pH-Wert rasch angehoben werden soll

- “Aufkalkung”, z.B. wegen beobachteter Säureschäden),
- unabhängig von der Bodenart!
- auf schweren Böden die **Krümelstruktur** verbessert werden soll
- Vorsaatkalkung bei verschlammungsgefährdeten Böden (Löß, Zuckerrüben)

### 3.2.2 Kohlensäure Kalke

[Zurück](#)

Zu den kohlensäuren Kalken zählen neben den „natürlichen“ Kalken auch Rückstandskalke wie...

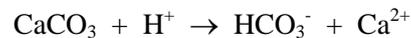
- **Carbokalke** der Zuckerfabrik (einer der feinsten kohlensäuren Kalke!)
- **Schwarzkalk** (fällt bei der Didin- Herstellung an)

Allgemein gilt:

1. Die neutralisierende Wirkung kohlensäurer Kalke ist allgemein sehr viel langsamer als die von Branntkalk.
2. Kohlensäurer Kalk ist ein Salz (Salz der Kohlensäure) und nur sehr langsam löslich. Ausschlaggebend für die Wirkung ist die Körnung dieses Salzes.

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

3. aufgrund der allgemein langsamen Löslichkeit ist kein Krümeleffekt zu erwarten.  
Neutralisation:



### 3.2.3 Hütten- und Konverterkalke

Quelle: [Hüttenkalk](#)

Die Säure neutralisierende Wirkung von Kalziumsilikat beruht auf folgender Reaktion

- Ähnlich wie Kalziumcarbonat  $\text{CaCO}_3$  löst sich Kalziumsilikat  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  in seine Ionen auf:



- Ähnlich wie Carbonat  $\text{CO}_3^{2-}$  sich mit  $\text{H}^+$  zu Kohlensäure verbindet, bildet auch Silikat  $\text{SiO}_4^{4-}$  mit den Säure-Ionen eine schwache Kieselsäure



Weitere Erklärungen dazu s. [Wiki](#):

### 3.2.4 Einsatz langsam wirkender Kalkformen

Quelle: JKI

Düngertyp	Zusammensetzung	Gehalt an Bezugsbasis
<b>Kohlensäurer Kalk (KK)</b>		
KK (Kalkmergel)	$\text{CaCO}_3$	> 75 % Gesamtkarbonat
KK mit Mg	$\text{CaCO}_3$ , 5-14 % $\text{MgCO}_3$	
KK Magnesiumkalk	$\text{CaCO}_3$ , >14 % $\text{MgCO}_3$	
<b>Industriekalke</b>		
Hüttenkalk	~ $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	> 42 % CaO
Konverterkalk	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , CaO	> 40 % CaO
Carbokalk	$\text{CaCO}_3$	> 30 % CaO

Die Wirkungsgeschwindigkeit nimmt je nach Mahlfineinheit mit in folgender Reihe ab:

- Carbokalk
- Kohlensäurer (Mg-) Kalk
- Konverterkalk
- Hüttenkalk

### Kohlensäure (Mg-) Kalke (oder evtl. auch Hüttenkalke) wenn...

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

### 3.2.5 Zusammenfassung

[Zurück](#)

#### Auf Sandböden:

1. Rasche Anhebung des pH-Wertes bei sauren Böden auf optimale Werte durch eine einmalige **Branntkalkgabe** in empfohlener Höhe (nach Bodenuntersuchung, s. oben).  
Damit werden Säureschäden in der Folgekultur vermieden.
2. Danach die Erhaltungskalkung mit langsam wirkendem **kohlensauren Magnesiumkalk** fortsetzen ( $Mg^{2+}$  ist in leichten, sauren Böden meist im Mangel!).

#### **Erhaltungskalkung auf Stoppel im Herbst**

#### Auf Tonböden:

1. Auf verschlammungsgefährdeten (Schluff haltigen) Böden sollte generell mit Struktur förderndem Branntkalk gearbeitet werden  
Dies gilt insbesondere bei Problemfrüchten wie Zuckerrübe, Raps oder Mais.  
**Vorsaatkalkung (Strukturverbesserung des Saatbetts!)**
2. Bei optimalen Bodenverhältnissen und pH-Werten kann die Erhaltungskalkung auch mit Carbo-  
natkalken durchgeführt werden (z.B. Carbokalk bei Zuckerrüben).



# Nährstoff Schwefel

## 1. Mangelsymptome

Schwefelmangel zeigt sich nicht nur in Raps (dort wurde er in den 80er Jahren jedoch zuerst festgestellt), sondern auch in anderen Kulturen. Als Gründe werden insbesondere der Rückgang der Schwefeleinträge aus der Luft durch verbesserte Umweltschutzmaßnahmen angesehen...

Allgemeine Mangelsymptome "fast wie bei Stickstoff":

**Aufhellung der jungen Blätter und Pflanzenteile**

### 1.1 Symptome und Besonderheiten bei Raps

Bildquelle: [Kali und Salz, Yara](#), s. auch [VisuPlant](#)



#### Blätter:

- gelbverfärbte Blattränder an jungen Blättern (Gegensatz zu N-Mangel, dort zuerst an älteren Blättern!),
- Blattadern bleiben lange grün (ähnlich Mg - Mangel)
- stärkerer Mangel zeigt sich in einer Rotverfärbung und vor allem
- löffelförmiger Verkrümmung der jungen Blätter



#### Blüten:

**hellgelbe bis weiße Verfärbung der Blütenblätter**

#### Schoten:

- geringe Verzweigung der Schotenstände (geringer Schotenansatz)
- kleine kümmerliche, rötliche Schoten mit nur wenigen Samen

### 1.2 Typische Mangelstandorte

Schwefel wird von der Pflanze nur in Sulfat- Form  $\text{SO}_4^{2-}$  aufgenommen. Durch seine negative Ladung ist...

**Sulfat stark auswaschungsgefährdet  
(ähnlich wie Nitrat  $\text{NO}_3^-$  !).**

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

**Weitere langsam fließende S-Düngemittel** sind (weil sie erst zu Sulfat „umgebaut“ werden müssen)...

- **Elementarer Schwefel:** z.B. in Netzschwefel, verschiedene Kalkdünger
- **Ammonium- Thiosulfat ATS** (s. [Wikipedia](#))

Typische Mangelstandorte sind deshalb...

[Zurück](#)

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

1.3 Diagnoserahmen zur Abschätzung des Schwefelbedarfs

Quelle: BASF

Begründen und Erläutern Sie diese Angaben!

Merkmal	Bewertung mit Punktzahlen			Zutreffende Punktzahl				
	SCHLAG			1	2	3	4	5
<b>STANDORTEIGENSCHAFTEN</b>								
<b>Bodenart</b> <small>1) z. B. Sand, lehmiger oder schluffiger Sand 2) z. B. sandiger, sandig-toniger oder schluffiger Lehm 3) z. B. Ton, sandiger oder lehmiger Ton</small>	Sandiger Boden Schotterboden <sup>1)</sup> <b>1</b>	Lehmiger Boden <sup>2)</sup> <b>3</b>	Toniger Boden <sup>3)</sup> <b>5</b>					
<b>Humusgehalt</b>	arm < 2% Humus <b>2</b>	mittel 2-4% Humus <b>3</b>	reich > 4% Humus <b>4</b>					
<b>Verfügbare Wurzelraum (Krume + durchwurzelter Raum)</b>	Flachgründig <b>2</b>	Tiefgründig <b>4</b>						
<b>Strukturschäden (Verschlammung, Bodenverdichtung, Pflugsohle)</b>	Vorhanden <b>1</b>	Stellenweise vorhanden <b>3</b>	Nicht vorhanden <b>4</b>					
<b>N<sub>min</sub>-Gehalt zu Vegetationsbeginn im Vergleich zum langjährigen Mittelwert</b>	Unterdurchschnittlich <b>1</b>	Durchschnittlich <b>3</b>	Überdurchschnittlich <b>5</b>					
<b>WITTERUNG Niederschläge (Oktober-März) im Vergleich zum langjährigen Mittelwert</b>	Überdurchschnittlich <b>1</b>	Durchschnittlich <b>3</b>	Unterdurchschnittlich <b>5</b>					
<b>BEWIRTSCHAFTUNG Schwefelzehrende Kulturen in der Fruchtfolge (Raps, Kohlarten, Leguminosen)</b>	Anbau jedes 3. Jahr <b>2</b>	Anbau jedes 4. Jahr <b>3</b>	Anbau mind. jedes 5. Jahr <b>4</b>					
<b>In diesem Jahr angebaute Kultur</b>	Raps, Kohl, Leguminosen <b>1</b>	Andere Kulturen <b>3</b>						
<b>Schwefelmangel bereits aufgetreten (Ertragseinbußen, Blattanalyse, Mangelsymptome)</b>	Ja <b>1</b>	Nein oder unbekannt <b>3</b>						
<b>Ertragsniveau (dt/ha) Raps &gt; 35<sup>1)</sup> 25-35<sup>2)</sup> &lt; 25<sup>3)</sup> Getreide &gt; 70<sup>1)</sup> 50-70<sup>2)</sup> &lt; 50<sup>3)</sup></b>	Hoch <sup>1)</sup> <b>2</b>	Mittel <sup>2)</sup> <b>3</b>	Niedrig <sup>3)</sup> <b>4</b>					
<b>Zwischenfruchtanbau im letzten Herbst/Winter</b>	Nein <b>2</b>	Ja <b>4</b>						
<b>DÜNGUNG Einsatz organischer Dünger aus Tierhaltung (keine Gründüngung)</b>	0 GV/ha <b>1</b>	≤ 1,5 GV/ha <b>2</b>	> 1,5 GV/ha <b>3</b>					
<b>In den letzten 3 Jahren Einsatz nennenswerter Schwefel-Mengen aus Mineraldüngern (z. B. ASS, Nitrophoska 13+9+16 (+4+7), 20+8+8 (+3+4), Superphosphat, Kaliumsulfat)</b>	Nein <b>1</b>	Ja <b>3</b>						
19-32 Punkte: Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel hoch, Düngung mit ASS notwendig 33-40 Punkte: Bestände (besonders Raps) genau beobachten, Düngung mit ASS empfehlenswert 41-51 Punkte: Schwefelmangel zur Zeit nicht zu erwarten				<b>Summe der Punktzahlen</b>				

[Zurück](#)

## 2. Bodennachlieferung

### 2.1 Schätzung der natürlichen Freisetzung

Eine Ackerkrume enthält **0,01- 0,2% Schwefel** in organischen Verbindungen. Durch Mineralisation erfolgen eine Freisetzung und ein Umbau in Sulfat:

Bei einem Gewicht der Ackerkrume von ca. 3000 to/ha gilt...

→ bei **0,01% S** = 0,3 to/ha = 300 kg S/ha

→ Bei z.B. 1-2% Mineralisation pro Jahr = **3- 6 kg S/ha**

→ bei **0,2% S** = 6 to/ha = 6000 kg S/ha

→ Bei z.B. 1-2% Mineralisation pro Jahr = **60-120 kg S/ha**

Nach Abzug von Auswaschungsverlusten ist zu erkennen...

Ein **Schwefelbedarf von 30 - 40 kg S/ha** kann nur unter günstigen Bedingungen durch eine **natürliche Nachlieferung** gedeckt werden kann.

## 3. Freisetzung und Festlegung durch organische Düngung

(Dr. Gutser, v.Tucher)

Es kann in org. Düngern mit folgenden S-Gehalten kalkuliert werden:

	Festmist (25% TS, kg/to)		Flüssigmist (kg/m <sup>3</sup> )	
	S <sub>ges.</sub>	davon SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - S	S <sub>ges.</sub>	davon SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - S
Rind	0,8-1,5	3-17% von S <sub>ges.</sub>	0,2-0,6	25% von S <sub>ges.</sub>
Schwein	0,8-2,3		0,3-0,5	
Huhn	0,8-1,5		-	-
Schaf	0,9		-	-

**Faustzahl: 1kg S/to in Stallmist und 0,5 kg S/m<sup>3</sup> in Gülle**

### Verfügbarkeit:

- Nur die Sulfat-Form (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ist sofort verfügbar.
- Der **überwiegende Teil ist jedoch S<sub>org.</sub>** und muss mineralisiert werden
- Die **Mineralisation von Schwefel ist langsamer** als die von Stickstoff (Umbau zu Sulfat!)

**Mineralisationsrate 1-2 (3) Prozent pro Jahr.**

### Festlegung:

Ähnlich wie Stickstoff bei der Verrottung von stickstoffarmen Stroh (C/N= 100) bakteriell festgelegt werden kann, so kann auch Schwefel beim Abbau organischer Substanz gebunden werden. Er ist dann vorübergehend nicht pflanzenverfügbar:

- Bei Zufuhr leicht abbaubarer organischer Substanz mit einem weiten "C/S- Verhältnis" von ca. 300:1 (z.B. Zwischenfrucht, Mulch)...
- wird das Bodenleben (Bakterien...) stark angeregt.
- Bakterien nehmen den (wenigen) Schwefel auf, es kommt zur Fixierung.

**Bei Mulchsaat in Mais kann dies eine (von mehreren!) Ursache für eine schlechte Jugendentwicklung sein (nach Dr. Gutser)**

[Zurück](#)

## 4. Schwefeldüngung

### 4.1 Allgemeine Aussagen

Durch Versuchsergebnisse aus Norddeutschland und Baden-Württemberg können folgende Empfehlungen gegeben werden:

#### Auf Mangelstandorten...

zusammen mit der Stickstoffdüngung im Frühjahr eine Schwefeldüngung in Höhe von...

**20 - 40 kg S/ha (Faustzahl)**

Eine Blattdüngung allein kann den Hauptbedarf nicht decken (s. unten).

Hauptbedarf sollte frühzeitig (vorbeugend) gedüngt werden. Eine Düngung in Abhängigkeit einer zuerst durchgeführten Boden- oder Pflanzenanalyse ist wenig hilfreich:

- [Bodenanalysen](#) stellen wegen der schnellen Verlagerung von Sulfat nur eine Momentaufnahme dar. Die S<sub>min</sub>-Methode hat sich deshalb in der Praxis nicht durchgesetzt
- [Pflanzenanalysen](#) zeigen einen engen Zusammenhang zwischen Versorgung und S-Gehalt der Pflanze. Für eine ertragswirksame Düngung kommen die Ergebnisse in der Regel jedoch zu spät. Bei der Pflanzenanalyse werden... etwa 500gr jüngere Blätter (Beginn Längenwachstum) an ein Labor geschickt. Analysenwerte...

**unter 2-3 mg S pro kg TS = Mangelstandort**  
**über 5-6 mg S pro kg TS = ausreichende Versorgung.**

### 4.2 Praktische Düngung

Sulfathaltige 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: Beiselen

N-EINZELDÜNGER	Gesamtstickstoff	Nitratstickstoff	Ammoniumstickstoff	Carbamidstickstoff	Cyanamidstickstoff	Schwefel		Magnesium	
						gesamt	wasserlöslich	gesamt	wasserlöslich
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					

[Zurück](#)**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  $400 \text{ kg} \times 13\% = 52 \text{ kg S/ha}$  ausgebracht.

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

2. **Spitzenbedarf mit Blattdünger abdecken**

Bittersalz ( $\text{MgSO}_4$ ) 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!**

**Bittersalz** wird z.T. als "Zugabe" im Pflanzenschutz empfohlen:

- allgemein bessere Wirkstoffaufnahme (**Schlitteneffekt**)
- Einsatz bei "**Knospenspritzung**" in Raps:  
 $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  unterstützen die Nährstoffumlagerung von Blatt und Stängel zur sich bildenden Schote.

**Schwefel in Stallmist und Gülle**

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

Einen sofortigen, aktuellen Bedarf kann eine Gülle nicht decken, da der Schwefel hauptsächlich als  $\text{S}_{\text{org}}$  und nicht als Sulfat  $\text{SO}_4^{2-}$  vorliegt.

**Faustzahlen** der Schwefel-Düngung bei praxisüblichen Gaben:

- 400 dt Stallmist = 40 kg S/ha, davon 4 kg in Form von sofort verfügbarem Sulfat
- 20 m<sup>3</sup> Gülle = 10 kg S/ha, davon 2,5 kg in Form von sofort verfügbarem Sulfat

Unter Berücksichtigung der Auswaschung kann in viehhaltenden Betrieben von einer **pflanzenverfügbaren Bodennachlieferung von 10-20 (-50?) kg S/ha**

Deshalb gilt:

Das Risiko eines Schwefelmangels in Betrieben mit "höherer" Viehdichte ist aufgrund der allgemeinen Bodennachlieferung (s. oben) gering bis fehlend.

Faustregel zur Abschätzung des verfügbaren Schwefels im Frühjahr:

Bei höheren  $\text{N}_{\text{min}}$ - Werten im Frühjahr ist davon auszugehen, dass auch die Schwefelwerte im Boden höher sind, da Schwefel "wie Stickstoff" unter den gleichen Bedingungen mineralisiert wird (jedoch "etwas langsamer", s. oben)

[Zurück](#)

# Spurenelemente

Quellen: u.a. Dr. G. Rühlicke, Düngemanagement bei Spurenelementproblemen (FüAk)  
s. auch: Fa. Kali und Salz Schweiz: [Übersicht](#), Nährstoffmangel ([online](#), [pdf](#)) und [FAL](#)

## 1. Entzüge wichtiger Spurenelemente

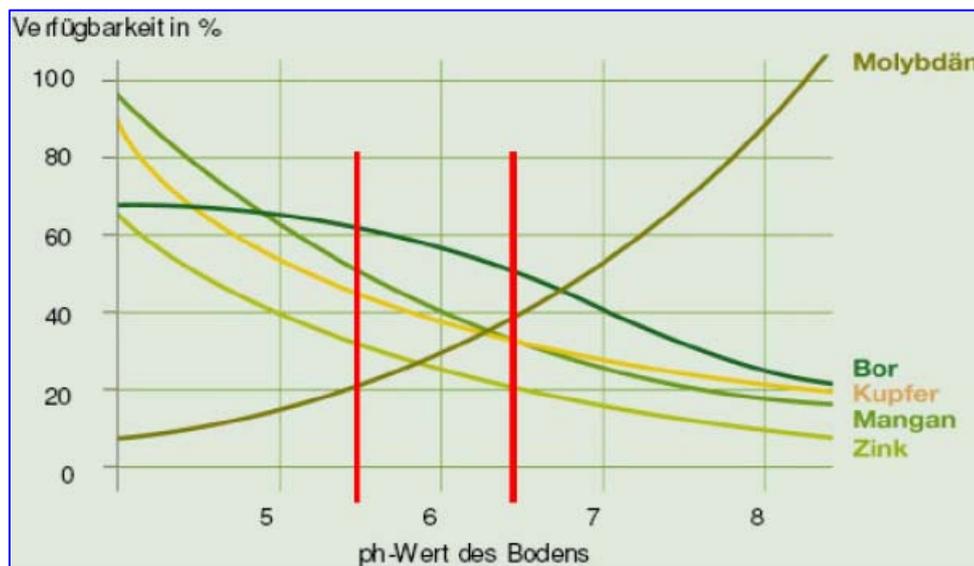
Entzüge in Gramm/Hektar

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			
<b>Gehalte in Gülle (g/m<sup>3</sup>)</b>				
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. Allgemeine Verfügbarkeit im Boden

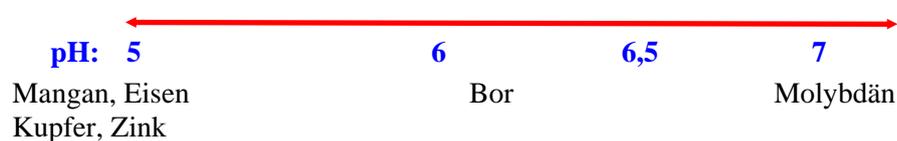
### 2.1 pH-Wert



Bildquelle [Agravis](#) (online)

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

Hohe Löslichkeit der Spurenelemente bei...



## 2.2 Durchlüftung des Bodens

[Zurück](#)

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.**

In Böden mit einer nicht optimalen Spurenelementversorgung sind grüne Fahrspuren bei ansonsten hellerem Getreide ein wichtiger Hinweis!

## 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) Mangelercheinungen zeigen (z.B. bei Kupfer oder Zink).

## 2.5 Spurenelementfestlegungen im Boden durch Phosphat

Frei verfügbares Phosphat im Boden bindet insbesondere **Zink** (auch Eisen und Mangan).

Festlegungen in Böden mit hoher Phosphatversorgung möglich!

### Hinweis zur Unterfußdüngung in Mais:

Eine Phosphat- Unterfußdüngung kann bei hohen pH-Werten und humosen Böden zu Zinkfestlegung und damit Mangelsymptomen führen (s. auch Zink- bzw. Mangan- Inkrustierung!)

## 2.6 Ionenkonkurrenz an der Wurzel

Die Wurzel- Aufnahme von Spurenelementen kann durch Nährstoffantagonismus gestört sein

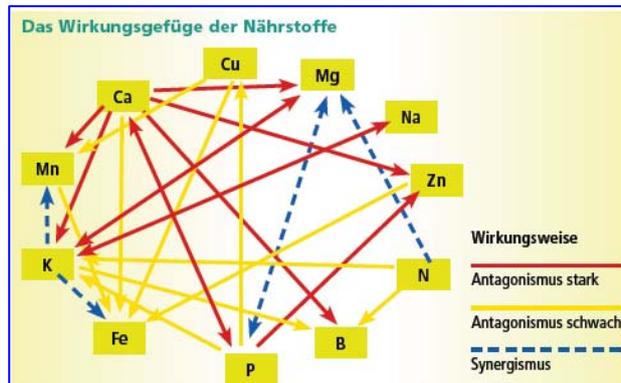
Die Nährstoff-Ionen "streiten sich" um die Aufnahmeplätze an der Wurzel. Dabei treten...

- 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.

[Zurück](#)

### 2.6.1 Konkurrenzverhalten der Nährstoffe und Spurenelemente an der Wurzel

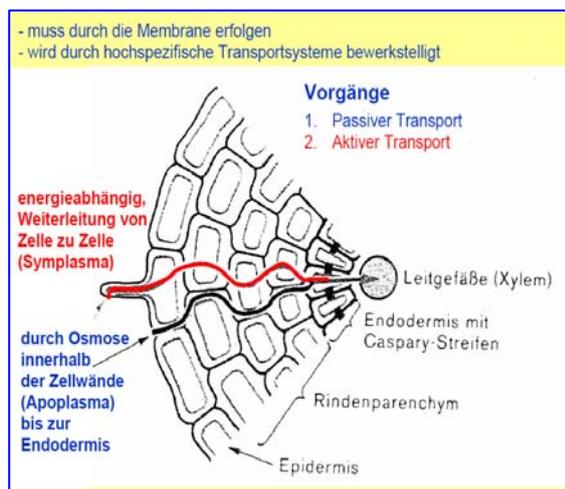
Quelle: [DSV-Saaten.de](http://DSV-Saaten.de) (Innovation 1/11)

Starkes Konkurrenzverhalten an der Wurzeloberfläche insbesondere zwischen den...  
**positiv geladenen Spurenelementen!**  
(s. rote Pfeile)

**Durch Phosphat** aber auch ...

- Bildung von Zink- Phosphat:  
**Zn-Mangel bei Unterfußdüngung in Mais?**

### 2.6.2 Weg der Nährstoffe in das Wurzelinnere (Xylem)



- Die Wurzel hat eine innere, undurchlässige Haut (Endodermis) mit Durchlasszellen
- Die Nährstoffaufnahme erfolgt in diesen Durchlasszellen durch...  
**Enzymgesteuerte Prozesse**  
Ionenpumpe
- Dadurch werden Nährstoffe entgegen dem Konzentrationsgefälle in das Wurzelinnere gebracht.
- Die höhere Salzkonzentration in der Pflanze sorgt für das Einströmen von Wasser (Diffusion und Osmose)

**Die Nährstoffaufnahme** ist ein...

**enzymaktiver, Energie verbrauchender Prozess!**

### 2.6.3 Ionenkonkurrenz und Eigenschaften 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:

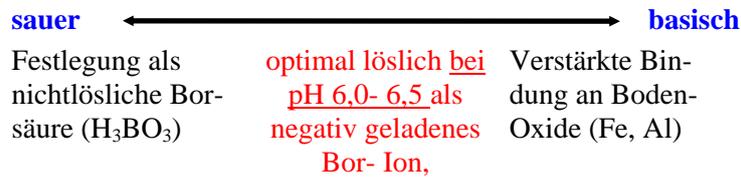
**Kupfer verdrängt Mangan in der Pflanze.**

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

[Zurück](#)

### 3. Bor

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



**Bormangelstandorte** sind aus diesem Grund vor allem...

- saure, leichte Böden oder
- stark aufgekalkte oder von Natur aus kalkhaltige (Sand-) Böden (Bor wird stärker ausgewaschen bzw. festgelegt)

#### 3.1 Borbedürftigkeit und Mangelsymptome

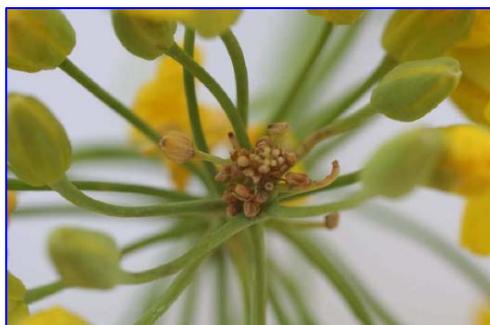
Quelle: Naturland ([pdf](#))

**Insbesondere Zuckerrüben und Raps haben einen hohen Borbedarf.**

**Die Mangelsymptome bei Raps** sind davon abhängig, in welchem Wachstumsstadium die Rapspflanze in Bormangel geriet:



**Bormangel im  
Herbst**



**Bormangel zur  
Blüte**



Typische Mangelsymptome sind...

- Verbräunungen an der Wurzel und im „Herz“ der Wurzel
- Verkümmern bzw. braunes Vertrocknen der Triebspitzen oder junger Triebe.
- Vertrocknete Knospenansätze, später leere Schotenstiele oder kleine vertrocknete Schoten

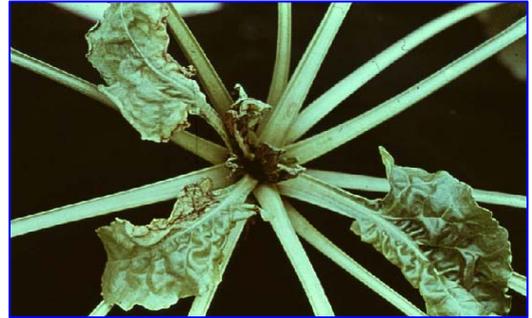
**Die Mangelsymptome bei Zuckerrüben** lokalisieren sich insbesondere im Herz der Pflanze:

[Zurück](#)

Quelle: [Kali und Salz](#) und Naturland ([pdf](#))



**Herz- und  
Trockenfäule**



Generell gilt bei Bor:

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

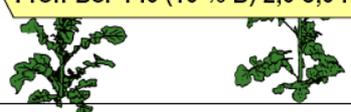
### 3.2 Düngung

u.a. [Kali und Salz](#), Fa. [Agravis](#), [Agroschuth 2012](#) (Lebosol)

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

- Bodendüngung mit borhaltigen Stickstoffdüngern (Bor-ASS)
- mit speziellen Blattdüngern (Solubor, Nutribor...) meist Splitting erforderlich
- Blattdüngung möglichst frühzeitig (in ZR zu NAK<sub>3</sub> und Fungizid, in Raps zu Käferbehandlungen bzw. Fungizid)

Tankmischungen möglich mit:  
 Hydro Plus Raps 2-3 kg oder  
 Foliarel QS (21 % B) 1,5-2,5 kg oder  
 Profi-Bor 140 (10 % B) 2,0-3,0 l



53                      55

Weitere Bordünger sind:

Foliarel QS 21%, Microbor DF, Profi Bor 140 oder [Lebosol Bor](#).

Bordünger liegen nicht in Chelatform vor. Mögliche Formen sind

- Salze wie Kalziumborat und Natriumborat
- feste Borsäure (muss aufgelöst werden)
- oder Mischungen aus oben genannten Formen

[Zurück](#)

## 4. Zink

Die Verfügbarkeit von Zink ist sehr stark pH- abhängig. Auch erfolgt sehr leicht eine Anlagerung an Humus oder Kohlenstoff (z.B. Ruß)

Typische **Mangelstandorte** sind...

- mit Branntkalk stark aufgekalkte Böden (rasche Anhebung des pH-Wertes)
- mit Schwarzkalk (5% Rußanteil) regelmäßig gekalkte Böden:  
Ruß baut sich im Boden nicht ab und lagert Zink an.
- von Natur aus stark humose, kalkhaltige Böden (Täler südbayerischer Flüsse)

### 4.1 Mangelsymptome

Zink ist „wie Bor“ in der Pflanze nicht beweglich und ist besonders für die Zellteilung wichtig. Deshalb...

- Mangel zeigt sich an jüngeren Pflanzenteilen
- mit verzögertem, gestauchtem Wuchs

Mais, Körnerleguminosen, Hopfen und Lein reagieren am empfindlichsten!

**Zink-Mangelsymptome bei Mais:**

Quelle: [Kali und Salz](#), und <http://www.cultivent.de/>



- Verzwergung und allgemein gestauchter Wuchs
- das Blatt kommt stark aufgehellt aus der Blattsüte
- typische streifenförmige Aufhellungen in der **unteren, jüngeren Hälfte des Blattes**.
- der obere Bereich (Blattspitze), Blattrand und Mittelrippe normal grün



Gefahr der Verwechslung mit Magnesiummangel:

**Bei Magnesiummangel  
Streifen über die gesamte Blattlänge!**

Bildquelle: [Philip.jung@kws.com](mailto:Philip.jung@kws.com)

[Zurück](#)

## 4.2 Düngung

Kali und Salz (Dr. G. Rühlicke)

**Bei bekanntem Mangel Sanierung des Bodens** durch Streuen von

**insgesamt 10-15 kg Rein- Zn**

(2x kreuz und quer, damit gute Verteilung erreicht wird)

in Form von

- Zinksulfat oder als
- Legierung wie z.B. Excello. Die Metalllegierung aus Kupfer, Mangan, Zink und Eisen oxidiert im Boden und setzt somit langsam und kontinuierlich frei.

**Nachhaltige Wirkung reicht ca. 6-10 Jahre.**

### **In Mais...**

- Zink/Mangan- Inkrustierung reicht nicht aus (nur ca. 10 g/ha)!
- Zink- Chelat bei 40-60 cm Wuchshöhe des Maises spritzen (vorher nicht genügend Blattmasse vorhanden!), z.B. [Fetrilon Combi](#)

### **Bei Phosphat- Unterfußdüngung...**

kann Zink als Zink-Phosphat festlegen. Deshalb Unterfußdüngung nur mit physiologisch saurem DAP durchführen. Dadurch pH- Senkung an der Wurzel um ca. 2,0. Zink bleibt somit löslich

**Bei Unterfußdüngung evtl. Zugabe von Zinkdünger!**

[Zurück](#)

## 5. Mangan

Quelle: [FAL](#)

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...)

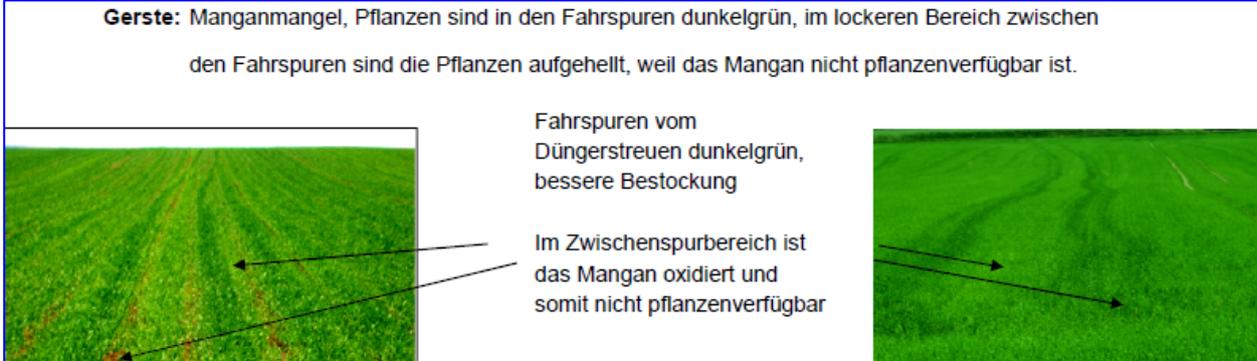
**Eine Bodenuntersuchung ist deshalb auf Mineralböden nicht brauchbar (berücksichtigt nicht die Pflanzenverfügbarkeit)**

### 5.1 Mangan-Mangelsymptome

Quellen: Fa. [Kali und Salz](#), FAL ([pdf](#)), Naturland ([pdf](#)), [Agroschuth](#) (Unsleber, [pdf](#))



**Gerste:** Manganmangel, Pflanzen sind in den Fahrspuren dunkelgrün, im lockeren Bereich zwischen den Fahrspuren sind die Pflanzen aufgehellt, weil das Mangan nicht pflanzenverfügbar ist.



Fahrspuren vom Düngerstreuen dunkelgrün, bessere Bestockung

Im Zwischenspurbereich ist das Mangan oxidiert und somit nicht pflanzenverfügbar

Mangan ist in verdichteten, staunassen Böden besser verfügbar als in lockeren, sauerstoffreichen Böden (Oxide!), deshalb...

**Typische Symptome...**  
**dunkelgrüne Fahrspuren in einem aufgehellten Bestand**

[Zurück](#)

## 5.2 Düngung

u.a. Fa. <http://www.jost-group.com/> Fa. [Agravis](#)

Die Mangan-Form muss wasserlöslich sein (= Blattdünger auf **Chelat-Basis**). Auch Mono- und Hexahydrat sind möglich. Beispiele für Blattdünger:

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

[Carbonate und Oxide](#) sind wasserunlösliche Formen (Suspensionen):

- Vorteil: höhere Konzentration möglich, z.B. 10% Mn als Mn-Carbonat.
- Nachteil: nicht pflanzenwirksam, Verstopfungsfahrer der Filter, lang anhaftende Düngerreste an Blättern

## 6. Kupfer

Der Kupfergehalt in Böden ist gesteinsabhängig und wird durch Pflanzenentzug nicht beeinflusst ("viel bleibt viel"). **Typische Mangelstandorte sind...**

- stark **humose Böden** mit
- pH-Werten **über 7,0**
- z.B. in südbayerischen Flussniederungen

### 6.1 Mangelsymptome



Typische [Symptome bei Mais](#):

- Weißfärbung der Blattspitzen, Verdrehungen an jungen Blättern
- im Koben nur wenige, verstreut angeordnete Körner

Typische Symptome bei Getreide (**Weizen**):

- herabhängende Blätter, Blattspitzen verbräunt
- winkelförmig abgebogene Ähre
- z.T. bleiben Ähren in der Blattscheide stecken

### 6.2 Düngung

z.B. <http://www.jost-group.com/>

Kupfermangel macht sich zuerst im Ertrag und erst "viel später" in seinen Mangelsymptomen bemerkbar. Wenn Symptome auftreten, sind schon stärkere Schäden gesetzt. Wenn Symptome beobachtet werden, ist eine Düngung zu spät.

**Deshalb im Folgejahr...**

- vorbeugende Blatt- Düngung auf typischen Mangelstandorten um Schäden in der embryonalen Entwicklung zu vermeiden  
**200-300 g Rein- Kupfer/ha in Form von Kupfer- Chelat**

s. **Düngeberatung Fa. Agravis**  
[Online- Katalog 2013, S. 21f](#)