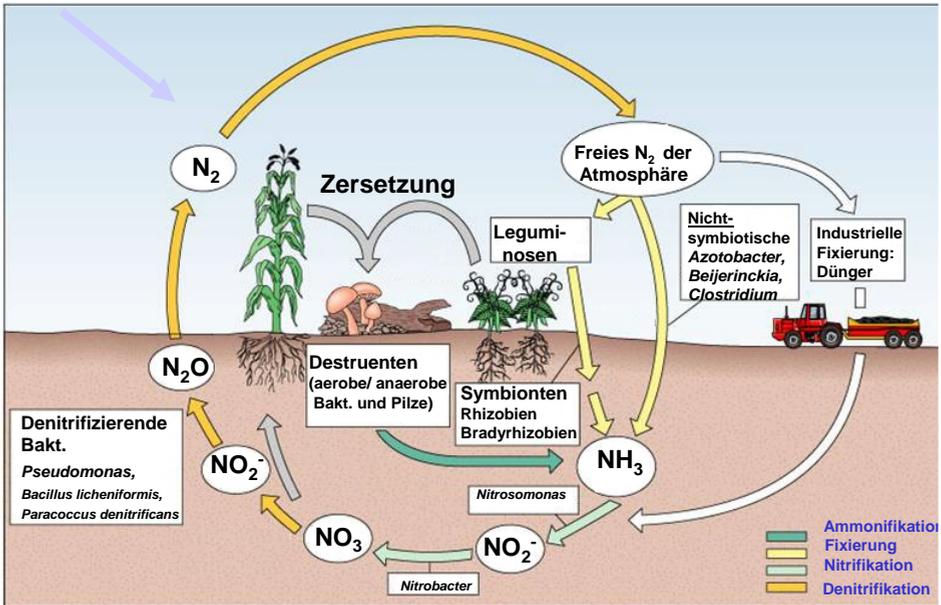


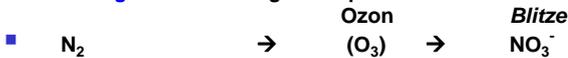
# Stickstoffkreislauf



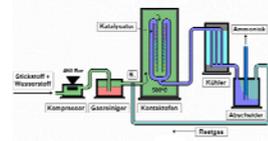
## Quellen der Stickstoff-Fixierung aus N<sub>2</sub>



- **Blitz-Fixierung** - Umwandlung Atmosphärischen Stickstoffs zu Nitrat durch Blitze.



- **Industrielle Fixierung** – Umwandlung des N<sub>2</sub> zu Ammoniak und Nitrat-Stickstoff (Herstellung von Düngern und Sprengstoffen).



- **Fixierung via Fossile Brennstoff-Emissionen**

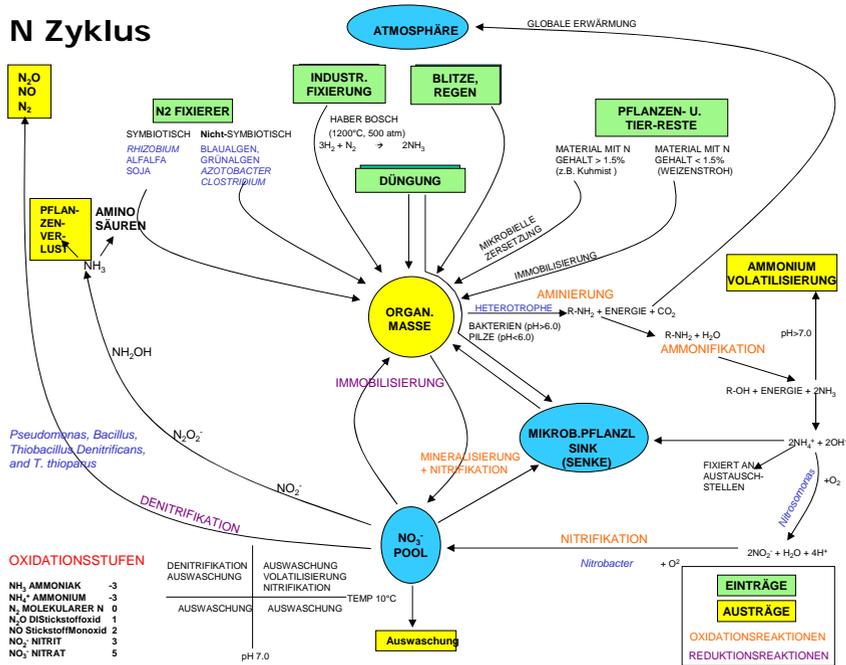


- **Biologische Fixierung** – Nutzung des atmosphärischen N<sub>2</sub> durch photosynthetische Blaualgen und Bakterien.





# N Zyklus



## Die wichtigsten Vorgänge



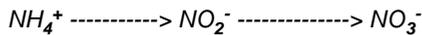
- Ammonifikation  
 Zerfall von N<sub>org</sub> → N anorg. (meist NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)
- Nitrifikation  
 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> → NO<sub>3</sub><sup>-</sup> durch nitrifizierende Bakterien unter aeroben Bedingungen
- Denitrifikation  
 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> → NO<sub>2</sub><sup>-</sup> → N<sub>2</sub>O → N<sub>2</sub> durch denitrifizierende Bakterien unter anaeroben Bedingungen
- N-Immobilisierung  
 Aufnahme von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oder NO<sub>3</sub><sup>-</sup> durch Mikroorganismen
- N Assimilation  
 Einbau des NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bzw. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> durch das GOGAT System
- N<sub>2</sub> Fixierung  
 Reduktion von N<sub>2</sub> → NH<sub>3</sub> durch symbiонт. Bakterien  
 = Hauptfluss von N<sub>2</sub> in den Boden  
 Anschliessende Reaktion zu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> im Boden.





## Nitrifikation genauer

- **Nitrifikation** = 2 Stufen:



- 1. Ammoniak-Oxidation: = Nitr*i*tation
  - $NH_3 + 2H^+ + 2e^- + O_2 \rightarrow NH_2OH + H_2O$
  - $NH_2OH + H_2O \rightarrow + 4H^+ + 4e^- + HNO_2$   
*Ammoniak- Mono-Oxygenase*
  - Bakterien benötigen  $CO_2$  und  $O_2$
  - V.a.: *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*
  - Reaktion setzt Protonen frei → **Versauernd**
- 2. Nitrit-Oxidation: = Nitr*a*tation
  - $NO_2^- + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NO_3^-$   
*Nitrit-Oxidase*
  - Bakterien nutzen org. C oder  $CO_2$ ;  $O_2$  oder andere  $e^-$  Akzeptoren

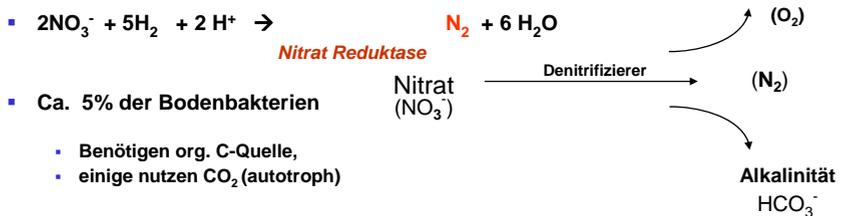


## Denitrifikation und DNAR

= **Abbau von Nitrat:**

- **1. Denitrifikation**

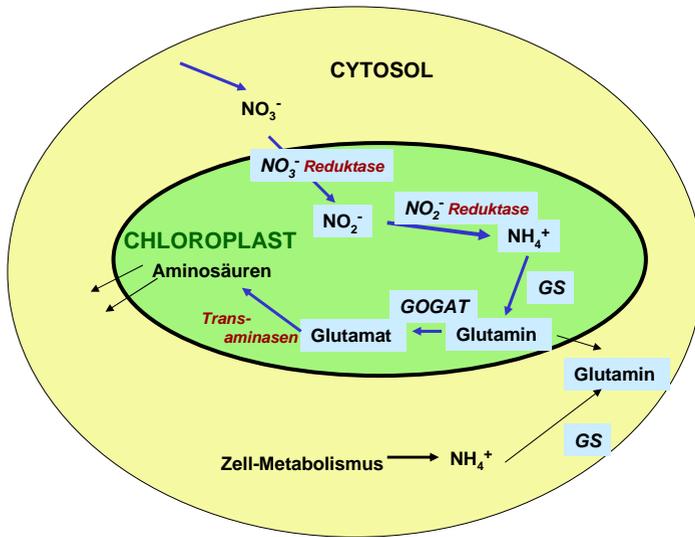
im  $O_2$  armen Milieu: Umwelt enthält oxidierten N (=NO<sub>3</sub>), aber kaum O<sub>2</sub> →



- **2. DNAR: Dissimilatorische Nitrat zu Ammonium Reduktion:**

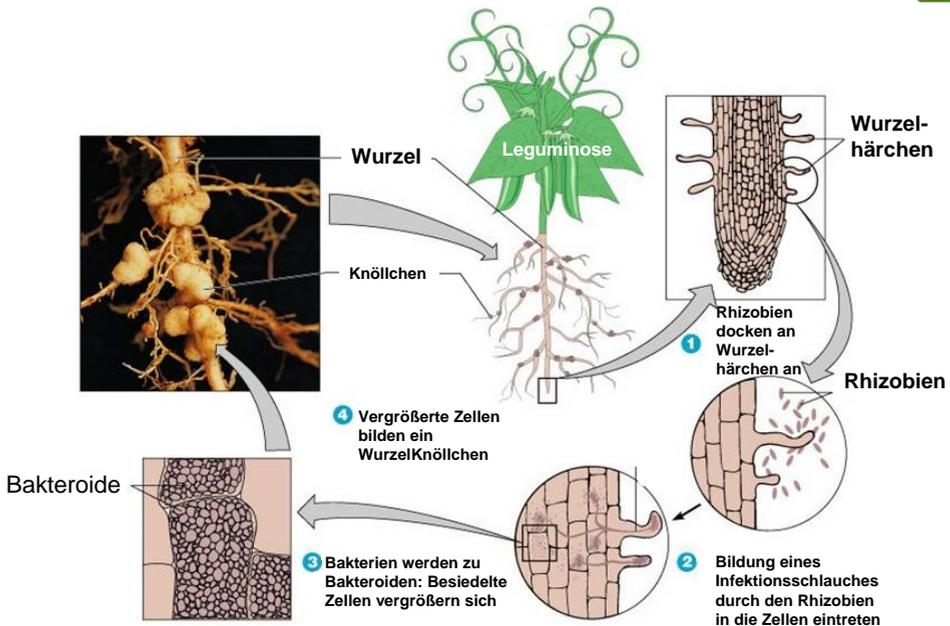
- $NO_3^- + 4H_2 + 2H^+ \rightarrow NH_4^+ + 3H_2O$
- Nachfolgend: → Einbau des  $NH_4^+$  in bakterielle Biomasse → N-Assimilation
- WO: Sedimente mit hohem C- Gehalt

# NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Assimilation Das GOGAT System



- $\text{NO}_3^-$  : Nitrat-Verwertung in der Pflanze
- GOGAT = Glutamin – Oxoglutarat - AminoTransferase

# Leguminosen: Wurzelknöllchen-Bildung



# PFLANZEN- NÄHRSTOFFE

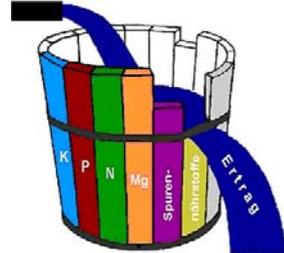
## Essentielle Mineralstoffe

Justus  
v. Liebig



### Justus v. Liebig:

- Die Nährstoffe können sich nicht gegenseitig vertreten.
- Der Bedarf an mineralischen Nährstoffen ist artverschieden.
- **Gesetz vom Minimum**  
Der jeweils in geringster Menge vorhandene Nährstoff bestimmt die Höhe des Pflanzenwachstums.
- i.e.: → Das Wachstum wird durch den Nährstoff begrenzt, der am wenigsten zur Verfügung steht.

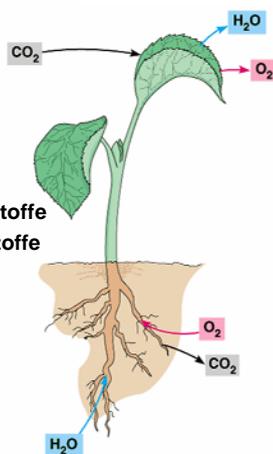


### 3 Kriterien, für Lebensnotwendigkeit eines Elements (→ „Nährstoff“) nach Arnon und Stout (1939):

- 1. Pflanze kann ihren Lebenszyklus ohne dieses Element nicht vollenden.
- 2. Das Element muss direkt im Stoffwechsel der Pflanzen mitwirken. Das Element ist im Molekül eines essentiellen Pflanzenbestandteils oder eines Metaboliten enthalten.

## Nährstoffe: % in der TM

16 Elemente:



- C, H, O
- Makronährstoffe
- Mikronährstoffe

Nährelement	Anteil Trockenmasse %
Kohlenstoff C	44-49
Sauerstoff O	42-46
Wasserstoff H	5- 7
Mineralische Elemente	5-10
N	0,5 - 5,0
K	0,5 - 6,0
Ca	0,05 - 5,0
P	0,1 - 0,5
Mg	0,1 - 1,0
S	0,05 - 0,5
Fe, Mn, Zn, Cu, B	5 - 200 ppm *
Mo	0,2 - 5 ppm *

- Durchschnittl. Konzentrationsbereiche von Nährelementen in der Trockensubstanz von Blättern in Kulturpflanzen

\* 1 ppm = 0,0001% = µg/g



## Makronährstoffe

- In großen Mengen benötigte Nährstoffe

### Primäre

- N
- P
- K

### Sekundäre

- Ca
- Mg
- S



## Mikronährstoffe:

- Fe
- Mn
- Cu
- Zn
- Ni

- Mo
- B
- Cl
- Na

als „funktionelle“  
Mikronährstoffe  
bezeichnet:

- V
- Co
- Si

## Nährstoffe Definition



Alle Elemente,

- die für das Wachstum und
- für eine normale Entwicklung der Pflanze notwendig sind
- und die in ihrer Funktion von keinem anderen Element ersetzt werden können.

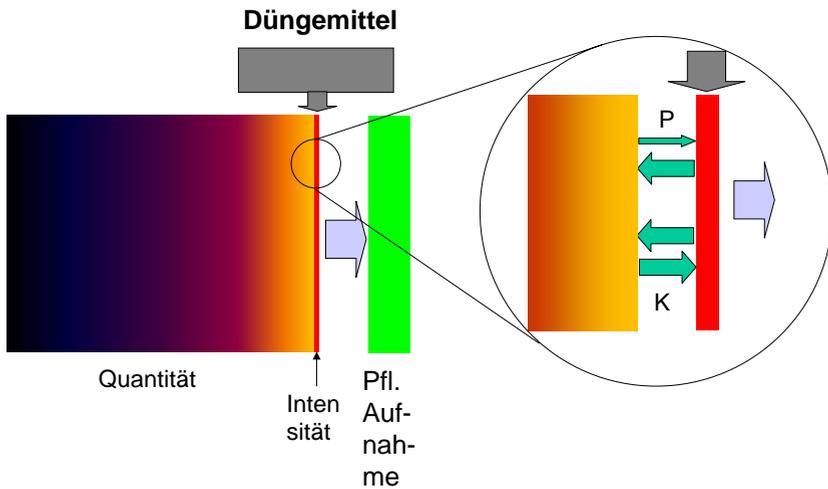
	Makronährstoffe	Mikronährstoffe (Spurenelemente)
CO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe-Chelat, Fe <sup>2+</sup>
H <sub>2</sub> O, H <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Zn-Chelat, Zn <sup>2+</sup>
O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	K <sup>+</sup> ,	Mn <sup>2+</sup>
	Ca <sup>2+</sup>	Cu-Chelat, Cu <sup>2+</sup>
	Mg <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>
	Na <sup>+</sup>	B(OH) <sub>3</sub> , B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , HBO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
		(Si)
		(Se)
		(Cl → Halogen)

Rot = Nichtmetalle

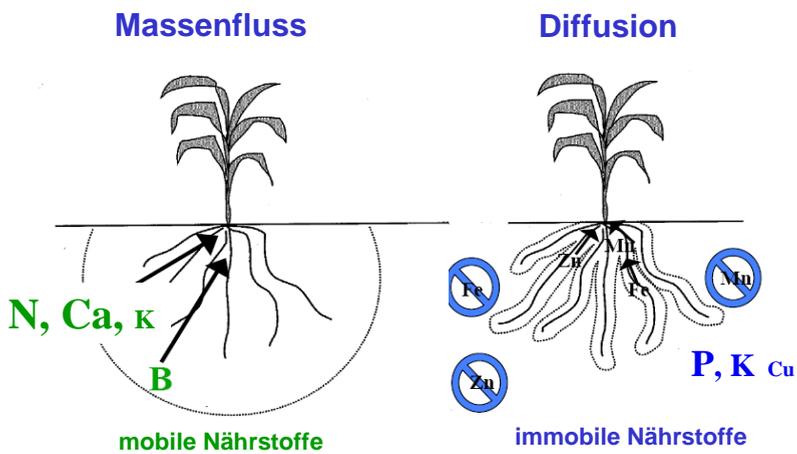
Grün = Alkali, Erdalkalimetalle

Blau = Schwermetalle

# Quantität und Intensität - Puffer-Kapazität



## Diffusion und Massenfluss



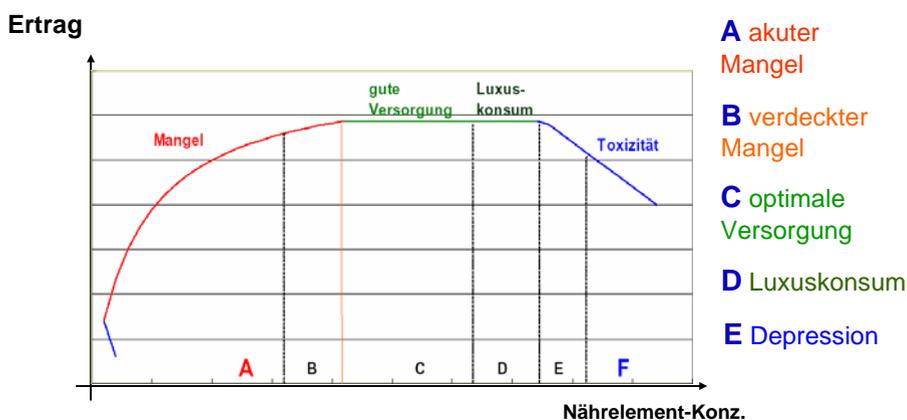
- (Schilling S. 249)
- Die Mikro-Nährstoffe (ausser B und Cl) sind im Boden sehr immobil
  - Sie können nur bei kurzem Abstand von den Wurzeln aufgenommen werden.



## Bedeutung der Nährstoffe

- **Stickstoff:** Aminosäuren, Proteine, Nukleotide, Chlorophyll, etc.
- **Phosphat:** regulatorische Funktion, Anteil in der Zellwandstruktur; stabilisiert Membranen, kontrolliert Transporte
- **Kalium:** Co-factor vieler Enzyme, notwendig für Regulationsprozesse (z.B. Guard Zell Bewegung) und für Synthesen, z.B. Proteinbiosynthese
- **Kalzium:** regulatorische Funktion, Anteil in der Zellwandstruktur; stabilisiert Membranen, kontrolliert Transporte
- **Magnesium:** Chlorophyll-Komponente, Ion im ATP, wichtig für Proteinbiosynthese Schwefel Aminosäuren und Protein-Komponente, Co-Enzym A
- **Eisen:** für Chlorophyll-Synthese, Komponente vom Zytochrom und Ferredoxin
- Chlorid Eingebunden in osmotische Prozesse Kupfer Co-Factor einiger Enzyme
- **Mangan wie Kupfer:** Komponenten der Photolyse des H<sub>2</sub>O, e<sup>-</sup> Transportkette, Co-Faktoren bei der Proteinbiosynthese
- **Zink wie Kupfer:** (z.B. Carboxypeptidase, DNA-abhängige RNA Polymerase) Molybdän kontrolliert Stickstoff-Metabolismus
- **Bor:** beeinflusst den Gebrauch von Ca<sup>2+</sup>

## Ertragskurve



- Beziehungen zw. Mineralstoff-Gehalt zu Ertrag bei steigendem Angebot
- des betreffenden Nährelements (Prevot und Ollagnier 1957)
- Einstufungsbereiche a, b, c, d, e → Gehaltsklassen A, B, C, D, E

## P-Dünger

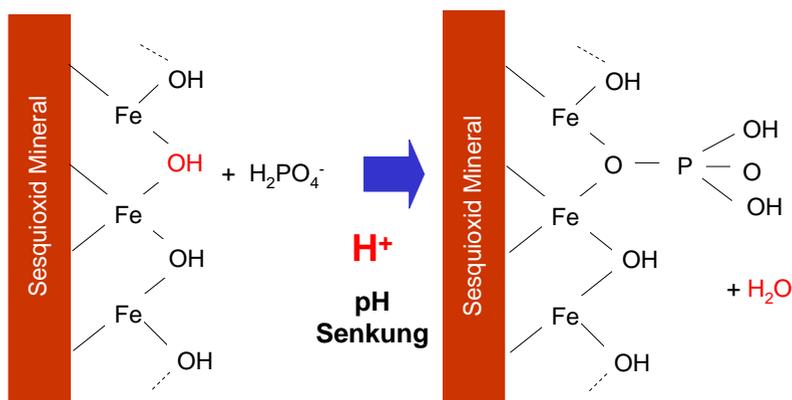


HANDELSNAME	FORMEL	LÖSLICH IN	GESAMTGEHALT % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% Nebenbestandteile)	HERSTELLUNG
<b>Superphosphat</b> (= Ca-dihydrogenphosphat + Ca-sulfat)	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (30 %)	Wasser (> 90 %), Rest in NH <sub>4</sub> -Citrat	18 (CaSO <sub>4</sub> , 50 %)	Rohphosphat
<b>Triplephosphat</b>	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Wasser (100 %)	45	Rohphosphat + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>Rhenaniaphosphat</b> (Ca-, Na-silicophosphat)	CaNaPO <sub>4</sub> *(Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ) (Nährungsformel)	alkalisch. NH <sub>4</sub> -Citrat (100 %)	29 (Na, 12 %)	Glühen von Rohphosphat
<b>Thomasphosphat</b> (Ca-silicophosphat)	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> *(Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ) (Nährungsformel)	2%ige Citronensäure (100 %)	15 (CaO, 5 %)	Schmelzen von P-haltigem Roheisen
<b>Novaphos</b> (Gemisch aus Ca-phosphaten)	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Wasser (40 %) Citronensäure 30 % Konz. Säuren (30 %)	23 (CaSO <sub>4</sub> )	Teilaufschluss von Rohphosphat
<b>Hyperphos</b> (Rohphosphat, Phosphorit)	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (als Apatit)	2% Ameisensäure (80 %) konz. Säuren (20 %)	29	Vermahlung v. weicherdigem GafsaPhosphat
<b>Rohphosphat</b>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (als Apatit)	2% Ameisensäure (<65 %), konz. Säuren (>35 %)	30	Vermahlung weicherdiger Phosphate

## Adsorption

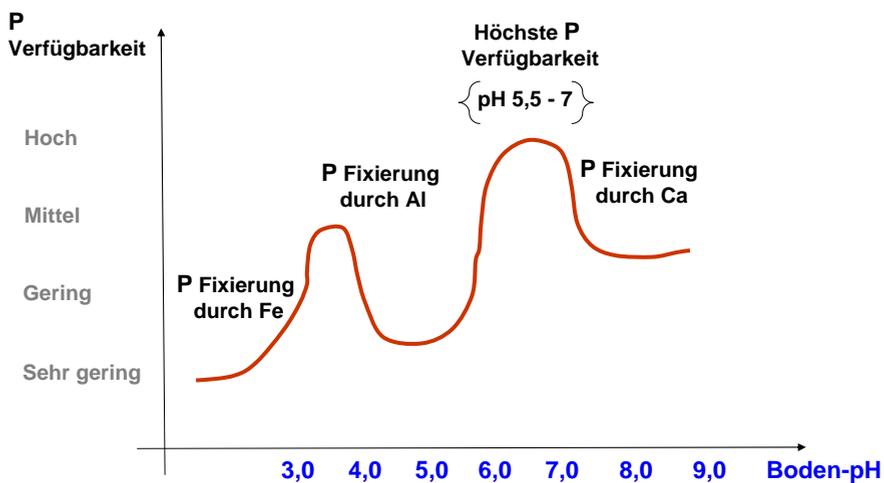


- Nährstoffe binden an den Oberflächen von Mineralen
  - P Sorption an (Sesqui-)Oxiden





## P Verfügbarkeit vs. pH Wert



■ ← Saure Böden ...alkalische Böden →

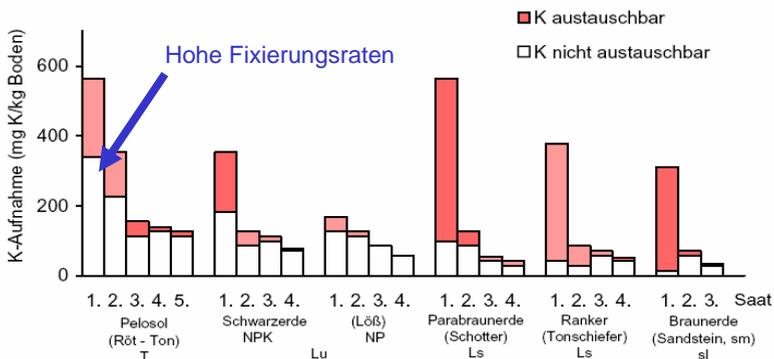


## K-Dünger

HANDELSNAME	FORMEL	GESAMTGEHALT % K <sub>2</sub> O (% Nebenbestandteile)	HERSTELLUNG
Kainit (Kalirohsalze)	KCl (20 %)	13 (NaCl, MgCl <sub>2</sub> )	Vermahlung von Rohsalzen
40er Kalisalz (Kaliumchlorid)	KCl (63 %)	40 (NaCl, 20 – 30 %)	Löse- oder Flotationsverfahren
50er Kalisalz (Kaliumchlorid)	KCl (80 %)	50 (NaCl, 10 – 20 %)	Löse- oder Flotationsverfahren
60er Kalisalz (Kaliumchlorid)	KCl (96 %)	60 (NaCl, 1 – 3 %)	Löse- oder Flotationsverfahren
Kalisulfat (Kaliumsulfat)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (93%)	50	Chemische Vermengung
Kalimagnesia, Patentkali (Kalium-, Magnesiumsulfat)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *MgSO <sub>4</sub>	28	Chemische Vermengung



# Kalium-Verfügbarkeit



- Aufnahme von austauschbarem und nichtaustauschbarem Kalium durch Roggen (Methode Neubauer).
- NP Parzelle der Schwarzerde blieb seit 25 Jahren ohne K-Düngung (Scheffer und Schachtschabel 1992).

# Einzeldünger

- **Schwefeldünger:**
  - gelber S zur pH-Senkung auf extrem alkalischen Böden.
  - S wird meist als Sulfat den anderen Düngern beigemischt.
- **Magnesiumdünger:**
  - Kieserit (17 % Mg, wasserlöslich)
  - Mg meist Bestandteil anderer Düngemittel.
- **Eisendünger:**
  - Eisensulfat (20 % Fe),
  - Fe-Chelate (z. B. Fetrilon mit 5 % Fe)
- **Mangandünger:**
  - $MnSO_4$  (30 % Mn, wasserlöslich),
  - Nebenbestandteil im Thomasphosphat (4 % Mn),
  - Mn-Zusätze in Mehrnährstoffdüngern (0,1 % Mn)
- **Kupferdünger:**
  - Kupfersulfat (25 % Cu),
  - Kupferkalk (45 % Cu), wasserlöslich.
  - Kupferdüngemehl (2,6 % Cu, langsam wirkend)
  - Kupferschlackenmehl (5 % Cu, langsam wirkend)
  - Cu-Zusätze in anderen Düngern.



# Mischbarkeit von Düngemitteln

- **N** Verluste durch chemische Reaktionen:
- Reaktion von CaO und Ca(OH)<sub>2</sub> mit N Düngern:
  - $2 \text{NH}_4\text{R} + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaR}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NH}_3 \uparrow$
- Immobilisierung von wasserlöslichem **P**
  - Ca + Superphosphat → P-Löslichkeit ↓
- Verschlechterte Streu-Eigenschaften durch H<sub>2</sub>O Aufnahme
  - Verhärten von Kali-Salzen mit N Düngern  
→ bedingte Mischbarkeit
- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> haltige Dünger nicht mit Düngern mit freien Mineralsäuren
  - (= HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, bedingt: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)  
→ nitrose Gase

## Mischtafel für Düngemittel



	KalkSalpeter	AmmonSulfat	AmmonSulfatSalpeter	KalkAmmonSalpeter	Harnstoff	KalkStickstoff	Superphosphat	GlühPhosphat	ThomasPhosphat	RohPhosphat	40er, 60er KCl	KaliSulfat	Kalk (Carbonat)
KalkSalpeter	X												
AmmonSulfat	X	X											
AmmonSulfatSalpeter	X	X	X										
KalkAmmonSalpeter				X									
Harnstoff					X								
KalkStickstoff						X							
Superphosphat							X						
GlühPhosphat								X					
ThomasPhosphat									X				
RohPhosphat										X			
40er, 60er KCl											X		
KaliSulfat												X	
Kalk (Carbonat)													X

X = Bedingt Mischbar

= NICHT Mischbar



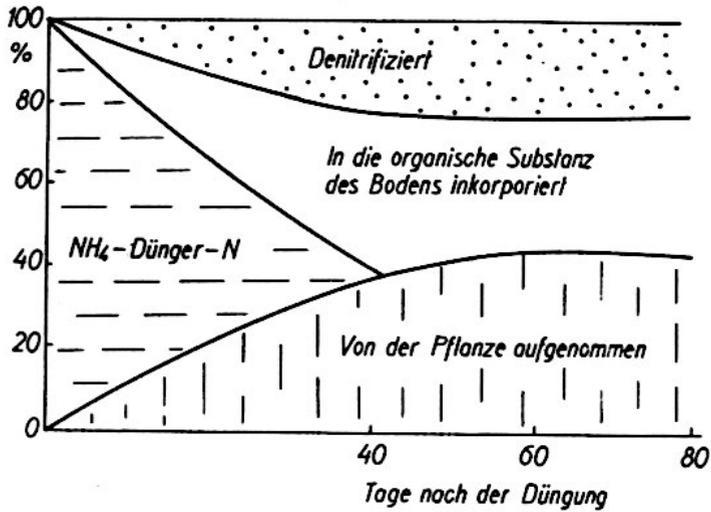
- Mischtafel nach Finck 1979

# STICKSTOFF

## Resultat einer radioakt. ( $^{15}\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$ Düngung

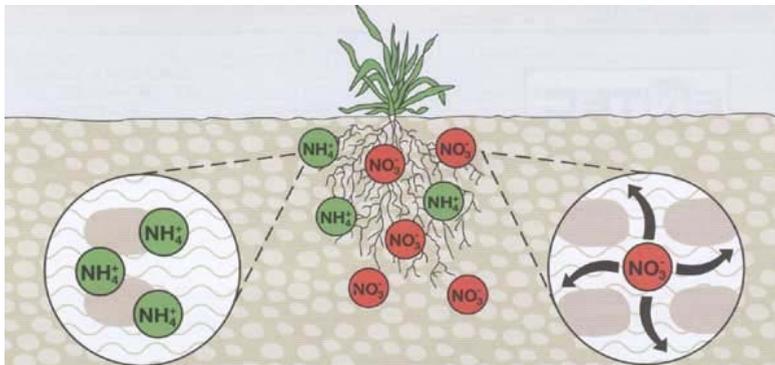


In den Boden eingebrachter Dünger-N reagiert mit belebten und unbelebten Bodenbestandteilen.



- Umsetzung von  $\text{NH}_4$ -Dünger-N,
- Haferbestand auf Schwarzerde (Zamyatina et al.)

## $\text{NH}_4^+$ und $\text{NO}_3^-$ in der Rhizosphäre



- In der Bodenlösung
  - Ammonium adsorbiert an Austauschkomplexen
  - Nitrat bleibt gelöst → Auswaschung

# Nitrat als N Quelle

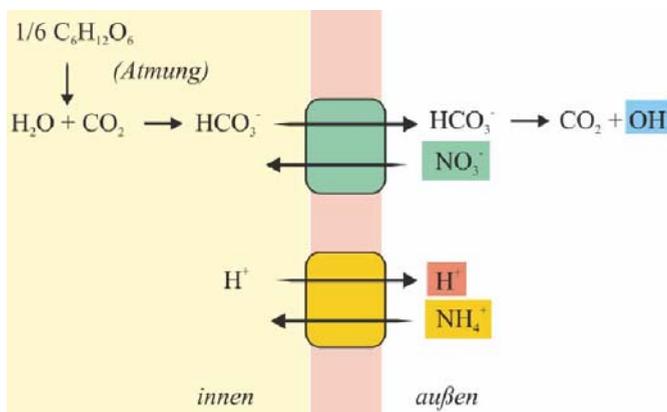
- **Vorteile Nitrat:**
- $\text{NO}_3^-$  Ion nicht-toxisch für Pflanzen (jedoch f. Tiere)
- Absorption der Kationen (K, Ca and Mg) erhöht durch  $\text{NO}_3^-$
- $\text{NO}_3^-$  erhöht die Pfl. Produktivität unter salinen Bedingungen

N-Form	Kationen				Anionen					
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Org. S*	Σ
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99	85	28	212	44	18	11	2	137	212
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	55	43	22	120	0	23	33	5	59	120

**Einfluss der N Versorgung auf die Ionen-Bilanz**  
(meq pro 100 g Spross- TS, nach Kirkby 1986).

- **Nachteile Nitrat:**
- Energie-aufwändiger Prozess: Reduktion →  $\text{NH}_4^+$  vor Verbrauch
- Schnelle Auswaschung, da negativ geladen
- $\text{NO}_3^-$  Absorption der Pflanze:
  - Energie-verbrauchender Prozess ( $\text{NO}_3^-$  Permeasen)
  - da die  $\text{NO}_3^-$ -Aufnahme ohne Ansäuerung der Rhizosphäre erfolgt, → kann dies Fe und Spurenelement-Defizienzen verursachen

## NO<sub>3</sub> vs. NH<sub>4</sub>



- Saure und alkalische Wirkung von  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  in der unmittelbaren Rhizosphäre während der Aufnahme

## Einfluß auf den N Verlust

- Urease-Aktivität (höher bei hohem org.C)
- Luft-Austausch (anaerobe Denitrifikation)
- Temperatur (Aktivität der MOs)
- N Quelle (s.o.)
- KAK
- Ausbringungsmethode (z.B. vol. Verluste)
- H Puffer-Kapazität des Bodens
- Erntereste
- Boden-Wassergehalt
  
- **Acidität:**
  - $\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$
  - Hohe  $\text{NH}_3$  Verluste durch
    - **Hohen pH**
    - **und Temperatur**

## N-Dünger

ART	HANDELSNAME	FORMEL	GESAMT GEHALT % N (% Neben- bestandteile)	HERSTELLUNG
NH <sub>4</sub> Dünger	Ammoniak (Gas)	NH <sub>3</sub>	82	Haber-Bosch- Verfahren
	Schwefelsaures Ammoniak (Ammoniumsulfat)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21 +24 % S	Sättigungsverfahren / Kohledestillation
Nitrat (Salpeterdünger)	Kalksalpeter (Calciumnitrat)	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (mit 5 % NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	16 +20 % Ca	HNO <sub>3</sub>
	Natronsalpeter (Natriumnitrat)	NaNO <sub>3</sub>	16 +26 % Na	Rohsalpeter
Ammon nitrat	Ammonnitrat (Ammoniumnitrat)	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	35	NH <sub>3</sub> -Verbrennung
	NitrAmonCal Kalkammonsalpeter	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (74 %) + CaCO <sub>3</sub> (26 %)	26 10 % Ca	Komponenten- Mischung
	Ammonsulfatsalpeter	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> *(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26 +15 % S	Komponenten- Mischung
Amide	Harnstoff	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	46	CO <sub>2</sub> + NH <sub>3</sub> (200at, 170 °C)
	Kalkstickstoff	CaNCN (60 %) + CaO, C, etc.	22 +20 % CaO	CaC <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> (1000 °C)

# N Dünger



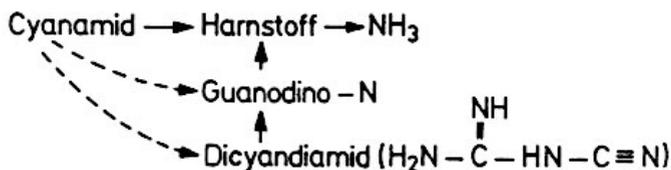
	Wirksamer Inhaltsstoff	N-Gehalt in %	Einsatz
Kalkammonsalpeter Ammoniumnitrat	$\text{NH}_4, \text{NO}_3$	27	Schnell und mittelfristig wirkend
Schwefelsaures Ammoniak Ammoniumsulfat	$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	21	Mittelfristig wirkend, physiologisch sauer
Kalksalpeter Calciumnitrat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15,5	Schnell wirksam, physiologisch alkalisch
Harnstoff (Urea, Carbamid)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46	Wirkt über den Boden langsam, über das Blatt rasch. Auf alkalischen Böden: möglichst rasche Einarbeitung, sonst Stickstoffverluste
Kalkstickstoff	$\text{Ca CN}_2$	20-22	Sehr langsam wirkend, herbizide Wirkung
$\text{NO}_3 + \text{NH}_4 + \text{Nitrifikations-}$ hemmer, z. B. Entec 26	7,5% Nitrat +18,5 % $\text{NH}_4$	26 %	Mäßige Anfangswirkung Gleichmäßige Dauerwirkung
AHL-Lösung (flüssig)	Ammonnitrat + Harnstoff	28%	7 % Nitrat-N, 7 % Ammonium-N, 14 % Amid-N ist zur Flüssigdüngung auf u. in den Boden geeignet (Tiefendüngung). Korroderende Wirkung auf Metalle

■

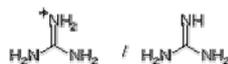
## Kalkstickstoff



- Umsetzung des Kalkstickstoff ( $\text{CaNCN} = \text{Ca-Cyanamid}$ ) entsprechend folgendem Schema:
- Direkter Weg über Harnstoff

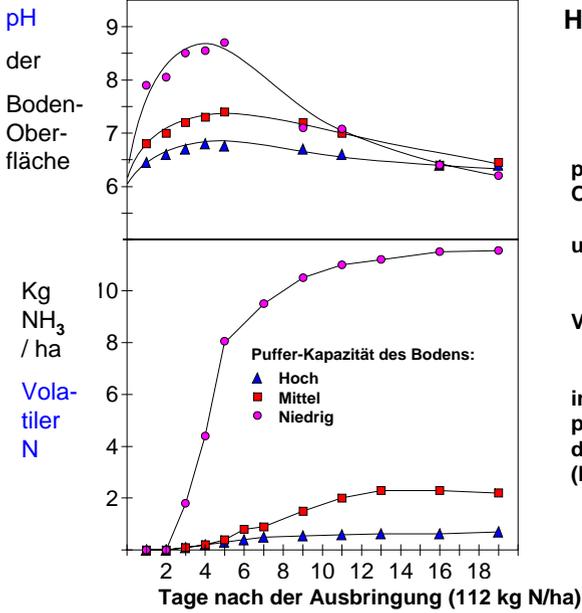


- Auch „Umwege“: 5 – 25 % des Gesamtumsatzes
  - abhängig von Reaktionsbedingungen im Boden
  - Guanidino-N:



- Zwischenprodukte entfalten „phytosanitäre“ Wirkungen
- Dicyandiamid  $\rightarrow$  Nitrifikationshemmer.

# Harnstoff-Applikation → Problematik pH und NH<sub>3</sub>



Harnstoff: CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>

pH der Boden-Oberfläche

und

Volatilisierung

in Abhängigkeit der pH Puffer-Kapazität des Bodens (Ferguson et al. 1984).

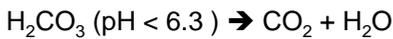
## pH Anhebung bei der Harnstoff-Hydrolyse CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>



### Entzug von H<sup>+</sup> aus der Bodenlösung:



pH ↑ (H<sup>+</sup> Ionen ↓):

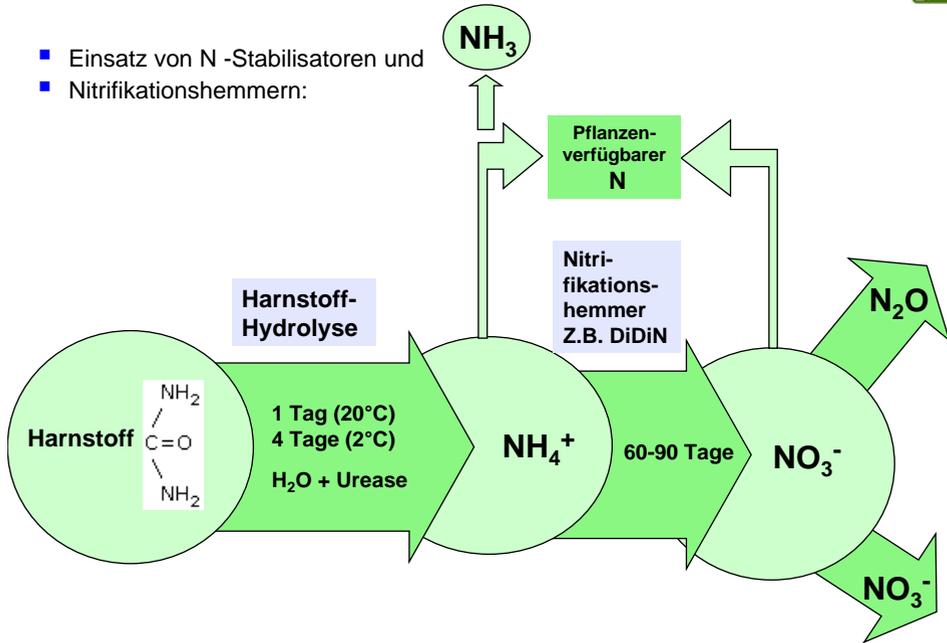


(CO<sub>2</sub>-Verbrauch durch Einbau in Biomasse und Ausgasung)

# Ammonium-stabilisierte Dünger



- Einsatz von N-Stabilisatoren und
- Nitrifikationshemmern:



# C : N Verhältnis = in Böden relativ konstant



- |                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| □ in bewirtschaft. Böden | 10:1 bis 12:1    |
| □ in Pflanzenmaterial    | Leguminosen 20:1 |
|                          | Stroh 90:1       |

