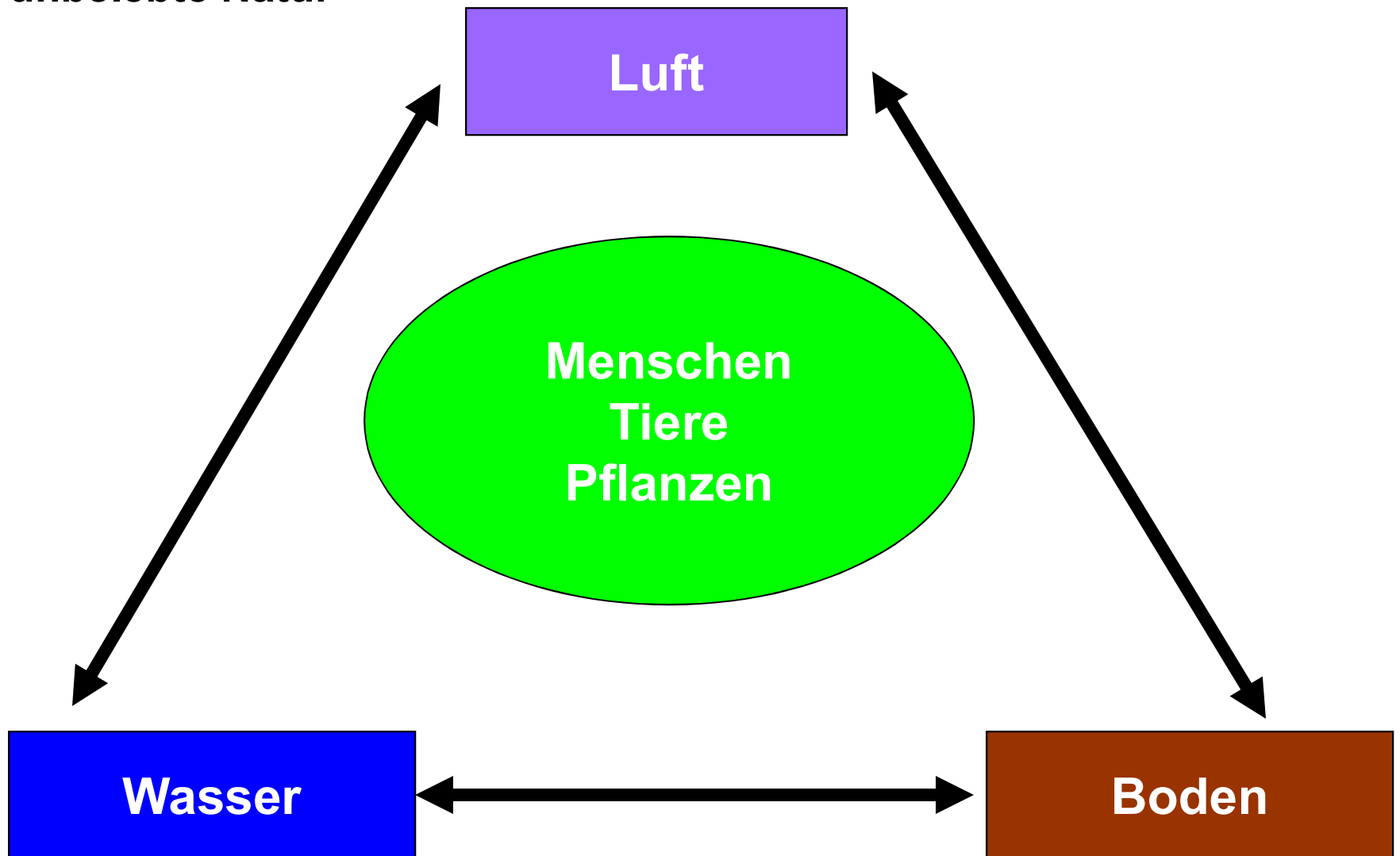


UC-07

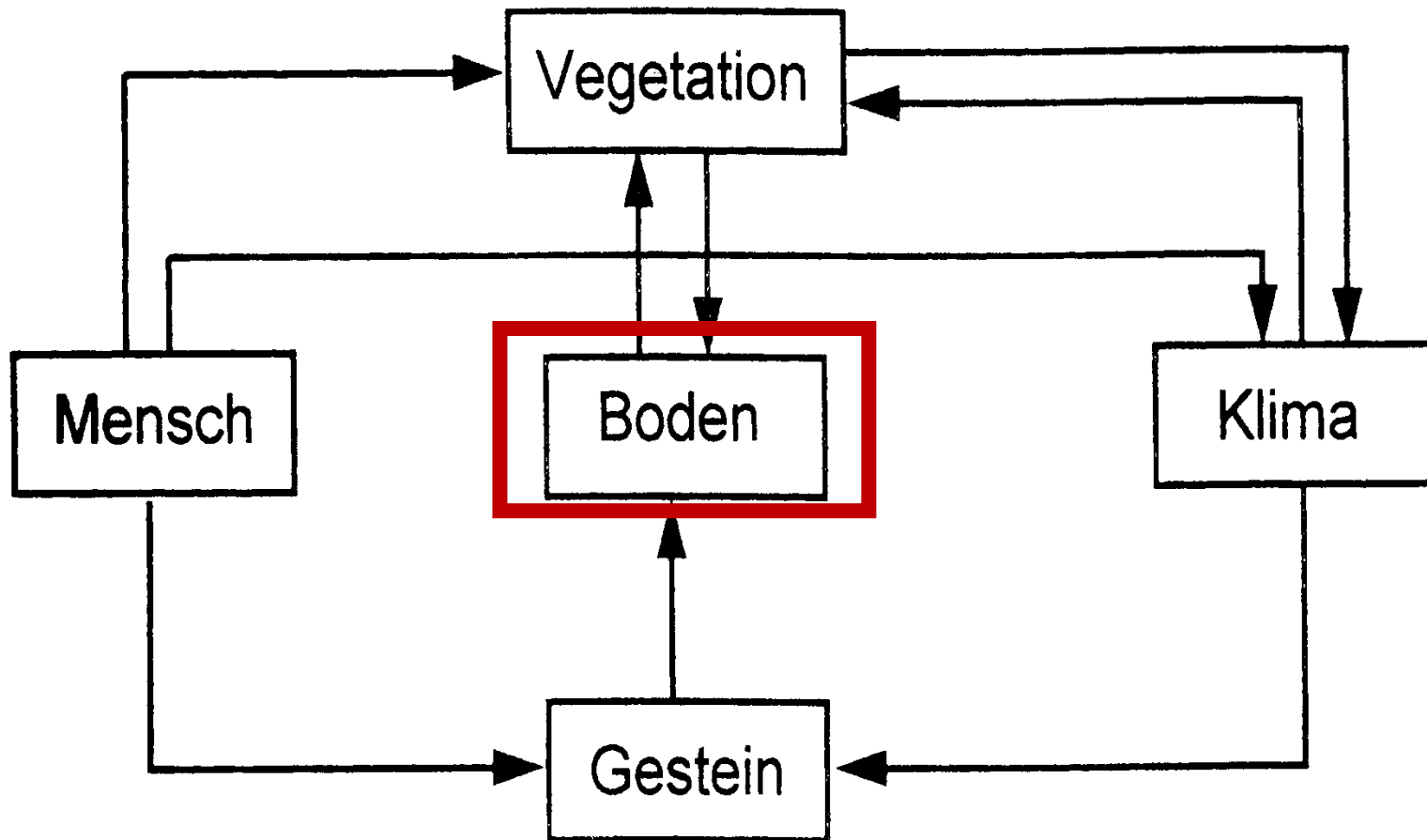
## **4.0 Umweltkompartiment Boden**

# Hauptkomponenten der Umwelt

- belebte Natur
- unbelebte Natur

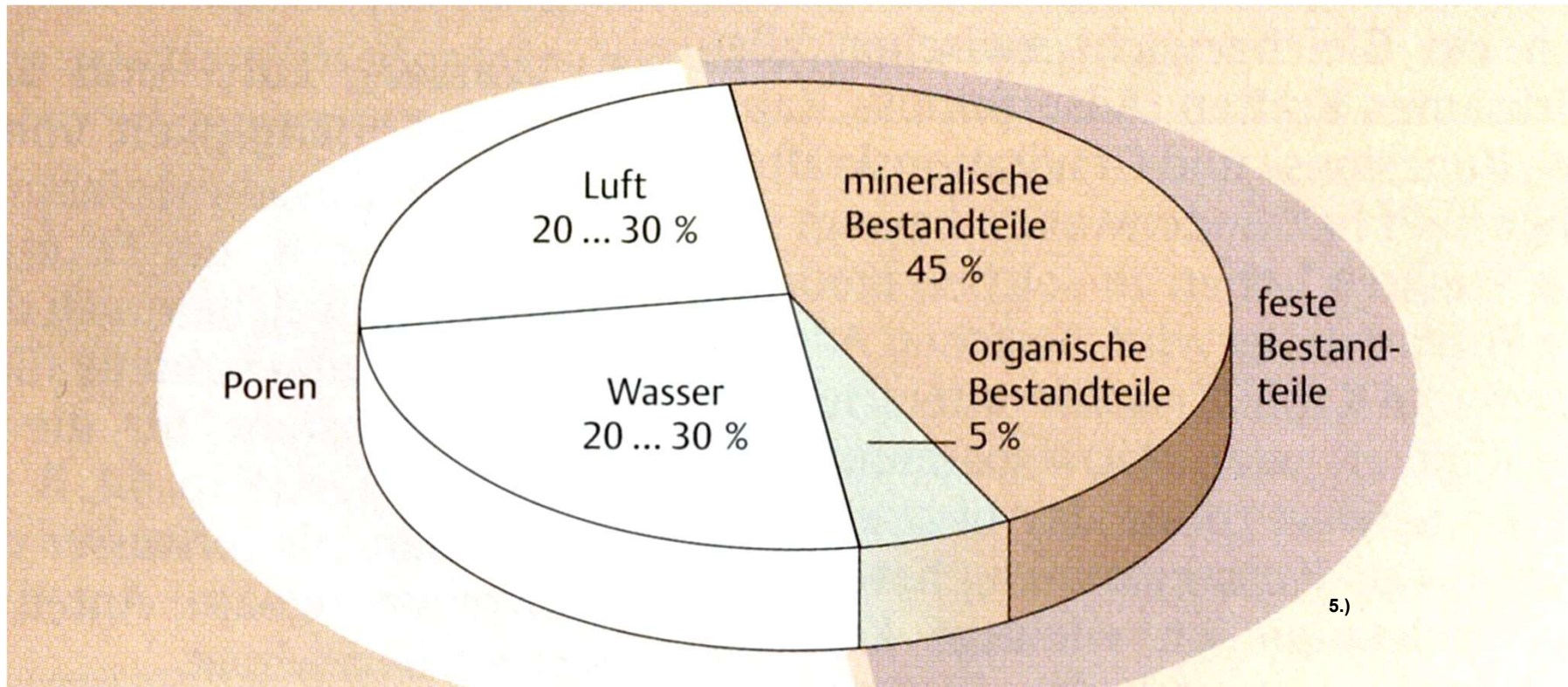


## Allgemeine Einflüsse auf die Zusammenwirken die Bodenentwicklung



## **4.1 Bestandteile des Bodens**

# Bodenbestandteile

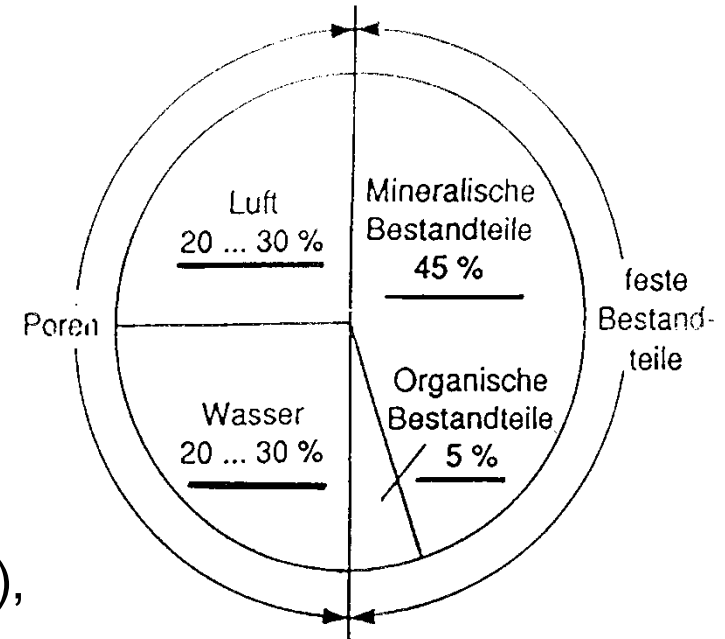


# Boden

**Oberste, belebte Schicht der Erdoberfläche, die durch Gesteinsverwitterung entsteht.**

## - Feste Bestandteile:

$\text{SiO}_2$  (gemittelter Anteil: 58 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16 %),  
Eisenoxide (7 %),  $\text{CaO}$  (5,2 %),  $\text{MgO}$  (3,8 %),  
 $\text{Na}_2\text{O}$  (3,9 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (3,1 %),  
Spurenelemente (3,0 %), Organika



## - Abhängigkeit der Eigenschaften von Böden:

- Ausgangsgestein,
- Art der Verwitterungsvorgänge,
- ablaufenden biologischen Prozessen (Mikrobiologie, Pflanzenanbau),
- Klima (Temperatur, Niederschlag)
- eingetragenen Kontaminationen

# Gesteine und Minerale

**Gesteine:** Mineralgemenge

Magmatische Gesteine:      erstarrte Magma  
Basalt, Granit

Sedimentgesteine:      Resultat der phys.-chem. Einwirkung  
Schiefer, Sandstein, Kalkstein u.a.

Metamorphe Gesteine:      Bildung durch hohen Druck und hohe  
Temperatur auf magmatische und  
Sedimentgesteine  
Muskovit  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ , Gneis,  
Marmor u.a.

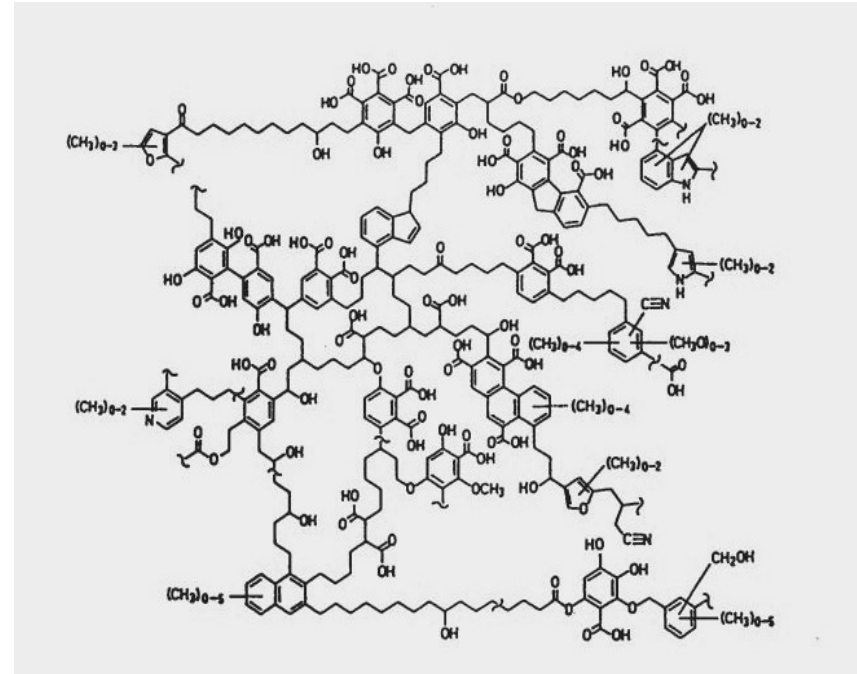
**Minerale:** Festkörper mit definierter chemischer Zusammensetzung  
2500 bekannte Minerale, davon 150 für Gesteinsbildung  
wichtig, davon 40 Hauptbestandteile



# Organika

## NOM (Natural Organic Matter)...z.B. Huminsäuren

- Postmortale Substanzen (Humine; Fulvin- und Huminsäuren)
- ubiquitäres Auftreten (Aquifer, Oberflächenwässer, Böden)
- unterschiedliche Strukturen und Funktionalitäten
- Polyelektrolyte
- Komplexierung von Schwermetallen



Strukturvorschlag nach H.R. Schulten, M. Schnitzer, Naturwissenschaften 80 (1993), 29.

## **4.2 Verwitterungsprozesse**

*...Boden als dynamisches System:*

## **Verwitterungsprozesse**

**Verwitterung:**

**Umwandlung von Gesteinen in der Erdkruste durch Wechselwirkung mit Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosystemen**

### **- Physikalische Verwitterung**

**Rasche, große Temperaturunterschiede- unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten, Druckzunahme durch Kristallisation von Eis**

### **- Biologische Verwitterung**

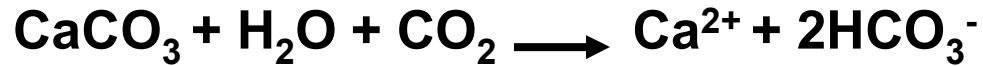
**Ausscheidungs- und Zersetzungsprodukte biologischer Systeme (Mensch, Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen)**

### **- Chemische Verwitterung**

**Hydrolyse, Carbonisierung, Reduktion, Oxidation, Auflösung, Kristallisation**

## Verwitterungsreaktionen (Beispiele)

### Kalk:



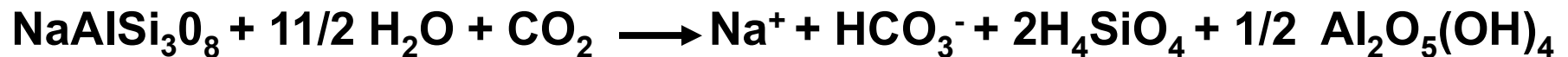
### Quarz:



### Anhydrit:



### Feldspat:

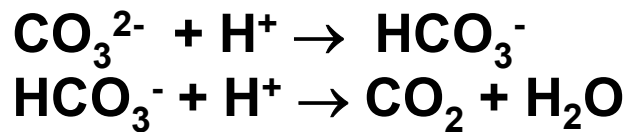


### Dolomit:

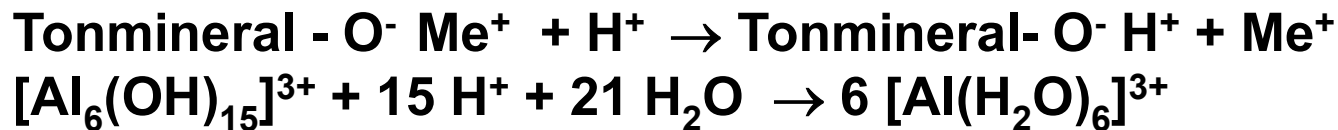


# Boden als Puffer

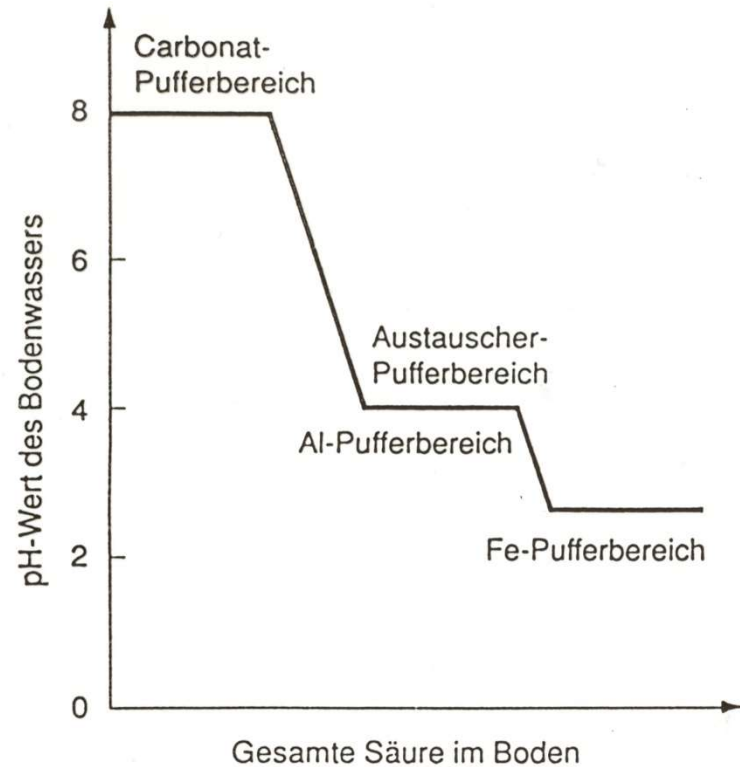
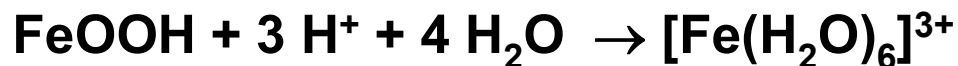
## Carbonatpuffer:



## Austauscherpuffer:



## Eisenpuffer:



*... Tone als Verwitterungsprodukte und Bestandteile des Bodens:*

## **Tongestein I**

Bezeichnung für Sedimente (oft auch für Bodenarten), die sowohl plastisch verformbare Tone, als auch harte Tonsteine enthalten, in einem Korngrößenbereich von  $\varnothing < 2 \mu\text{m}$

### **Summenformel für Tonminerale**



### **Prozesse der Tonbildung:**

- Zerkleinerung der primären Gesteine und Minerale
- Transport und Sedimentation
- Selektions- und Differenzierungsprozesse
- Neu- und Umbildungen im wässrigen Verwitterungs- und Sedimentationsmilieu

## Tongestein II

### Summenformel für Tonminerale



### Bestandteile:

- im wesentlichen Relikte der kristallinen Ausgangsgesteine (Anteile an Glimmer, Quarz, Chlorite) ,
- Umbildungen von Schichtsilicaten,
- Neubildungen aus Verwitterungsprodukten,
- Organische Fragmente und Abbauprodukte,

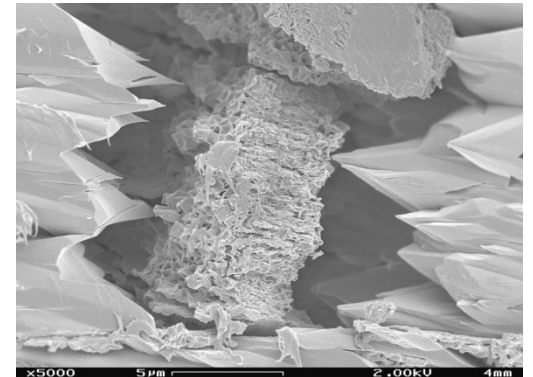
### „Tonminerale im engeren Sinne“ : Schichtsilicate

- Smectite: Verwitterungsprodukte von Glimmern, auch Neubildung, sehr feinkörnig,
- Vermiculite: Derivate von Glimmern, feinkörnig
- Kaolin-Minerale: stets Neubildungen, Kaolinit , Korndurchmesser > 2 µm

→ **Endprodukte bei Verwitterungsprozessen**



Glimmer



Smectit

## **Tongesteine III**

### **Eigenschaften:**

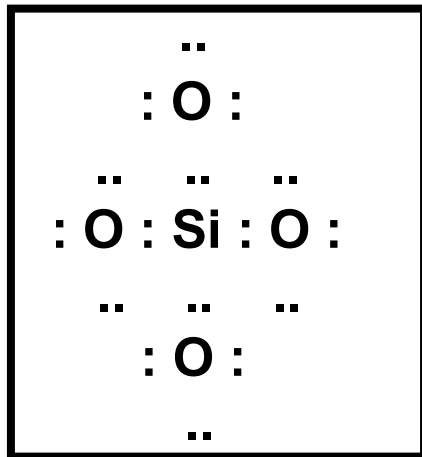
- **Aufnahme von mehr als 80 Vol.% Wasser, nach Wasseraufnahme sinkt Permeabilität faktisch auf 0  
Wasser wird immobilisiert, effektive Barrieren zur Schadstoffeingrenzung**
- **bei Wasseraufnahme Volumenzunahme,**
- **bei Wasserentzug Bildung von Trockenrissen,**
- **Plastizität der Tone,**
- **Härte und Festigkeit ausgetrockneter Tone**
- **Sorbent: Ionenadsorption / Ionenaustausch**



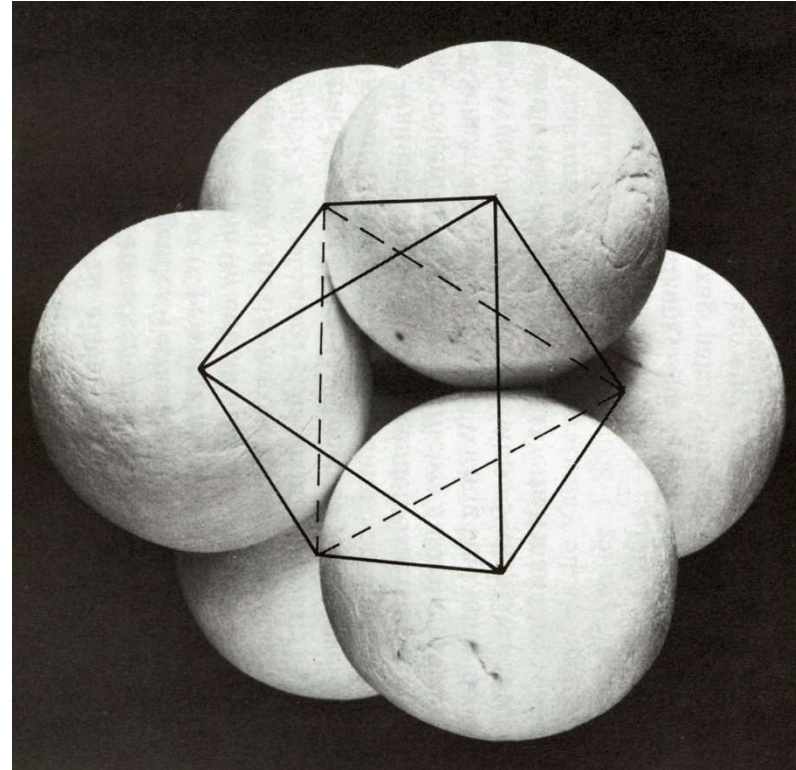
## Tongestein IV

- Bauelemente

### $\text{SiO}_4$ -Tetraeder



4-



Die dichteste Packung von sechs Kugeln in zwei Lagen führt zu einem Oktaeder mit einer oktaedrischen Lücke

- Silicate (in Lücken nur Si)

- **Alumosilicate (in Lücken sowohl Si als auch Al)**

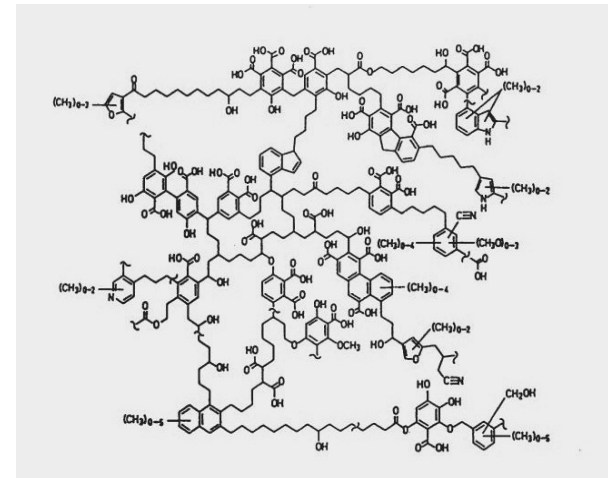
## **4.3 Huminstoffe**

# **Humus** (lat. Boden) - ein wesentlicher Bestandteil des Bodens

- Gesamtheit der im Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen (demnach organischen = NOM) Substanzen
- besteht aus hochmolekularen Huminstoffen (z.B. Huminsäuren) uneinheitliche makromolekulare Struktur

- Anteil an Huminstoffen

- Ackerböden 1...2%
- Schwarzerde 2...7%



- Postmortale Substanzen
- ubiquitäres Auftreten (Aquifer, Oberflächenwässer, Böden)
- unterschiedliche Strukturen und Funktionalitäten



**Polyelektrolyte (Biopolymere)**

# Huminstoffe

## Humine

MM: > 50.000

Löslichkeit: unlöslich

## Fulvinsäuren (Fulvosäuren)

MM:

800 – 9.000

Löslichkeit

im sauren und basischen Bereich

## Huminsäuren

MM:

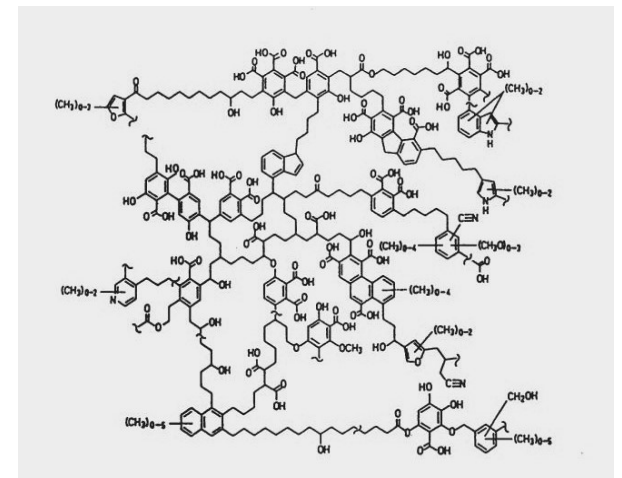
9.000 – 50.000

Löslichkeit:

im basischen Bereich

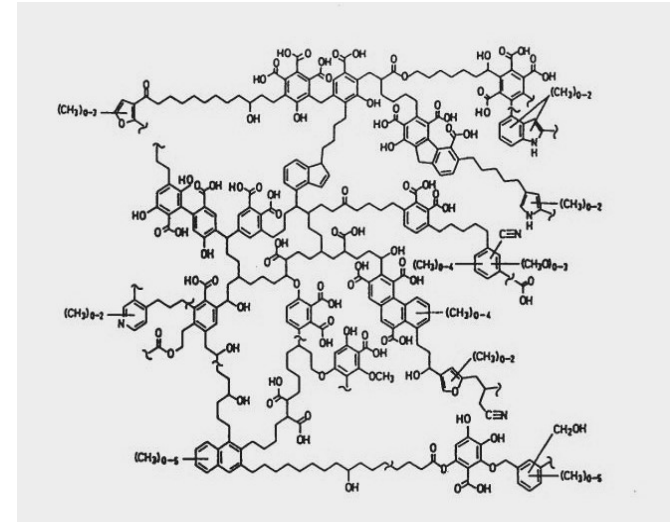
### - finger- print:

- \* Ladung/Masse Verhältnis
- \* Gehalt an Aromaten/Aliphaten
- \* Art und Gehalt an Anorganika, insbesondere Eisen
- \* Art und Gehalt an funktionellen Gruppen
- \* Einbau und Gehalt an Heteroatomen N, S
- \* Protonenaustauschkapazität
- \* Strukturänderung bei pH-Änderung



# Umwelteinfluss von Huminsäuren

- unterschiedliche Genese
- Bindung, Rückhaltung organischer und anorganischer Stoffe  
(Ionenaustauschfunktion, Komplexierung von Metallen)
- Nahrung für Mikroorganismen
- gelöster und kolloidaler Transport von Organika und Schwermetallen
- Nährstoffpuffer für Pflanzen



## **4.4 Bodenkontaminationen**

# Bodenrichtwerte

*Boden ist kein einheitliches chemisches System, deshalb muss dies auch bei der Festlegung von Grenz-/Richtwerte Werten berücksichtigt werden.*

## 21 Weit unter Richtwert

Elemente	Gesamtgehalte im luftgetrockneten Boden in mg/kg		
	häufig	tolerierbar (Richtwert)	
<b>As</b> Arsen	0,1 – 20	20	
<b>B</b> Bor	5 – 20	25	
<b>Be</b> Beryllium	0,1 – 5	10	
<b>Br</b> Brom	1 – 10	10	
<b>Cd</b> Cadmium	0,01 – 1	3*	
<b>Co</b> Cobalt	1 – 10	50	
<b>Cr</b> Chrom	2 – 50	100*	
<b>Cu</b> Kupfer	1 – 20	100*	
<b>F</b> Fluor	50 – 200	200	
<b>Ga</b> Gallium	0,1 – 10	10	
<b>Hg</b> Quecksilber	0,01 – 1	2*	
<b>Mo</b> Molybdän	0,2 – 5	5	
<b>Ni</b> Nickel	2 – 50	50*	
<b>Pb</b> Blei	0,1 – 20	100*	
<b>Sb</b> Antimon	0,01 – 0,5	5	
<b>Se</b> Selen	0,01 – 5	10	
<b>Sn</b> Zinn	1 – 20	50	
<b>Tl</b> Thallium	0,01 – 0,5	1	
<b>Ti</b> Titan	10 – 5000	5000	
<b>U</b> Uran	0,01 – 1	5	
<b>V</b> Vanadium	10 – 100	50	
<b>Zn</b> Zink	3 – 50	300*	
<b>Zr</b> Zirkon	1 – 300	300	

\* Grenzwerte laut Klärschlammverordnung  
Quelle: Kloke, 1986

#### **4.4.1 Einträge in den Boden**



# Einträge in den Boden

durch:

**A. Landwirtschaftliche Prozesse**

**B. Industrielle Prozesse**

## Ursachen:

- Lebensprozesse der Organismen
- Düngemittel
- Pflanzenbehandlungsmittel und Schädlingsbekämpfungsmittel
- Verkehrsträger
- Rohstoffgewinnung (z.B. Erz-und Kohleabbau)
- Produktion von chemischen Stoffen
- Energieerzeugung
- Unfälle bei Stoff- und Energieproduktion
- Entsorgung (Deponien)

# A. Landwirtschaftliche Prozesse

- Düngung

- Schädlingsbekämpfung

## - Düngung:

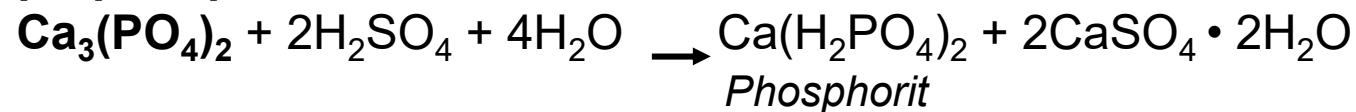
### \* Organischer Dünger:

Inhaltsstoffe von:

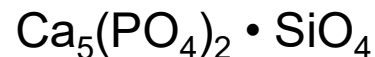
Stallmist, Stroh- und Ernterückstände, Jauche, Gülle, Knochenmehl, Guano, Klärschlamm

### \* Anorganischer Dünger, Mineraldünger:

Superphosphat



Thomasmehl



entsteht bei der Stahlproduktion aus P und CaO

Chilesalpeter



Ammoniumnitrat



Harnstoff



Kaliumnitrat



## Kalium - Düngung

- $K^+$ -Ionen werden in Tonminerale eingebaut  
(kaum verfügbar)
- $K^+$ -Ionen werden an Tonminerale absorbiert  
(langsame Freisetzung  $\Rightarrow$  pflanzenverfügbar)
- überschüssige  $K^+$ -Ionen werden ausgewaschen

 **Gefahr der Überdüngung**

## Mineral - Düngung

- Phosphatdüngung wichtig
- Relative Elementzusammensetzung trockener Pflanzenmasse (bezogen auf Phosphor)

---

### Hauptbestandteile

H	470
C	250
O	170
N	9,1
K	3,5
Ca	1,6
Mg	1,5
<b>P</b>	<b>1,0</b>

### Spurenelemente

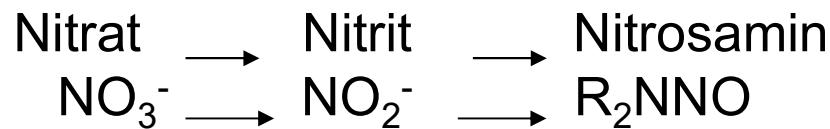
Cl	0,66
S	0,53
Si	0,31
Na	0,20
Fe	0,12
B	0,003
Mn	0,01
Zn	0,0002
Cu	0,0001
Mo	0,000005
Co	0,000001

*Wie lange ist Phosphor noch verfügbar?*

## Stickstoff - Düngung

- **keine Speicherform**, Auswaschung
- Nitratdüngung ist sehr problematisch,  
**Gefahr durch Nitrat im Trinkwasser**

\* Reaktionskette



\*  $\text{NO}_2^-$  oxidiert Hämoglobin  
(Pökelsalz, Gefahr für Säuglingsnahrung)

- EU-Richtwert für Nitrat im Trinkwasser: 25 ng/l  
Grenzwert in der BRD: 50 ng/l

*Es geht darum, ein Gespür zu bekommen, womit Böden chemisch belastet werden, sind da „Schädlingsbekämpfungsmittel“ mit „Arzneimitteln“ gleichzusetzen?*

## **- Schädlingsbekämpfung**

### **Biozide**

**Stoffe, die Pflanzen während ihres Wachstums vor Krankheiten und tierischem Schädlingsbefall schützen, die Konkurrenz anderer Pflanzen um Licht und Nährstoffe unterbinden und die eingebrachten Erntemengen vor Verlusten schützen sollen.**

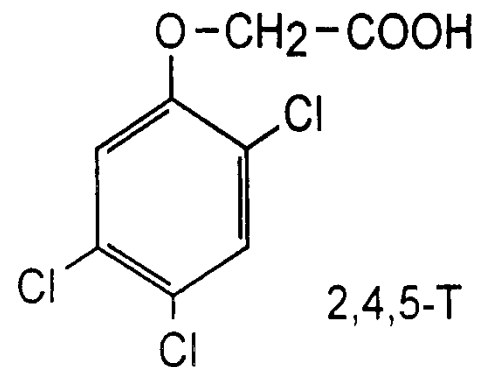
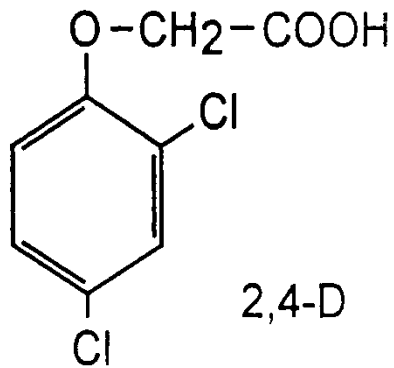
**- oft wird verallgemeinernd die Bezeichnung **Pestizide** verwendet**

## **Biozide / Pestizide**

- Herbizide**
- Insektizide**
- Sterilantien**
- Fungizide**
- Akarizide**
- Molluskizide**
- Rodentizide**
- Ovizide**
- Repellents**

## Herbizide

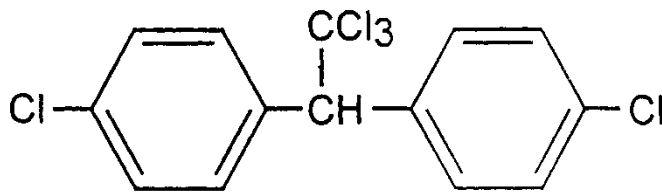
- „Unkraut“vernichtung
- Phenoxycarbonsäuren (2,4-D; 2,4,5-T),  
heterocyclische Verbindungen



2,4-Dichlor-phenoxyessigsäure    2,4,5-Trichlor-phenoxyessigsäure

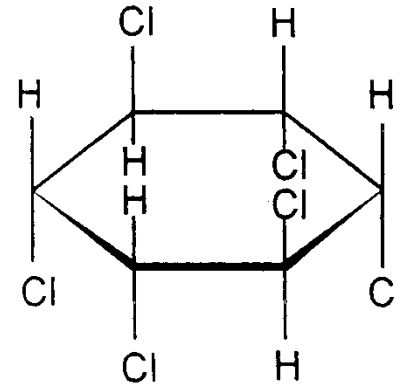


## Insektizide



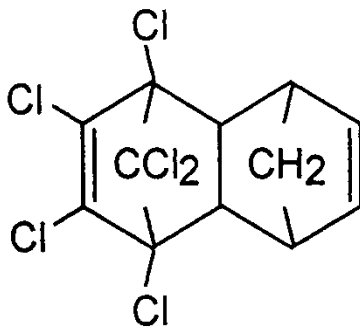
DDT

(Dichlorodiphenyl)trichlormethylmethan

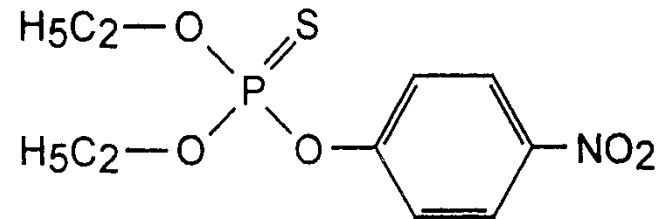


LINDAN

$\gamma$ -1,2,3,4,5,6-Hexachlorocyclohexan



ALDRIN



PARATHION (E605)

## **Ovizide**

- Vernichtung von Insekteneiern
- substituierte Phenole

## **Sterilantien**

- **Schädlingssterilisation**
- **organische Phosphor-Stickstoff-Verbindungen**

## **Fungizide**

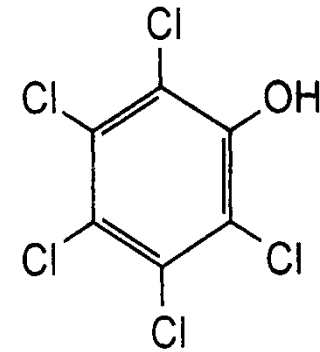
- **Pilzvernichtung**
- **unterschiedliche Stoffklassen**
- **häufig metallorganische Verbindungen (Hg, Sn, Zn)**

## Akarizide

- Milbenabtötung
- unterschiedliche Stoffklassen

## Molluskizide • Schneckenabtötung

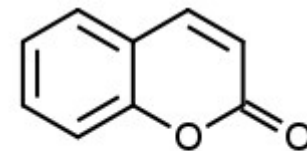
- subst. Phenole



Pentachlorphenol

## Rodentizide • Nagetierabtötung

- Kumarinderivate



Coumarine

## **Repellents**

- **Schädlingsvertreibung**
- ätherische Öle, Alkohole und cyclische Ester

## **Aufteilung des Biozidverbrauchs**

(in Prozent)

	Herbizide	Insektizide	Fungizide	Sonstige	
Nordamerika	52	23	15	45	34
Westeuropa	21	13	37	37	22
Dritte Welt	7	39	5	5	19
Osteuropa	12	12	6	6	13
Japan	8	13	7	7	12

## Gefahrenpotential durch Eintrag von Bioziden direkt in die Nahrungskette

- **Problem 1:** während der Ausbringung  
kein Fachpersonal, unzureichende Schutzmittel
- **Problem 2:** Nahrungsmittelbelastung  
Grenzwerte sind auf „Standardmenschen“ und  
Durchschnittsverbrauch bezogen
- **Problem 3:** **weltweites** Verbot stark toxischer Chemikalien  
z.B. DDT in Deutschland verboten,  
in vielen Ländern erlaubt
- **Problem 4:** Störung der Ökologie in Anbaugebieten durch Ab-  
tötung von „Schädlingen“ ⇒ Nahrungsentzug für  
„Nützlinge“; 38% des Artenrückgangs in der Bundes-  
republik wird der Landwirtschaft angelastet
- **Problem 5:** Bodenbelastung mit **Bioziden** und deren **Abbau-**  
**produkten**
- **Problem 6:** Belastung von Grund- und Trinkwasser



## **B. Industrielle Prozesse**

### **Organika:**

- bei der Förderung
- durch Leckagen von Öltanks und Ölleitungen
- beim Betanken von Fahrzeugen
- bei der (unsachgemäßen) Deponierung von Ölschlämmen
- bei Transportunfällen
- bei unerlaubtem Ausbringen von Altölen
- als Pflanzenschutzmittel
- typische Altlastenflächen: (ehemalige) Raffinierung, Gaswerke, Kokereien und Tankstellen

### **Schwermetalle:**

- bei Förderung und Aufarbeitung
- bei Entsorgung (Sickerwässer der Deponien)
- Klärschlämme der Abwasseraufbereitung, Flusssedimente

## **4.4.2 Reinigung von Böden**

## **Einträge I:**

### **- Düngemittel**

**\*Organischer Dünger**

**\*Anorganischer Dünger, Mineraldünger**

### **Aber:**

**Anreicherung von Kontaminationen im Boden  
durch Verunreinigungen im Dünger oder z.B. Klärschlammaufbringung**

*Beispiel:*

*Uran in Düngemitteln 20-200mg/kg, Klärschlämme Schwermetallgehalt)*

## Einträge II:

### - Biozide / Pestizide

\* Herbizide

\* Insektizide

\* Sterilantien

\* Fungizide

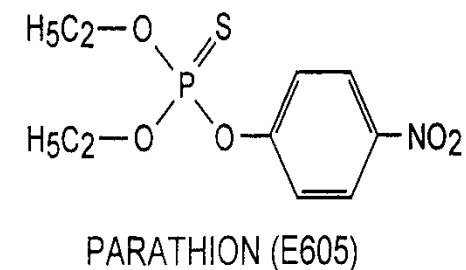
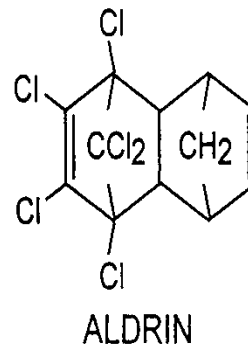
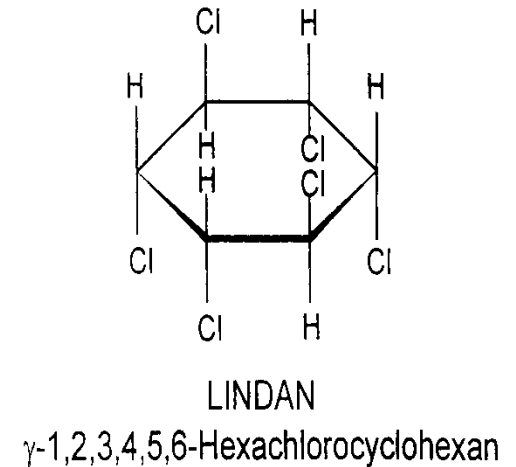
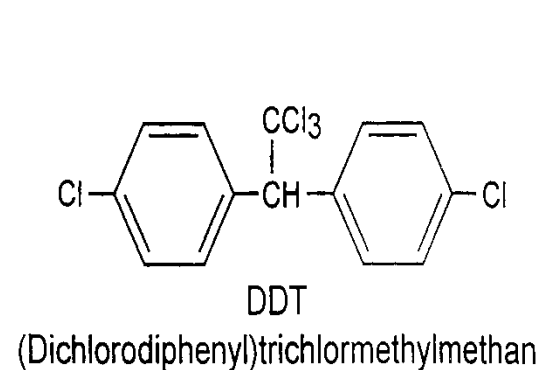
\* Akarizide

\* Molluskizide

\* Rodentizide

\* Ovizide

\* Repellents



**Aber:**

Anreicherung im Boden, auch der Abbauprodukte

## **Einträge II:**

- **Schwermetallverbindungen und Organika**

- **Hg, Cd, Pb, U, usw.**

- **Öle, Kraftstoffe**

# Zulässige Konzentrationen

## - Gehalt/Ausbringung

Metall	Max. zulässige Konzentration (mg/kg)
Hg	1,5
Cd	3
Ni	75
Cu	140
Zn	300
Pb	300

*In der EU maximal zulässige Metallkonzentrationen in Böden (nach Wild 1995).*

Nach der Klärschlammverordnung darf ab den folgenden Gehalten im Boden kein Klärschlamm mehr auf den Boden aufgebracht werden: (Deutschland)

Schwermetall	Maximaler Gehalt (mg/kg Boden)
Hg	1
Cd	1,5
Ni	50
Cu	60
Cr	100
Pb	100
Zn	200

*Maximale Schwermetallgehalte in Böden nach der Klärschlammverordnung.*

## Sanierungswerte (VVBo)

Nutzungskategorien	Gehalte (mg/kg TS für Böden bis 15% Humus, mg/dm <sup>3</sup> für Böden über 15% Humus)								Probenahmetiefe (in cm)
	Blei (Pb)		Cadmium (Cd)		Kupfer (Cu)		Zink (Zn)		
	t	l	t	l	t	l	t	l	
Landwirtschaft und Gartenbau	2000	–	30	0,1	1000	4	2000	5	0–20
Haus- und Familiengärten	1000	–	20	0,1	1000	4	2000	5	0–20
Kinderspielplätze	1000	–	20	–	–	–	–	–	0–5
TS = Trockensubstanz      l = löslicher Gehalt      t = Totalgehalt									

VVBo: Verwaltungsvorschrift in der Bodenordnung

*Kontaminationen bedingen Reinigungsverfahren, diese sollten ebenfalls effektiv und robust sein, auch dabei sind Grenzwerte einzuhalten, Optimierung in Richtung Aufwand und Reinigungserfolg*

## **Bodenbehandlung - Bodenreinigung**

### **Ziel:**

- Schadstoffe vom Boden zu trennen und sauberen Boden zurückzugewinnen

### **Grundverfahren:**

#### **\* Waschverfahren**

- Spülverfahren (physikalische Reinigung)
- Extraktionsverfahren (chemische Reinigung)

#### **\* Thermische Verfahren**

#### **\* Biologische Verfahren**

### **Methoden:**

- |                     |   |
|---------------------|---|
| * in-situ Verfahren | Boden am Ort ohne Aushub behandelt  |
| * ex-situ Verfahren | Boden wird ausgehoben, innerhalb des Geländes - on site -, oder außerhalb des kontaminierten Bereiches - off site - behandelt |



# Waschverfahren zur Bodenbehandlung



SITA Remediation

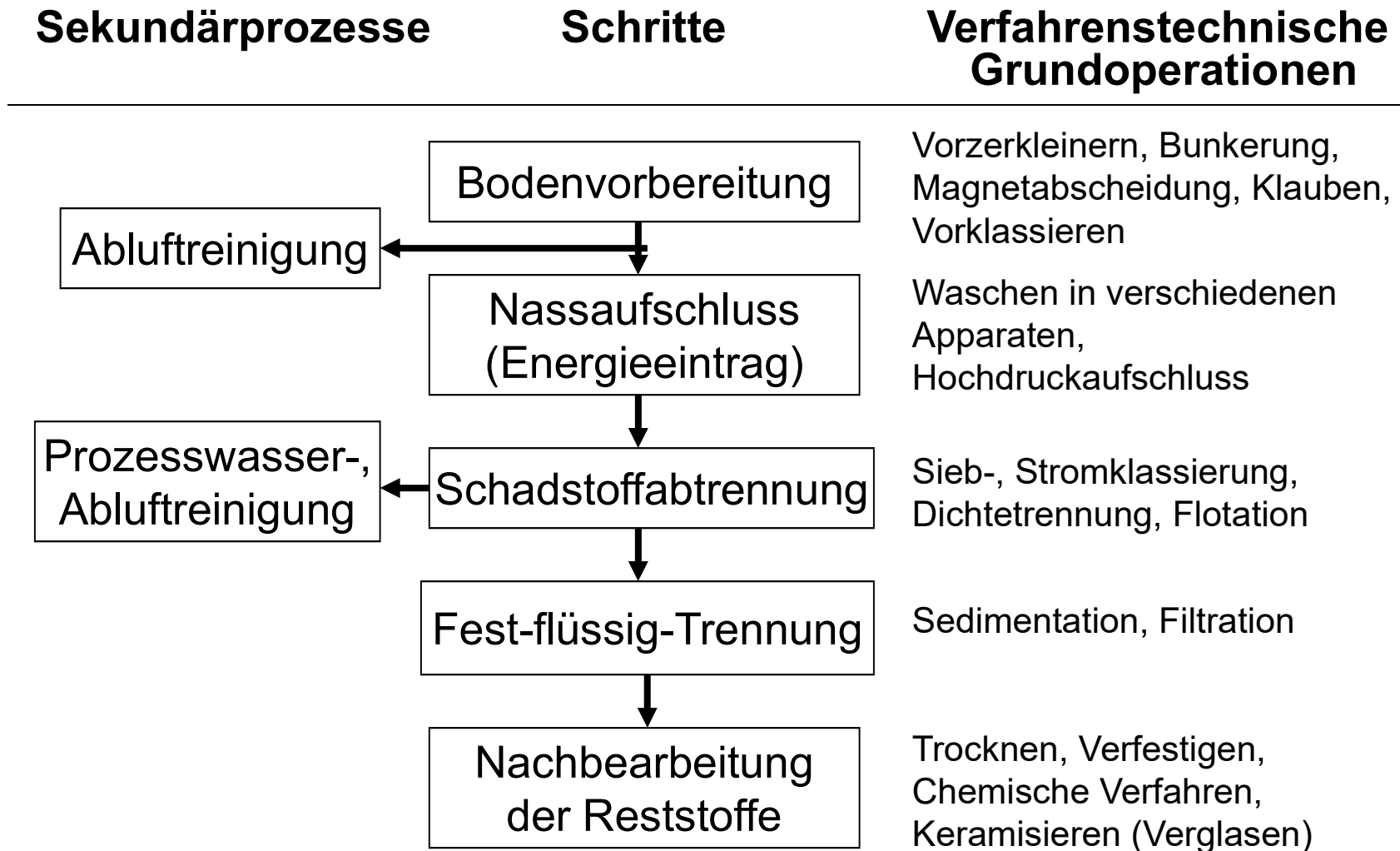


## - **Bodenwäsche:**

*Boden in Wasser aufschlämmen,  
saubere von verschmutzter Fraktion u.a. mittels Chemikalien trennen*

- Teil des Bodens wird deponiert oder chemisch, thermisch weiterbehandelt,
- Kontamination im Feinkorn größer als im Grobkorn,
- Einsatz bei Sanierung von Standorten:  
Kokereien, Tankstellen, Schrottplätze, Chemiebetriebe,
- stationäre Waschanlagen sind Stand der Technik, da umfassende Abwasser und Abluftreinigung möglich.

# Waschverfahren - Verfahrensschritte



# Thermische Verfahren zur Bodenhandlung

- Böden mit verdampfenden und/oder brennbaren Substanzen verunreinigt
- Hochtemperaturbehandlung nur bei besonders problematischen Böden
- **Verfahrensparameter:**
  - \* Temperaturbereich
  - \* Verweilzeit
  - \* Sauerstoffangebot
  - \* Angebot reaktiver Gase zur Vergasung
  - \* Inertgas-Angebot
  - \* Art der Wärmezufuhr
  - \* Ofentyp
  - \* Strömungsverhältnisse
- Brennkammer (Drehrohrofen), Nachbrennkammer, Abgaswäsche, Mischer für Boden, Wärmetauscher
- **Rekultivierung thermisch behandelter Böden**

# Biologische Verfahren zur Bodenbehandlung

## Mikroorganismen:

- Abbau im Idealfall zu Kohlendioxid und Wasser
- für Sanierungen sind aerobe heterotrophe Mikroorganismen wichtig
- heterotrophe Mikroorganismen nutzen organische Stoffe als Energie- und Kohlenstoffquelle
- autotrophe Mikroorganismen nutzen CO und CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle und anorganische Stoffe als Energiequelle (keine große Bedeutung für Sanierung)
- für Wachstum auch Mineralstoffe wichtig (C, H, O, N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, Cl, Zn, Mn u.a.)
- optimaler pH-Wert für Bakterien 6-8, Pilze 4-7, Temperatur bis 37°C
- meist ex-situ-Verfahren in Beeten 50 cm hoch (Landfarming), Mieten und Bioreaktoren (10 - 250 m<sup>3</sup>)
- Verwendete Mikroorganismen:

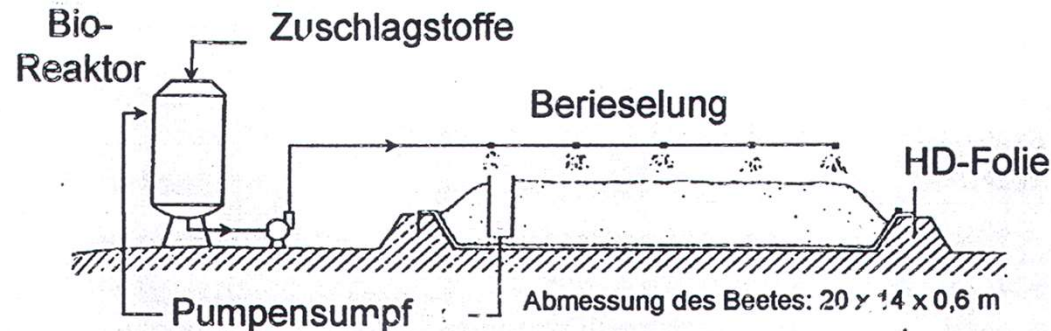
Pilze: *Aspergillus, Penicillium, Candida;*

Bakterien: *Acetobacter, Pseudomonaden, Thiobacillus ferrooxidans*

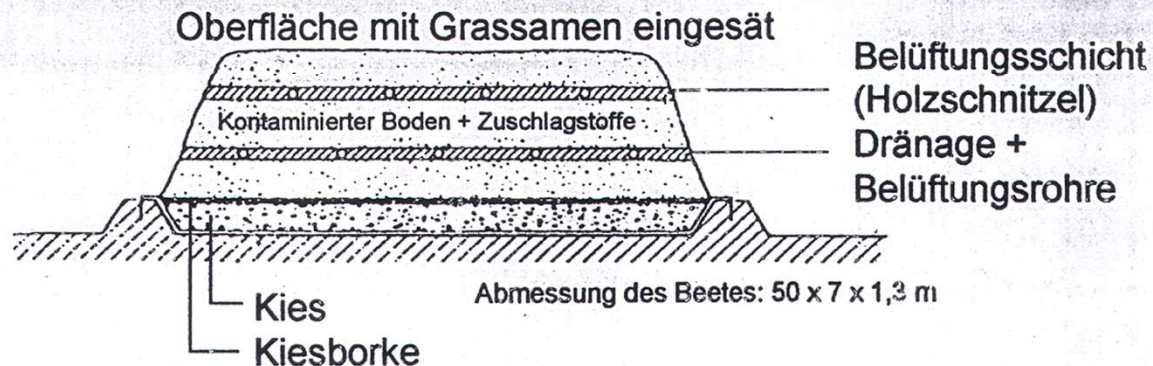
# Anwendungsfall: Ölverunreinigungen:

## - Bio-Beete zum mikrobiellen Abbau

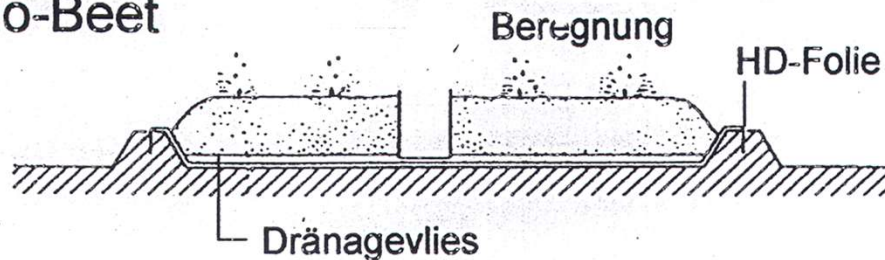
### - Bio-Beet



### - Regenerationsmiete



### - Bio-Beet



## **Anwendungsfall:**

### **Öl-/Kraftstoffverunreinigungen**

#### **- Waschverfahren**

- \* oberflächenaktive Substanzen:  
Tenside, auch häufig in-situ Bodenwäsche angewendet
- \* Bodenluftabsaugen

#### **- Thermische Verfahren**

#### **- Biologische Verfahren**

Probleme:

- \* Bioverfügbarkeit von lipophilen / langkettigen Substanzen  
(Einsatz von „Biotensiden“, „Biosurfactants“)
- \* auch Anwendung „naturnaher Verfahren“, mikrobiologisches Leaching



# Verwertung und Beseitigung von Abfällen



*Daten für Österreich, Jahr 2005:*

mehr als 2.500 Anlagen zur Verwertung und Beseitigung von Abfällen in Betrieb bzw. Versuchsbetrieb

- Thermische Behandlungsanlagen (ohne Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle) 180
- Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle 9
- Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen 37
- Aufbereitungsanlagen für spezielle Abfälle (Altautos, Elektronikaltgeräte, Kunststoffe, Fette und Frittieröle, Chemikalien, Batterien, u. a.) 199
- Shredder 6
- Aufbereitungsanlagen für Baurestmassen 293
- Biotechnische Behandlungsanlagen zur Vorbehandlung von Restmüll und sonstigen Abfälle 16
- Anlagen zur aeroben biotechnischen Behandlung getrennt gesammelter biogener Abfälle, Grünabfälle u. a. (Kompostierungsanlagen) 539
- Anlagen zur Sortierung getrennt erfasster Altstoffe und anderer Abfälle 123
- Anlagen zur Verwertung getrennt erfasste Altstoffe 43
- Anlagen zur anaeroben biotechnischen Behandlung (Biogasanlagen) 403
- Deponien (Massenabfall, Reststoff, Baurestmassen, Bodenaushub) 666



## Bodenbehandlungskapazitäten (D)

### Bodenbehandlungsanlagen in D:

- 105 stationäre und 20 mobile
- 70% Biologische Behandlung,
- 15% Waschverfahren,
- 11% Kombinierte Verfahren
- 4% Thermische Verfahren

### *Bilanzbeispiel:*

Verfahren	Kapazität	Kosten (1992)	
	(t/a)	(%)	(DM/t)
Bodenwäsche	1051.000	62,6	200 - 800
Thermische Behandlung	135.000	7,7	400 - 3000
Biologische Behandlung	498.600	29,7	150 - 300



# Phytoremediation

- **Schwermetalle in den oberen Bodenschichten**  
*(Kontamination muss oberflächennah vorliegen)*
- **Vorliegen der Kontamination in pflanzenverfügbarer Form**  
*(Speziation der Metalle im Porenwasser)*
- **Böden / Halden müssen kulturfähig sein**  
*(Aufbringen von Deckschichten)*
- **Pflanzen müssen hohe Aufnahmeraten haben**  
*(Transferfaktor)*
- **Vegetationsperiode sollte möglichst lang sein**  
*(mehrmalige Ernte)*
- **geerntete Pflanzen werden meist thermisch verwertet**  
*(Rückgewinnung des Metalls)*



HZDR

# Natural Attenuation (NA):

## *NA-Prozesse (Natürliche Abbauprozesse)*

sind physikalische, chemische und biologische Prozesse, die unter günstigen Bedingungen ohne menschliches Eingreifen zu einer **Reduzierung** der Masse, Toxizität, Mobilität, des Volumens oder der Konzentration von Schadstoffen im Boden und Grundwasser führen.

### - **In-situ-Prozesse:**

- **biologischer Abbau**
- **(bio-)chemische Stabilisierung, Transformation, Zerstörung**
- **Sorption, Dispersion, Verdünnung, Verflüchtigung**



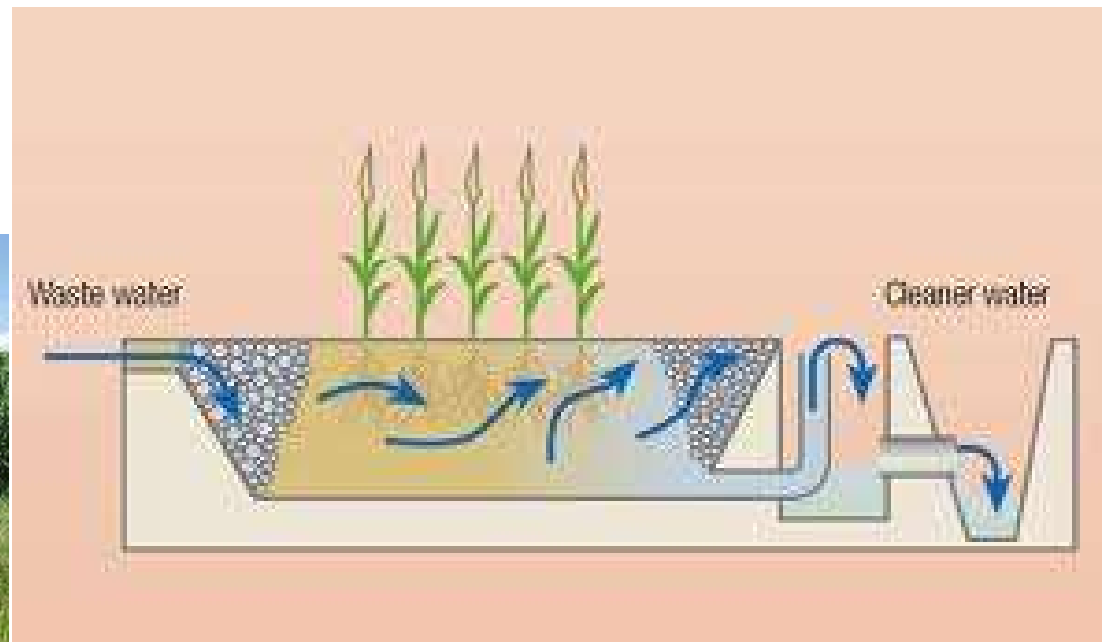
**Gezielte Abschwächung von Schadstoffen in der Umwelt durch natürliche Prozesse**

**Akkumulation?...Reinigung?... Nachhaltigkeit?**

## Natural Attenuation:

- Ausnutzung der natürlicher Prozesse zur Reinigung von Kontaminationen
- erste Ergebnisse schon 1972 publiziert, seit Mitte der 90er in den USA häufig eingesetzt

## Anlegen von Feuchtgebieten zur Schadstoffrückhaltung (Constructed Wetlands)



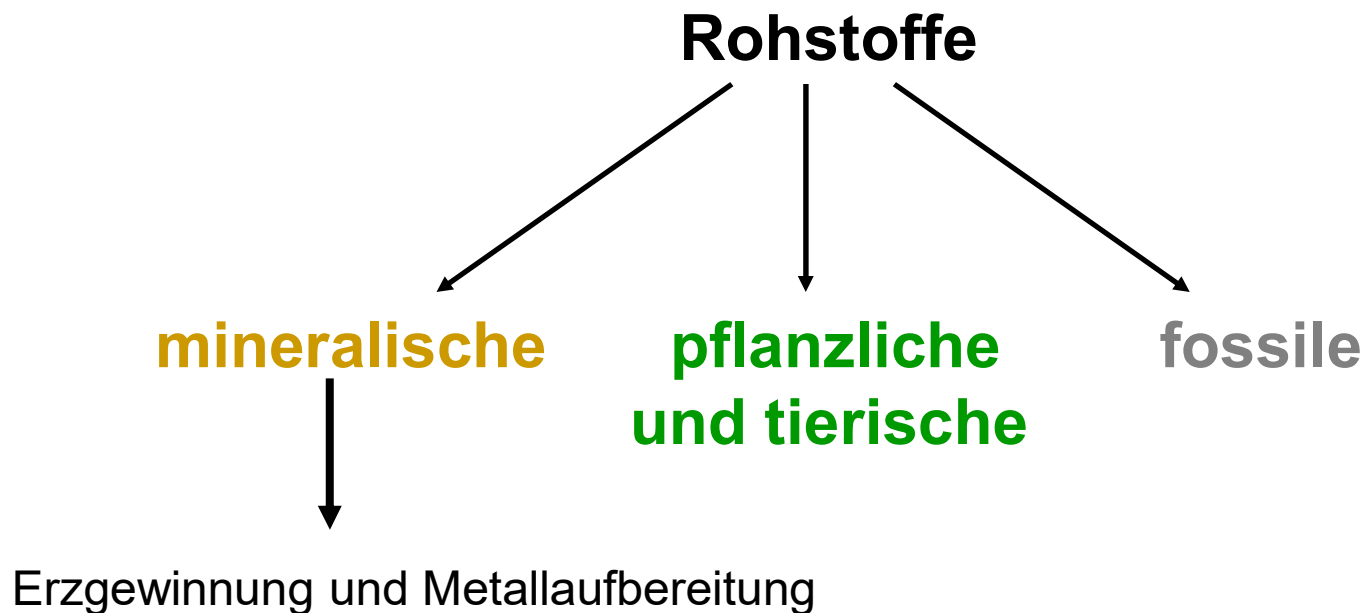
**Problem:** *Rückhaltung vs. Aufkonzentrierung; Sicherung, Nachhaltigkeit*

### **4.4.3 Sanierung kontaminierter Gebiete**

*Gewinnung von Rohstoffen ist ein bedeutender Grund für Veränderungen der Umwelt.*

*Mensch kann der Umwelt bei der Renaturierung helfen, Stichworte: Remediation, Rekultivierung, Sanierung.*

## Verschiedene Arten von Rohstoffen



# Rohstoffgewinnung vs. Sanierung

- Prozess als Gesamtheit sehen von der Erschließung einer Anlage bis zu deren Sanierung,
- Modernste Technologien im Tausch gegen Rohstoffe,
- Was sind (metallische) Rohstoffe der nächsten Jahrhunderte?
- Was kann man womit ersetzen?
- Energiebilanz, Verwendungszweck!

**Erkundung**

**Gewinnung**

**Aufbereitung**

**Veredlung**

**Recycling**

*Sanierungstechnologien bei Erarbeitung von Produktionstechnologien einschließen!*

## **Beispiele**

- Sanierung von Gruben des Stein- und Braunkohlebergbaus**
- Sanierung von Standorten der Gießerei- und Stahlindustrie**
- Sanierung von Altlasten der Erzgewinnung und Verhüttung**

## **Strategie des Sanierens:**

- Erfassen
- Beurteilen
- Sanieren

## **Grundprinzipien der Sanierungsverfahren:**

- Einkapselungsverfahren (ingenieurtechnische Barrieren)
- Bodentausch
- Hydraulische Verfahren
- biologische Verfahren
- physikalische und physikalisch-chemische Behandlung



*Bedeutung des Urans bei Energiegewinnung und Waffenproduktion  
„Nuklearwaffen/Bomben“*

*U graues, glänzendes Metall, Dichte 18,685g/cm<sup>3</sup>, Gehalt-Erdkruste etwa 2g/t ,  
Uran (VI) mobil, Uran IV immobil),  
spaltbares U-235 0,7 % in natürlichem Uran, 10<sup>9</sup> Jahre Halbwertszeit,*

### **Beispiel: Sanierung von Gebieten des Uranerzbergbaus**

## **Sanierungsstrategie Uranerzbergbau I (Sachsen und Thüringen)**

- Uran im Gestein, Kohle, Sandstein
- Förderung von ca. 230.000 t Uran aus ca. 170 Mio t Erz
  - Tagebau
  - Grubensysteme (Schächte bis ca. 1800 m Tiefe)

### **Konsequenzen:**

- Toxizität als Schwermetall
- äußere Strahlenbelastung
- innere Strahlenbelastung über Nahrungspfad (**Biosysteme**)

# Sanierungsstrategie Uranerzbergbau II

## - Halden

- \* Abdeckungen
- \* Umlagerungen
- \* Fassung und Reinigung der Sickerwässer



## - Gruben

- \* Flutung der Gruben
- \* Wasserreinigung



## - Tailings (Schlammteiche)

- \* Wasserreinigung, Eintrocknung
- \* Abdeckung



*- Wasser und Luft als Transportmittel der Schadstoffe dabei beachten...*

## **„Neue“ Risiken beachten bei:**

Die Gewinnung von „Zukunftsmetallen“ wie Li, Nd, In u.a. bedingen neue Technologien der Aufbereitung z.B. neue Trennverfahren, feinere Aufmahlungen der Gesteine, Einsatz neuer Chemikalien...

Neue Technologien, wie „Fracking“ bedingen neue/andere Umweltbelastungen z.B. durch den Eintrag von speziellen Chemikalien.

# Rohstoffe für die Hightech-Welt I

## Indium

- Einsatz hauptsächlich als Indiumzinnoxid in Flachbildschirmen und Displays
- Vorkommen hauptsächlich in China, Japan, Kanada
- Wert/kg ca. 700 USD
- Bedarf wird sich schätzungsweise bis 2030 verdreifachen
- Recycling kaum wirtschaftlich aufgrund geringen Vorkommens in IT-Technik
- Möglicher Ersatz: Antimonzinnoxid, ist allerdings weniger transparent



EVONIK-Magazin 1/2010

## Lithium

- Einsatz hauptsächlich als Lithium-Ionen-Akku für Handys, Notebooks, Elektroautos usw.
- Vorkommen hauptsächlich in Chile, Bolivien
- Bedarf wird aufgrund der Knappheit nicht ewig gedeckt werden können
- Recycling derzeit nur in geringem Maße möglich, Anzahl recycelter Batterien steigt allerdings
- Möglicher Ersatz: Kalzium-, Magnesium- oder Zinkverbindungen



# Rohstoffe für die Hightech-Welt II

## Neodym

EVONIK-Magazin 1/2010



**Einsatzgebiete:** Neodym gehört zu den Seltenenerdmetallen. Die Industrie stellt aus Neodymverbindungen starke Permanentmagnete her, die in Hochleistungselektromotoren und Generatoren vorkommen.

**Vorkommen:** Neodym kommt nur in Verbindung mit anderen Metallen aus der gleichen Gruppe vor. Über 90 Prozent des Weltbedarfs stammen aus China, die jährliche Produktion wird auf 20.000 Tonnen geschätzt.

**Bedarf:** Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung geht davon aus, dass der Bedarf an Neodym im Jahre 2030 rund 3,8-mal höher sein wird als die aktuelle Produktionsmenge. 2003 wurden die weltweiten Reserven auf 8 Millionen Tonnen geschätzt.

**Recycling und Ersatzstoffe:** In Elektroautos kann man Neodym ersetzen, wenn statt eines Permanentmagneten zwei Spulen das Magnetfeld erzeugen.



# Umwelt-Chemie des Fracking

*Frac: Hydraulische Risserzeugung, Formationsbrechen*

Verfahren seit 1947 im Einsatz,  
z.B. auch Gasfeldern bei Cloppenburg, D  
Anwendung:  
Öl aus Schiefer, Gewinnung Butan, Propan

Einpumpen eines mit Sand versetzten wässrigen Gels

Bildung von Rissen (30 bis 100m Länge,  
2 cm Breite, entlang des horizontalen Bohrlochs

## **Frac-Flüssigkeiten:**

ca. 0,5 Gew.% Guar

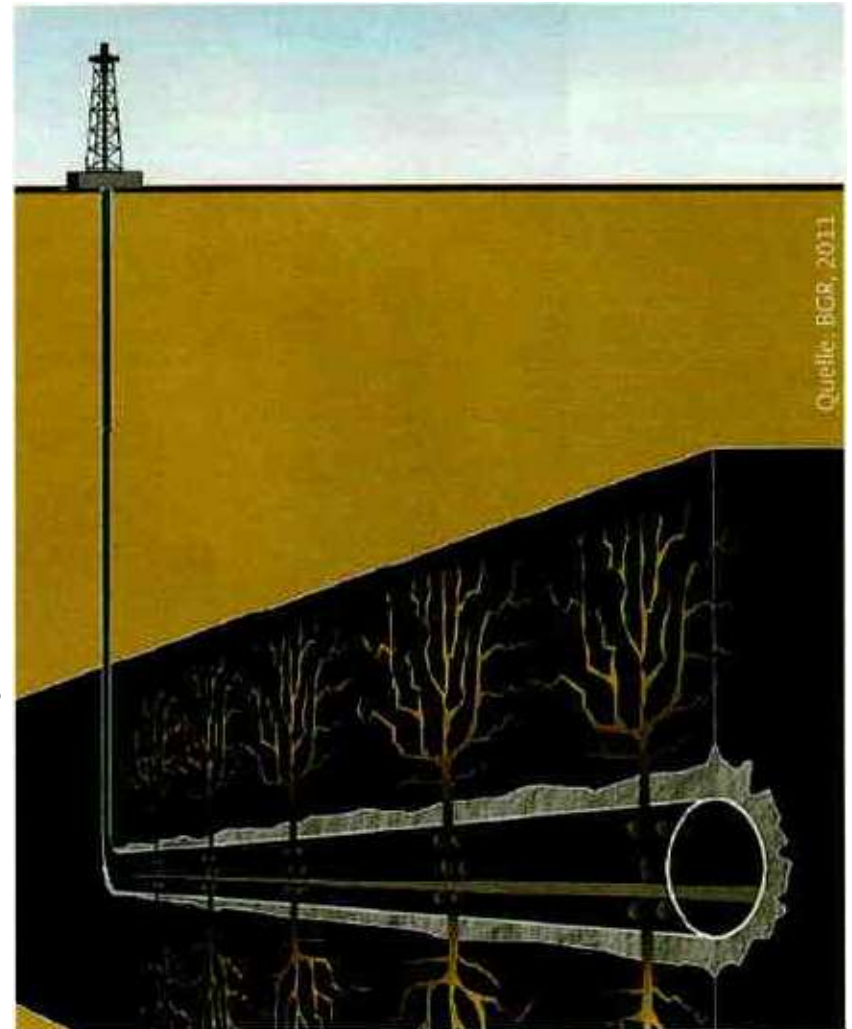
ca. 0.01 Gew.% Bohrverbindungen

Ca. 1500 m<sup>3</sup> Anmachwasser für Gel pro Operation,  
Bohrloch wird vielfach gefrackt, deshalb bis  
30.000 m<sup>3</sup> Wasser



***Eintrag von Chemikalien, Veränderung des Untergrundes  
Kontamination des Grundwassers***

durch Frac-Flüssigkeiten (B, Ti, Zr), Methan z.B.

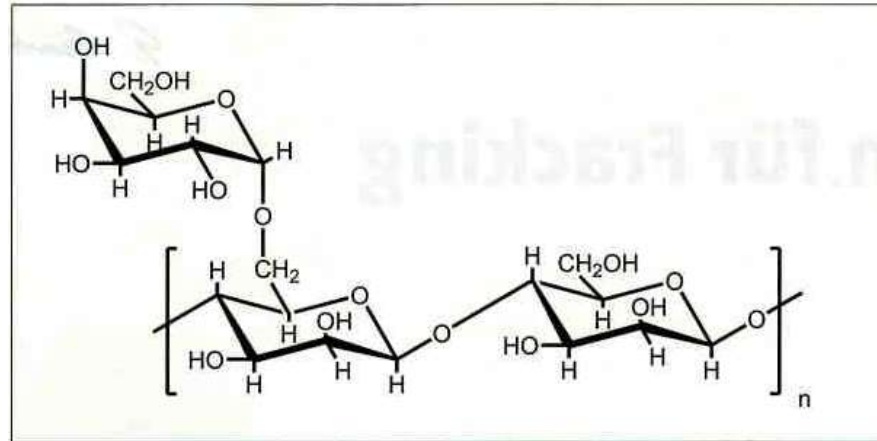


J.Plank et al. Nachrichten aus der Chemie 62, 6, (2014)



**Guar-Pflanze/Guar-Bohne**  
*Cyamopsis tetragonoloba*

## Polymergele

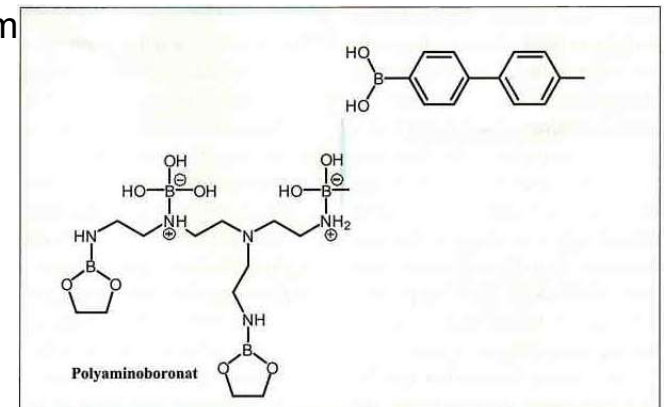


Mahlen der Samenkörner,  
 (Galaktomannan:  $\beta$ -1,4-glykosidisch verknüpften Mannose-Einheiten, an jeden zweiten Mannose-Ring hängt eine  $\alpha$ -1,6-verknüpfte Galaktose-Einheit)

Guar ähnlich wie Stärke, Zulassung als Lebensmittelzusatzstoff

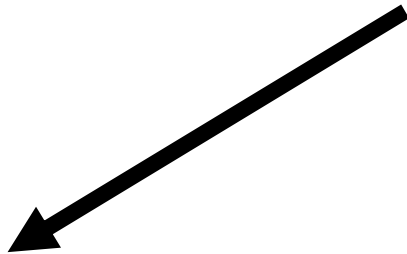
- Vernetzbar mit Borsäure
- stabil bis 110°C, Tiefe ca. 3000m

Bei höheren Temperaturen  
 Einsatz von Ti und Zr Komplexen,  
 und z.B. Acrylamid-Copolymeren



## Konsequenzen:

### Gewinnung von Rohstoffen



### Ökologie:

- Produktionstechnologie
- Entsorgung von Reststoffen, Abfällen... Recycling
- Sanierung der ehemaligen Förderstätten
- Nachhaltigkeit