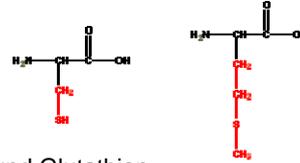


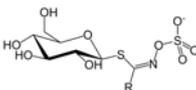
Rolle des S im Pflanzen- und Mikroben- Wachstum

- Synthese S-haltiger Aminosäuren:
Cystein und Methionin, (Cystin = Disulfid)



- Aufbau anderer Metabolite, CoA, Biotin, Thiamine und Glutathion.
Hauptfunktion: Disulfidbindungen zw. Polypeptiden.

- Bestandteil anderer S-haltiger Substanzen, einschließlich S-Adenosylmethionin, Formylmethionin, Lipidsäure und Sulfolipiden.

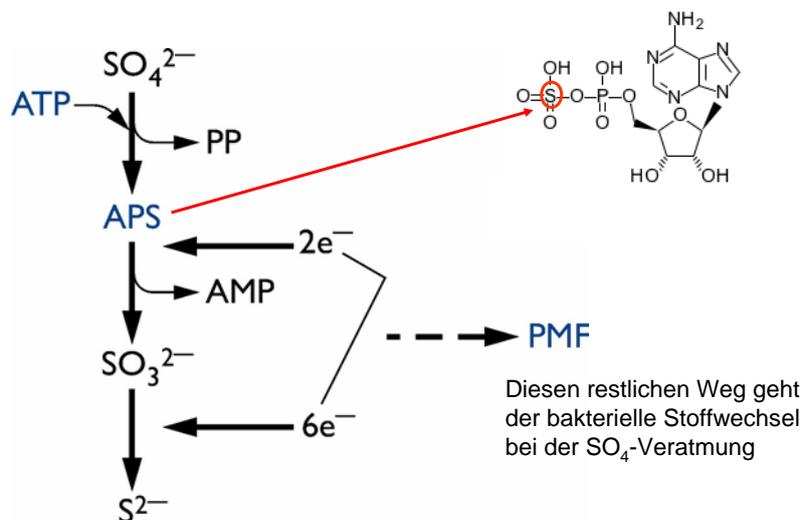
- Ferredoxin; Glucosinolate: 

- Schwefel-Assimilation in der Pflanze *via* ATP → APS.

- Sulfate können die Photosynthese entkoppeln

S Assimilation **Folie vorgezogen**

- Schwefel-Assimilation in der Pflanze:



Herkunft des Schwefels in der Atmosphäre

- **Vulkantätigkeit**

- Jahresdurchschnitt $12-30 \times 10^{12}$ g S
- Z.B. Tambora (Indonesien)
 - 1815 - 1816
 - 50×10^{12} g S



- **Bodenstaub**

- **Biogene Gase**

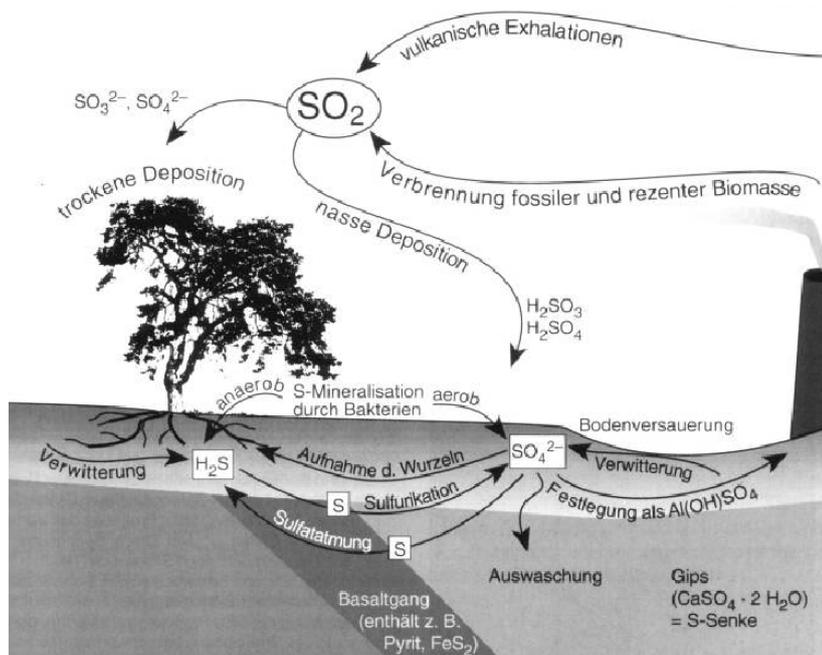
- H_2S , Dimethylsulfid $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, Carbonylsulfid COS

- **Anthropogene Emissionen**

- Bergbau
- Industrie-Abgase



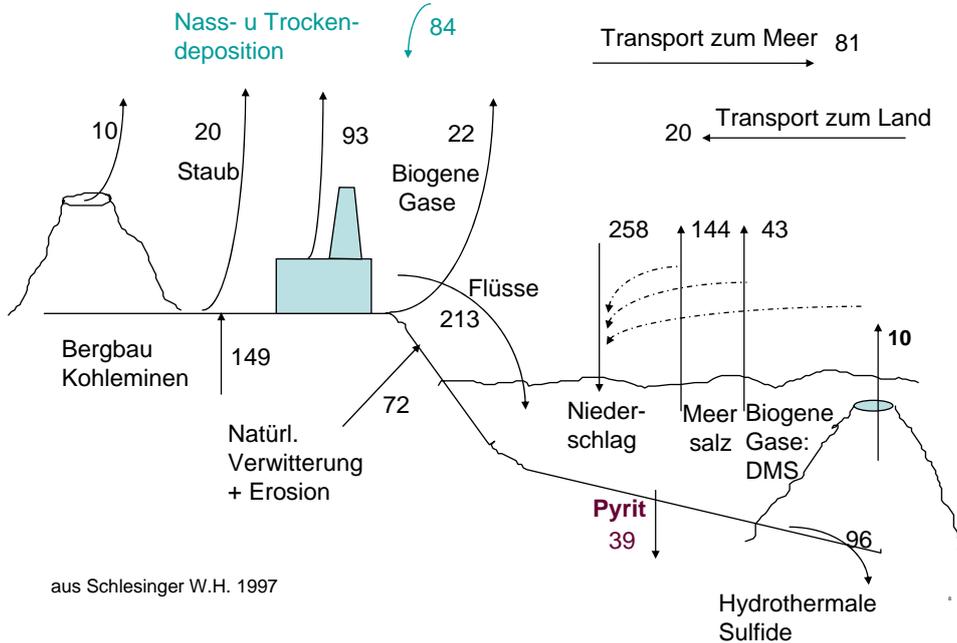
Terrestrischer S Kreislauf



■ Hintermaier-Erhard & Zech 1997

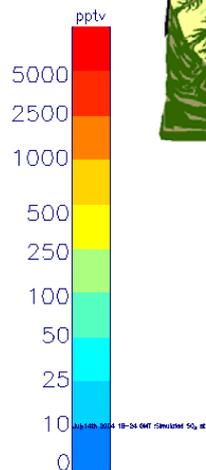
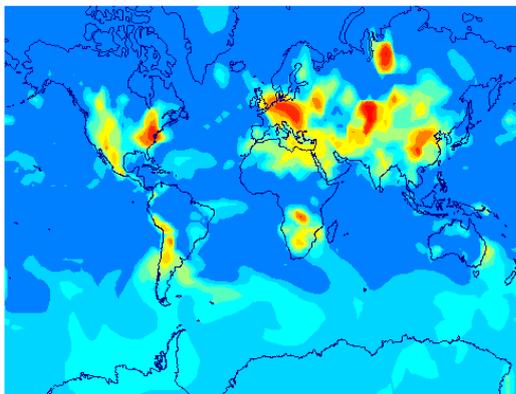
Globaler S Zyklus

Alle Werte in 10^{12} g S/ Jahr



Niederschlag des sauren Regens

- In den letzten 200 Jahren haben anthropogene Einflüsse den SO_2 Gehalt der Atmosphäre verdreifacht
- Angaben in **pptv**: parts per trillion by volume



Produced by D. Spracklen and K. Pringle with the GLOMAP model at Leeds

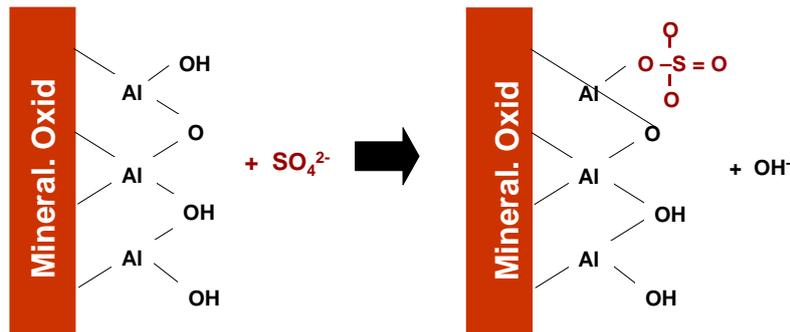
Turco 1997

www.env.leeds.ac.uk/~kirstv/ITOP/sen_RF15GW5.html

Adsorption von S im Boden

- **Sulfatschwefel: SO_4^{2-} Anion**

- → Gefahr der Auswaschung, jedoch nicht so hoch wie NO_3^-
- **Sorption an Oxide und Kaolinit, ähnlich wie P** jedoch nicht so stark.
 - V.a. im Unterboden
 - bei geringem pH und Anwesenheit von Oxiden
 - Wettbewerb mit P



S -Aufnahme als Sulfat: SO_4^{2-}

- **Mineralisierung der organ. Masse wichtig für ausreichende S Ernährung der Pflanzen:**
 - Mineralisierung des S geht einher mit Mineralisierung des N:
 - C : N : S Verhältnis = 125 : 10 : 1.2
 - Ähnlich wie bei N:
 - bei hohen C:S Verhältnis kann Immobilisierung auftreten
 - z.B.: bei Strohdüngung:



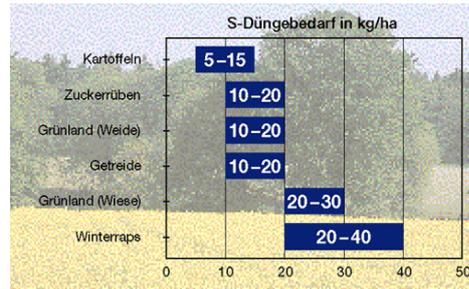
- **Pflanzenbedarf:**
 - Getreide 5 - 20 kg/ ha
 - Futterpflanzen 10 - 30 kg/ ha
- **Zur gezielten Abdeckung des S-Bedarfs:**
 - sollte der Dünger ein N:S-Verhältnis von ca. 4:1 - 6:1 aufweisen
 - → optimale Schwefelmenge (Rhizosphäre)

Schwefel-Management

- **Schwefel-Mangel in Mitteleuropa eher selten**
 - S-Mangel in grobporigen Böden mit geringem Anteil an org. Masse (Sande)
 - S in saurem Regen
 - S durch Düngung

- **Dünger S**

- Elementarer S 85 - 100% S
- AmmoniumSulfat 24% S
- AmmoniumThiosulfat 26% S
- K_2SO_4 18% S
- Gips 19 % S
- Wirtschaftsdünger enthält ca. 1 kg S / t
- Schwefel-Ausbringung als Bodendünger oder Blattdünger: $MgSO_4$ (Bittersalz)
- **Gängige Dünger:**
 - 24 % N + 6 % S
 - 24 % N + 8 % MgO + 6 % S
 - NPK 20 + 7 + 10 (+ 2 MgO + 4 S)

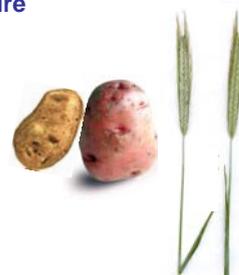


- **Aride Regionen:**

- oft viel S im Bewässerungswasser
- S oft genügend im Staub, um Pflanzen ausreichend zu ernähren.

Ansäuerung mit Schwefel

- **Handhabung ähnlich wie bei Kalkung**
 - Benötigt mikrobielle Oxidation
 - → benötigt Zeit
 - Abhängig von Partikelgröße
 - Breite Ausbringung und Mischung für bessere Ergebnisse
- **Elementarer S oxidiert durch *Thiobacillus* zu Schwefelsäure**
 - $S + 3/2 O_2 + H_2O \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$
 - Genutzt zur Ansäuerung von Böden
 - Absenken des pH für säureliebende Fruchtarten:
 - Kartoffel
 - Roggen
 - viele Zierpflanzen
- **Ansäuerung mit Al- oder Fe-Sulfat:**
 - $Al_2(SO_4)_3 + 6 H_2O \rightarrow 2 Al(OH)_3 + 6 H^+ + 3 SO_4^{2-}$
 - $Fe_2(SO_4)_3 + 6 H_2O \rightarrow 2 Fe(OH)_3 + 6 H^+ + 3 SO_4^{2-}$



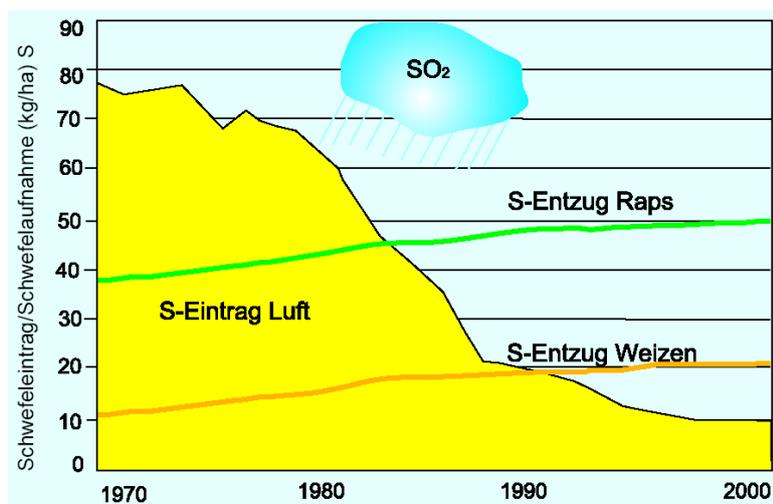
Mit S-Mangel ist zu rechnen bei..

- sandigen und flachgründigen Böden
- niedrigen Humusgehalten
- hohen Niederschlägen über Herbst und Winter
- hohem Ertragsniveau
- S -zehrenden Fruchtfolgen mit
 - Raps
 - Rübsen oder
 - Kohl
- langjähriger Unterlassung der S-Zufuhr mit Düngemitteln.



S-Mangel Raps:
Hellgelbe – Weiße Blüten

SO₂ Eintrag



- Umweltbundesamt BRD, alte Länder

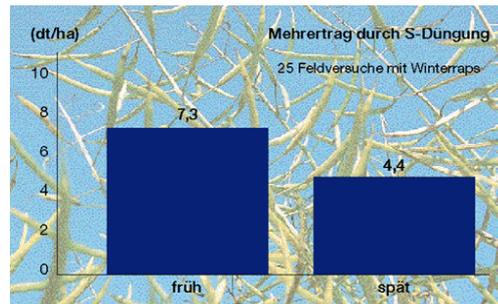
S: Dünge-Zeitpunkt

- **S-Bedarf**
- Die Pflanze kann Schwefel über die Wurzel nur als Sulfat (SO_4^{2-}) aufnehmen.
- SO_4^{2-} kann jedoch wie NO_3^- ausgewaschen werden
- → Vorratsdüngung im Herbst nicht möglich
- → Frühjahrsdüngung nötig:



- V. a. nach nassen Wintern:
S-Düngung gleich in der 1. Gabe:
Stellt Überbrückung der
S-Versorgung sicher

- S-Düngung erst
zur 2. Gabe zu spät

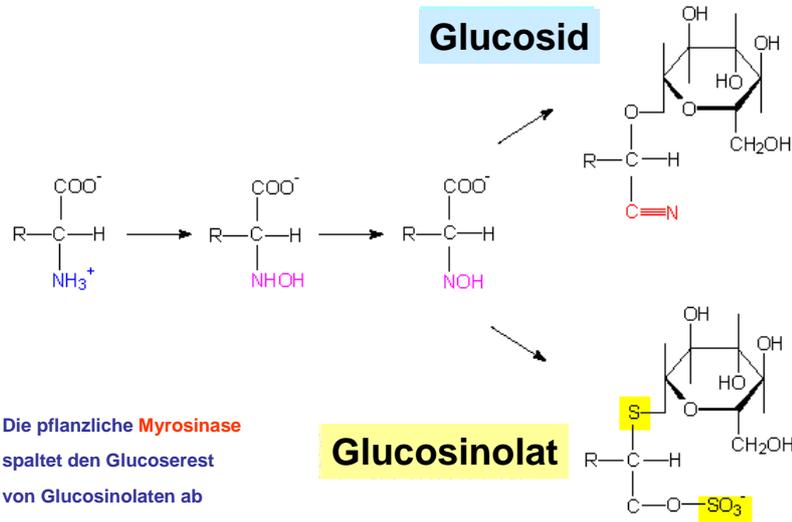


S Formen im pflanzlichen Stoffwechsel

Form of Sulfur	General Structure	Example	Structure
Thiols	RSH	cysteine (others- coenzyme A, reduced glutathione, protein thiols)	
Disulfide	RSSR	cystine (others- oxidized glutathione, protein disulfides)	
Thioethers	R ₁ SR ₂	methionine (others- biotin, thiamine pyrophosphate)	
Sulfoxides	R ₁ SOR ₂	methionine sulfoxide (others- allicin the onion flavor compound)	
Methylsulfonium	(H ₃ C) ⁺ S ⁻ (R) ₂	S-adenosylmethionine (others- dimethyl-sulfoniopropionate, S-methylmethionine)	
Sulfate Esters	R-O-SO ₃ ⁻	choline-O-sulfate (others- sulfated brassinosteroids)	
Sulfamates	R=N-O-SO ₃ ⁻	glucosinolate- flavor compound of Brassica	
Sulfonic Acids	R-C(=O)-SO ₃ ⁻	cysteic acid (others- sulfoquinovosyl diacylglycerol)	

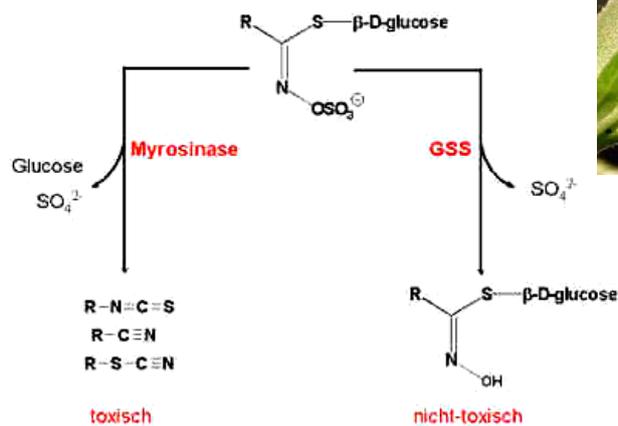
Glucosinolat-Synthese

- Biosynthese aus Aminosäuren:
 - cyanogene Glucoside
 - und Glucosinolate:



- Die pflanzliche **Myrosinase** spaltet den Glucoserest von Glucosinolaten ab
 - → diese zerfallen in toxische Abbauprodukte.

Glucosinolate



- 1. Die **Myrosinase** spaltet den Glucoserest von Glucosinolaten ab,
 - und diese zerfallen in toxische Abbauprodukte (links).
- 1. Kohlmotten besitzen eine **Glucosinolat-Sulfatase (GSS)**
 - Diese modifizieren die pflanzlichen Glucosinolate
 - → keine toxischen Abbauprodukte (rechts)