

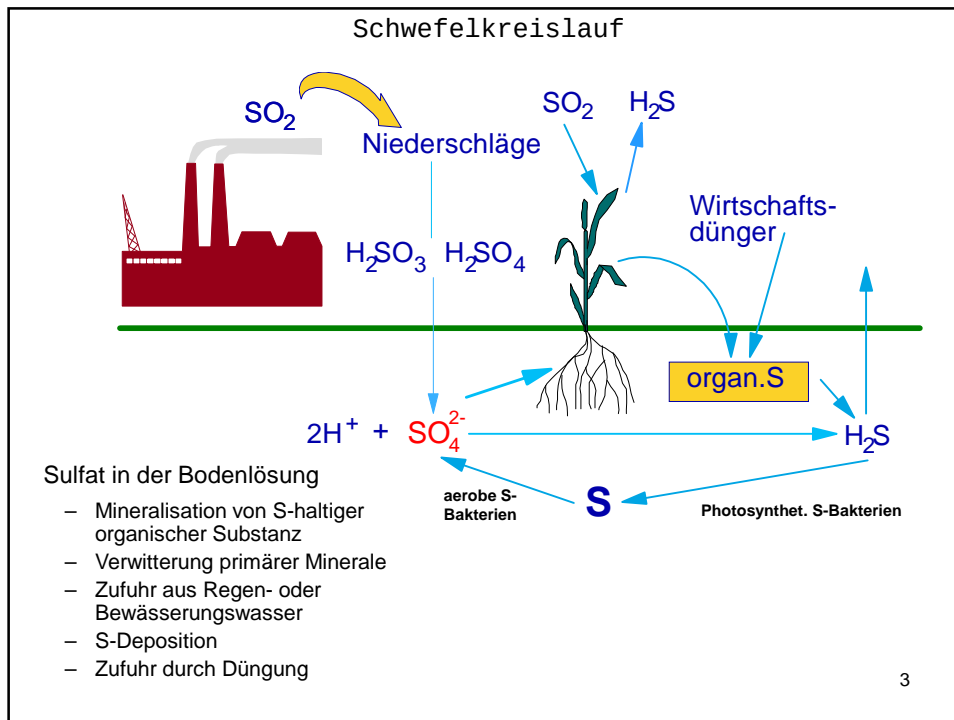
Schwefel als Pflanzennährstoff S-Düngung

Dr. Friedhelm Fritsch, DLR R-N-H, Abt. Landwirtschaft, Bad Kreuznach

Schwefel im Boden

Schwefel kommt im Boden in geringeren Mengen als N vor. Nur ein sehr kleiner Teil davon (< 5 %) ist wasserlöslich.

- Der unlösliche Teil ist vor allem organisch gebunden.
- organisch gebundener Schwefel
 - Erntereste (S-haltige Aminosäuren (Methionin, Cystein) u. a. Pflanzenstoffe)
 - in organischen Böden hohe S-Reserven
 - **Mineralisation** zu Sulfat
- Mineralischer Schwefel: als metallisches Sulfid (z.B. FeS) unter ariden Bedingungen angereichert:
 - Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), Bittersalz: ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), FeS, ZnS ...
 - durch **Verwitterung** → Sulfatbildung
 - Sulfat-Ionen in der Bodenlösung
 - Sulfat (pflanzenaufnehmbare Fraktion) im Boden sehr mobil → **auswaschungsgefährdet**
- adsorbiertes Sulfat
 - nur unspezifische Sorption → unbedeutend



Früher: Schwefelzufuhr aus der Luft

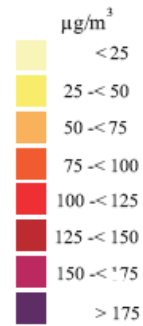
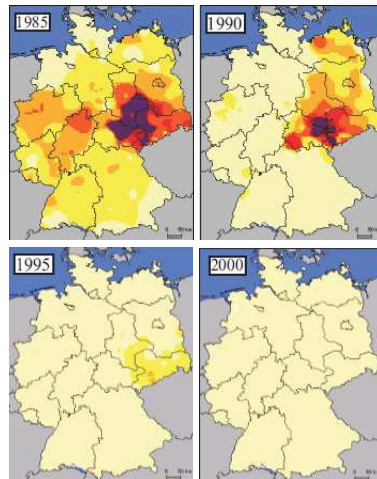
S-Bedarf:

Getreide	10 bis 20 kg S/ha
Raps	20 bis 50 kg S/ha

Der **Eintrag von Schwefel aus der Atmosphäre** (mit saurem Regen) ist stark zurückgegangen (< 10 kg S/ha und Jahr)
 bis in die 1980er Jahre: 50 und mehr kg S ha⁻¹ a⁻¹
 (bes. in Ballungsräumen, Industriegebieten)
Schwefelmangel war früher selten und ist heute verbreitet.

4

SO₂-Emissionen in Deutschland



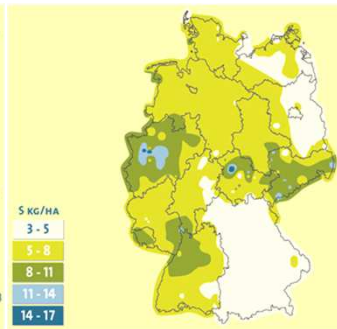
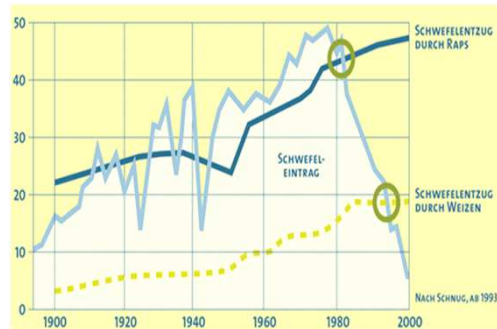
Reduktion der SO₂ Emissionen von 1,6 Mio t/Jahr (1982) auf 0,12 Mio t/Jahr (2004)

5

Schwefeleinträge (kg S/ha) in Deutschland

Entwicklung

Aktueller Status



Der Schwefelzug der wichtigen landwirtschaftlichen Kulturen übersteigt heute bei weitem den Eintrag aus der Atmosphäre

Durchschnittlich kommen nur noch ca. 6 kg S/ha aus der Luft

Daten der Landesumweltämter, 2000

6

Quelle: fertiva

Aufnahme und Funktionen des Schwefels

- SO_4^{--} -Aufnahme über die Wurzeln
- SO_2 (gasförmig über die Stomata) wirkt ab ca. $1,5 \text{ mg/m}^3$ toxisch

Die **Assimilation** des Schwefels erfolgt durch Reduktion und Einbau in S-haltige Aminosäuren (nur Pflanzen und Prokaryonten sind dazu in der Lage).

Baustein in:

- S-haltigen **Aminosäuren** (Methionin und Cystein)
- Enzymen (Nitrogenase, Nitratreduktase) und Co-Enzymen
- Lauchöle und Senföle (Glukosinolate)

7

S-Mangel

- geringerer Chlorophyllgehalt (Aufhellung der (jüngeren) Blätter)
- verminderte Photosynthese
- geringere Proteingehalte, höhere Nitratgehalte
- schlechterer Geschmack (Allium-Spezies)
- verminderte Backqualität von Getreide

8

Stabilisierung der Proteinstruktur

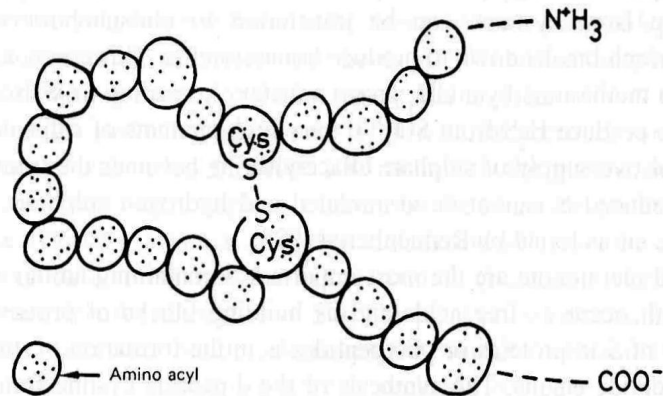


Figure 8.4 S-S bridge of a polypeptide chain.

9

Mengel und Kirkby 2001

Einfluss der Schwefel - Düngung von Winterweizen auf die Beschaffenheit von Brötchen

Ohne S-Düngung

Düngung mit ASS



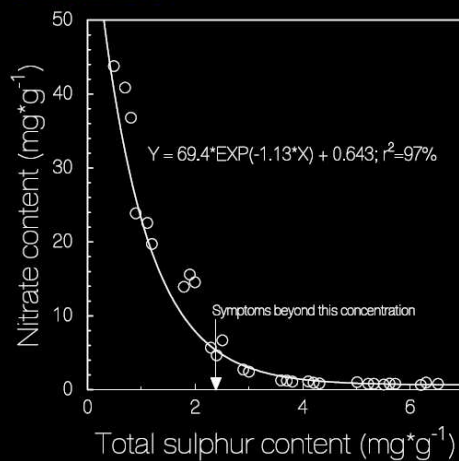
zu starke Bräunung
zu geringe Krumenelastizität
bitterer Nebengeschmack
geringes Backvolumen

normale Bräunung
gute Krumenelastizität
einwandfreier Geschmack
gutes Backvolumen

Quelle: fertiva

10

Nitratgehalt von Gemüse



Nitratgehalt und Gesamtschwefelgehalt von Salatblättern (Schnug, 1990)

Dr. Hans Marten Paulsen, Institut für ökologischen Landbau, FAL, Trenthorst; <http://oel.fal.de>

Schwefelmangel



S-Mangel ähnelt dem N-Mangel (Synthese der Nitratreduktase wird bei S-Mangel sofort unterbrochen).

S-Mangelpflanzen haben einen starren, spröden Habitus.

Im Unterschied zum N-Mangel äußert sich S-Mangel als erstes an den **jüngsten** Blättern.

Schwefelmangelsymptome



STICKSTOFF. SCHWEFEL. STARK.



Raps: Blütenfarbe fahl, Schotenansatz schlecht, Blätter marmoriert und löffelförmig verformt



Zuckerrübe: zunehmende Aufhellung, Blätter löffelförmig verformt

Getreide:

Schwefelmangel



Bei Schwefelmangel bilden sich die jüngsten Blätter gelb aus. Ältere Blätter bleiben grün.

Stickstoffmangel



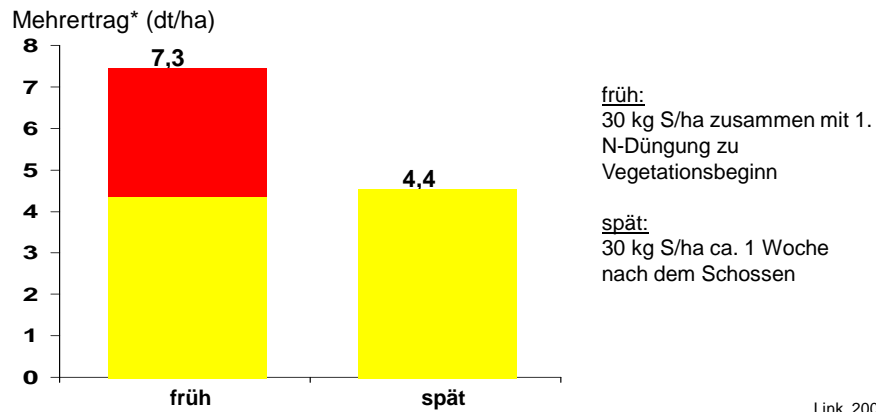
Bei Stickstoffmangel vergilbt die gesamte Pflanze von unten. Jüngere Blätter zeigen Grünfärbung, während die älteren vergilben.

fertiva

Knappe S-Versorgung im Frühjahr: Die Mineralisation des Schwefels setzt später ein als die des Stickstoffs

- leichte, humusarme, flachgründige Böden
- strukturgeschädigte Böden
- hohe Niederschlagsmengen während der Wintermonate
- Frühjahrstrockenheit
- niedrige Temperaturen
- Düngungssysteme ohne Zufuhr organischer Düngemittel
- industriieferne Standorte

Einfluss des Termins der S-Düngung auf den erzielten Mehrertrag gegenüber der ungedüngten Variante
(Mittel aus 25 Feldversuchen mit Winterraps, 1992 – 1995)



Link, 2001
15

Tabelle 2: Empfohlene S-Düngemenge und Düngezeitpunkt (Bodendüngung)

Fruchtart	Düngemenge in kg S/ha	Düngezeitpunkt
Getreide	10-20	Vegetationsbeginn bis 1-Knotenstadium
Winterraps	20-40	Vegetationsbeginn ¹⁾
Zuckerrübe	10-20	Zur Saat bis 8-Blatt-Stadium
Kartoffel	10-20	Zur Pflanzung bis vor dem letzten Häufeln
Mais	10-20	Zur Saat bis 6-Blatt-Stadium
Grünland	20-40	Vegetationsbeginn
Kohl	30-50	Zur Pflanzung
sonstiges Gemüse	20-40	Zur Saat bzw. zur Pflanzung

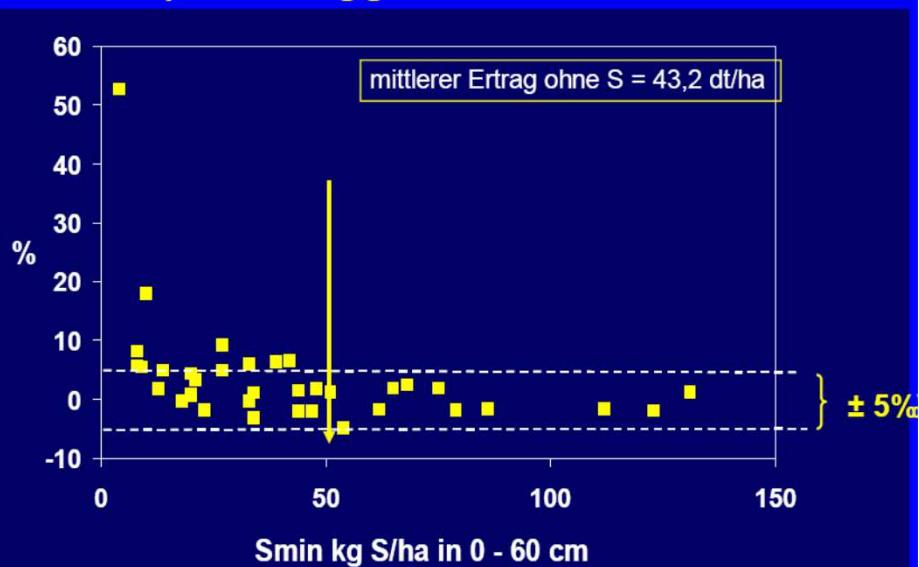
¹⁾ evtl. Teilgabe im Herbst

Ermittlung des S-Düngerbedarfs

- S_{\min} -Methode (vergleichbar mit N_{\min} -Methode)
- Pflanzenanalyse (Ergebnis für aktuelle Düngung zu spät)
- S-Schätzrahmen (ohne Analyse)

17

Wirkung der S-Düngung auf den Saatertrag von Winterraps in Abhängigkeit vom S_{\min} -Gehalt in 0 – 60 cm



Zorn u. Heß, TLL, 2004

**Tiefenabhängige Richtwerte für S_{\min} -Gehalte in
Thüringer Böden**
(Berücksichtigung des Steingehaltes)

Kultur	S_{\min} -Gehalt (kg S/ha)	
	0 – 60 cm	0 – 90 cm
Winterraps	50	60
Winterweizen u. -gerste	40	50

Zorn u. Heß, TLL, 2004

Tabelle 1: Richtwerte für ausreichende S-Gehalte in ausgewählten Kulturpflanzen sowie Probenahmeterminen und zu beprobendes Pflanzenteil

Pflanzenart	Probenahmetermin	Pflanzenteil	Richtwerte für ausreichende S-Gehalte der TS in %
Winterraps	Kurz vor Knospenstadium	Gerade voll entwickelte Blätter	> 0,55
Wintergetreide	Schossbeginn/ 1-Knotenstadium	Gesamte oberirdische Pflanze	> 0,30 (vorläufig)
Zuckerrübe	Bestandesschluss	Blattspreiten aus mittlerem Blattkranz	> 0,30 (vorläufig)
Grünland	Vor dem ersten Schnitt	Gesamter Aufwuchs	> 0,30 (vorläufig)

Unterhalb der in Tabelle 1 angegebenen Werte ist mit einem beginnenden S-Mangel zu rechnen und daher eine S-Düngung zu empfehlen.

Eine weitere Entscheidungshilfe kann das Verhältnis des Gehaltes von N zu dem von S in der Pflanze sein. Ersten Angaben zufolge sollte bei Grünland ein N/S-Verhältnis von 15:1 nicht überschritten werden.

VDLUFA, 2000

Schwefel-Schätzrahmen Ackerbau			Schwefel-Schätzrahmen Grünland		
Merkmale	Bewertung mit Punktzahlen	Punktzahl	Merkmale	Bewertung mit Punktzahlen	Punktzahl
Standortigenschaften			Standortigenschaften		
Bodenart	säureliger Boden, Schotterboden ¹⁾	1	Bodenart	Sand ¹⁾ , Schotter	1
	lehmgiger Boden ²⁾	3		Lehm ²⁾	4
	toniger Boden ³⁾	5		Ton ³⁾ , Moorboden	7
	arm, < 2% Humus	2		unter 5 Jahre	1
	mittel, > 2-4% Humus	3		über 5 Jahre	3
	reich, > 4% Humus	4		unterdurchschnittlich	1
				normal	3
				überdurchschnittlich	5
Humusgehalt			N ₂₀ -Situation auf Ackerflächen laut Mitteilung der amtlichen Beratung		
Verfügbare Wurzelraum (Krume + durchwurzelter Kaum)	flachgründig	2	S-Mangel bereits erkannt/in landwirtschaftlichen Kulturen der Region bereits aufgetreten	Ja	1
	tiefgründig	4	Nein	3	
Strukturschäden (Verschlammung, Bodenverdichtung, Pflugschläge)	vorhanden	1	Witterung		
	stufenweise vorhanden	3	Jahresniederschläge im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	hoch	1
	nicht vorhanden	4		normal	3
N ₂₀ -Gehalt zu Vegetationsbeginn im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	unterdurchschnittlich	1		niedrig	5
	durchschnittlich	3	Bewirtschaftung		
	überdurchschnittlich	5	Bestandeszusammensetzung	Grünreisch	2
Witterung				Erbsenreisch	3
Niederschläge (Oktober-März) im Vergleich zum langjährigen Mittelwert	überdurchschnittlich	1		Portulakweide, intensive Unkrautweide, Schnittmäzung, 3-4 Schnitte	1
	durchschnittlich	3		Unkrautweide, Schnittmäzung, 1-2 Schnitte	3
	unterdurchschnittlich	5		Standweide	5
Bewirtschaftung			Nutzung	hoch	1
Schwefelhaltende Kulturen in der Fruchtfolge (Raps, Kohlrarten, Leguminosen)	Anbau jedes 3. Jahr	2		mittel	3
	Anbau jedes 4. Jahr	3		niedrig	5
	Anbau jedes 5. Jahr	4	Ertragsniveau Grünland		
	Raps, Kohl, Leguminosen	1		< 1 GV/ha	1
	Andere Kulturen	3		1-2 GV/ha	2
	Ja	1		> 2 GV/ha	3
	Nein oder unbekannt	3		Nein	1
Schwefelmangel bereits aufgetreten (Ertragsverluste, Blattanalysen, Mangelsymptome)	hoch	1		Ja	3
	mittel	2	In den letzten 3 Jahren Einsatz nennenswerter Schwefelmengen aus Mineraldüngern (z. B. aus Nitrophoska* 13+9+16(+4+7), 20+8+8(+3+4), Kalnit)		
	niedrig	4	Nein		
Raps	> 40	1	Ja		
	30-40	2	13-18 Punkte: Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel hoch, Düngung mit aus notwendig		
	< 30	3	19-28 Punkte: Bestände (besonders Raps) genau beobachten, Düngung mit aus empfehlenswert		
Getreide	> 75	1	29-42 Punkte: Schwefelmangel zur Zeit nicht zu erwarten		
	50-75	2	Summe		
	< 50	4			
Düngung					
Einsatz organischer Dünger aus Tierhaltung (keine Gründüngung)	0 GV/ha	1			
	< 1,5 GV/ha	2			
	> 1,5 GV/ha	3			
In den letzten 3 Jahren Einsatz nennenswerter Schwefelmengen aus Mineraldüngern (z. B. aus Nitrophoska* 13+9+16(+4+7), 20+8+8(+3+4), Kaliumulfat)	Nein	1			
	Ja	3			
16-29 Punkte: Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel hoch, Düngung mit aus notwendig					
30-37 Punkte: Bestände (besonders Raps) genau beobachten, Düngung mit aus empfehlenswert					
38-47 Punkte: Schwefelmangel zur Zeit nicht zu erwarten					

nitro₆

nitrogen

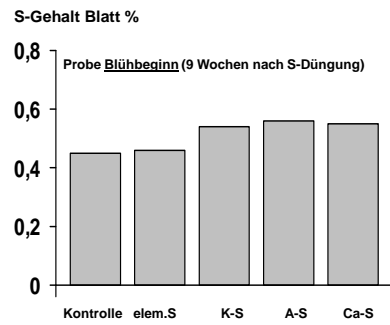
S-haltige Düngemittel			
Produkt	S-Gehalt [%]	Bindungsform	sonstige Nährstoffe
Schwefelsaures Ammoniak (ssa)	24	(NH ₄) ₂ SO ₄	21 % N
Ammonsulfatsalpeter (ASS)	13	(NH ₄) ₂ SO ₄	26 % N
KAS plus S ¹	6	CaSO ₄	24 % N
Kornkali	4	MgSO ₄	40 % K ₂ O, 3 % Na, 6 % MgO
Kaliumsulfat	18	K ₂ SO ₄	50 % K ₂ O
Patentkali	17	MgSO ₄	30 % K ₂ O
Superphosphat	11	CaSO ₄	18 % P ₂ O ₅
Kieserit	22	MgSO ₄	27 % MgO
Bittersalz	13	MgSO ₄	16 % MgO
Gips	18	CaSO ₄	22 % Ca
Elementarer Schwefel	90	S	

Große Unterschiede bei den Kosten pro kg S

Elementarer S dient nicht nur der S-Versorgung, sondern auch der Bodenversauerung.
Gips (CaSO₄) wird auf alkalischen Böden statt Kalken mit CaCO₃ verwendet.

Wirkung verschiedener Sulfatformen auf den S-Gehalt von Winterraps

(Blattproben Schossen und Blühbeginn, Mittel aus 5 Feldversuchen)



K-S = Kaliumsulfat, A-S = Ammoniumsulfat, Ca-S = Calciumsulfat

Link, 2001

23



Schwefelwirkung verschiedener organischer Dünger im Anwendungsjahr (kurzfristige Wirkung)



Gutser, LK Niedersachsen, 25.01.2008