

---

# Standpunkt

---

## Schwefelversorgung von Kulturpflanzen - Bedarfsprognose und Düngung -

zuständige Fachgruppen:

- I Bodenkunde, Pflanzenernährung und Düngung
- II Bodenuntersuchung
- X Bodenfruchtbarkeit und Agrarökologie

Bearbeiter:

Dr. H.-J Koch, Göttingen  
Dr. G. Baumgärtel, Hannover  
Prof. Dr. N. Claassen, Göttingen  
U. Hege, Freising  
Dr. J. Heyn, Kassel  
Dr. A. Link, Dülmen  
Dr. K. Orlovius, Kassel  
Dr. G. Pasda, Limburgerhof  
Dr. L. Suntheim, Leipzig

Darmstadt, 20. Dezember 2000

## Impressum

Standpunkt des VDLUFA, 20. Dezember 2000

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA)  
Bismarckstr. 41 A, 64293 Darmstadt  
Telefon: 0 61 51-9 55 84-0, Fax: 0 61 51-29 33 70  
E-Mail: info@VDLUFA.de  
Homepage: <http://www.vdlufa.de>

Präsident: Prof. Dr. G. Breitschuh

Redaktionelle Bearbeitung: Dr. H.-J Koch, Göttingen

Stellungnahme: Prof. Dr. Alt, Bohmte; Dr. Th. Appel, IGZ Großbeeren; Dr. E. Bihler, LWG Veitshöchheim; Dr. R. Bischoff, LUFA Speyer; Dr. P. Boysen, LUFA Kiel; Dr. Ch. von Braunschweig, Kali & Salz Kassel; Prof. Dr. G. Breitschuh, TLL Jena; Dr. B. Deller, LUFA Karlsruhe; Dr. T. Diez, LBP Seehausen; Dr. T. Ebertseder, BASF Limburgerhof; Dr. F. Fürstenfeld, BGD Ochsenfurt; Dr. R. Gutser, TU München-Freising; Prof. Dr. H. Hanus, Univ. Kiel; Prof. Dr. Charlotte Hecht-Buchholz, HU Berlin; Dr. L. Herold, TLL Jena; Prof. Dr. G. Hoffmann, Freising; Dr. F. Holz, LUFA Halle/S.; Prof. Dr. W.J. Horst, Univ. Hannover; Dr. K. Isermann, BNLA Hanhofen; Dr. E. Janßen, LUFA Kassel; Dr. E. Kape, LUFA Rostock; Dr. M. Kerschberger, TLL Jena; Dr. R. Kluge, LUFA Karlsruhe; S. Kohlmüller, LFL Potsdam; Dr. J. Královec, Landw. Zentralinstitut Brno; Dr. K.-F. Kummer, BASF Limburgerhof; Prof. Dr. M.G. Lindhauer, BAGKF Detmold; Dr. F.X. Maidl, TU München-Freising; Prof. Dr. W. Merbach, LUFA Halle/S.; Dr. H. Munk, Heiligenhaus; Dr. M. Munzert, LBP Freising; Dr. L. Nätscher, HVA Freising; Herr Neubert, LUFA Leipzig; Dr. H.-W. Olf, Hydro Agri Dülmen; Prof. Dr. J.C.G. Ottow, Univ. Giessen; Prof. Dr. H. Peschke, HU Berlin; Dipl.-Ing. agr. J. Pollehn, Düngekalk-Hauptgemeinschaft Köln; Dr. D. Pradt, IVA Frankfurt/M.; Dr. M. Rex, Versuchsanstalt Kamperhof, Mühlheim; Prof. Dr. W. Römer, Univ. Göttingen; Dr. M. Roschke, LUFA Potsdam; Prof. Dr. B. Scheffer, NLFB Bremen; Dr. Schwarich, FH Erfurt; Dr. K. Seibert, LUFA Speyer; Dr. K. Severin, LK Hannover; Dr. W. Übelhör, LUFA Karlsruhe; Dr. E. Viehausen, Thomasdünger Düsseldorf; Dr. W. Zerulla, BASF Limburgerhof

Endredaktion: Dr. H.-G. Brod  
Gesamtherstellung: VDLUFA, Selbstverlag

Die Standpunkte des VDLUFA sind urheberrechtlich geschützt.

## Schwefelversorgung von Kulturpflanzen Bedarfsprognose und Düngung

### 1 Schwefel im System Boden - Pflanze

Seit den 80er Jahren wird bei landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen immer häufiger Mangel am Nährstoff Schwefel (S) beobachtet. Dies ist auf einen geringeren Einsatz von S-haltigen Düngemitteln wie Superphosphat und Novaphos, aber vor allem darauf zurückzuführen, dass in den letzten 20 Jahren durch die Rauchgasentschwefelung in Kraftwerken die S-Emission auf ein Viertel reduziert wurde und die jährliche S-Deposition auf landwirtschaftliche Flächen heute nur noch bis zu 20 kg/ha beträgt. Im Bundesdurchschnitt liegt dieser Wert bei ca. 10 kg S/ha/a. Niedrige S-Depositionen findet man vor allem auf industriefernen Standorten. Dieser S-Eintrag aus der Luft ist oft geringer als der S-Bedarf der Kulturen, der z.B. 50 bis 80 kg/ha bei Raps und Kohl, 35 bis 50 kg/ha bei Grünland und 25 bis 40 kg/ha bei Getreide und Zuckerrübe beträgt.

Neben der S-Deposition sind der Boden sowie organische und mineralische Düngemittel S-Quellen für die Pflanze. Der Boden enthält in der von Pflanzen durchwurzelbaren Tiefe bis zu mehreren tausend kg Gesamt-S/ha, der jedoch zum größten Teil organisch gebunden vorliegt und erst nach einer Mineralisation zu Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) von der Pflanze aufgenommen werden kann. Sulfat wird im Boden nicht oder nur schwach gebunden und unterliegt daher vor allem über die Wintermonate leicht der Auswaschung. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass für  $\text{SO}_4^{2-}$ -S ein Trinkwassergrenzwert besteht, der aber bei guter fachlicher Praxis nicht erreicht wird. Die fehlende Sorption von  $\text{SO}_4^{2-}$  hat zur Folge, dass es sich ähnlich dem Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) im Boden nicht anreichert und daher auch nicht auf Vorrat für mehrere Vegetationsperioden gedüngt werden kann.

Ob neben dem S-Angebot aus Bodenvorrat, organischer Düngung und Deposition ein ergänzender mineralischer Düngebedarf besteht, kann aus einer Vielzahl allgemein zugänglicher Kenndaten zum Standort, zur angebauten Kultur (Höhe und Zeitpunkt des Bedarfs), zur Witterung und zur Fruchtfolge abgeleitet werden; diese Vorgehensweise benutzt der Schätzrahmen (Kap. 2.1). Die Analyse des Bodens auf den Gehalt an mineralischem S ( $S_{\min}$ ) ist eine andere Möglichkeit, den S-Düngebedarf zu ermitteln (Kap. 2.2). Darüber hinaus kann hierzu auch die Analyse der Pflanze auf ihren S-Gehalt herangezogen werden (Kap. 2.3).

Ziel dieses Standpunktes ist es, Verfahren zur S-Düngebedarfsermittlung vorzustellen und zu bewerten sowie Empfehlungen zur S-Düngung zu geben.

### 2 Methoden zur Prognose des Düngebedarfs und deren Eignung

#### 2.1 Schätzrahmen

Der "Schätzrahmen für die Notwendigkeit einer S-Düngung für Ackerkulturen" wurde von der BASF AG im Jahr 1994 der Praxis und Beratung vorgestellt und seitdem weiter entwickelt. Seit 1996 existiert auch ein Schätzrahmen für Grünland.

Das Prinzip des Schätzrahmens beruht darauf, dass die für den Versorgungszustand mit S entscheidenden Faktoren aus den Bereichen Standorteigenschaften, Witterung, Bewirtschaftung und Düngung berücksichtigt und mit Punkten zwischen 1 und 5 gewichtet werden. Die Summe der Punktezahl wird in drei Bewertungsklassen eingeteilt und gibt Auskunft darüber, wie wahrscheinlich eine S-Unterversorgung und damit die Notwendigkeit einer S-Düngung auf dem einzelnen Schlag ist.

Besonders stark bewertet werden:

- bereits aufgetretener S-Mangel in der Vergangenheit,
- S-Bedürftigkeit der angebauten Fruchtart,
- Bodenart,
- zurückliegende Witterung,
- $N_{\min}$ -Gehalt (als indirekter Maßstab).

Schwächer bewertet werden:

- Humusgehalt,
- Zwischenfruchtanbau,
- Ertragsniveau,
- Einsatz von Wirtschaftsdüngern.

Der S-Schätzrahmen basiert nicht auf einem Messverfahren. Er ermöglicht jedoch dem Landwirt, sehr früh im Jahr, schnell und kostenlos die Notwendigkeit einer S-Düngung abzuschätzen. Dabei lassen sich sowohl deutlich unterversorgte als auch sicher ausreichend versorgte Flächen mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit kennzeichnen, während im mittleren Versorgungsbereich keine klare Aussage erwartet werden kann.

## 2.2 Bodenuntersuchung zur Bestimmung des mineralischen Schwefels ( $S_{\min}$ )

Analog zur  $N_{\min}$ -Untersuchung im Frühjahr erfolgt die Extraktion des  $SO_4^{2-}$ -S aus feldfeuchten, in geschlossenen Kühlketten transportierten Bodenproben mit einer 0,0125 molaren  $CaCl_2$ -Lösung. Eine Extraktion des Bodens mittels Elektro-Ultra-Filtration (EUF) ist grundsätzlich ebenfalls möglich. Bestimmt wird der S-Gehalt im Extrakt mittels Plasmaemission. Die S-Bestimmung kann grundsätzlich auch als Trübungsmessung nach Fällung mit Bariumsulfat oder mittels Ionenchromatographie erfolgen.

Verglichen mit dem Kenntnisstand zu anderen Pflanzennährstoffen ist die Bewertung der  $S_{\min}$ -Gehalte im Boden zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch recht unsicher und bedarf weiterer Untersuchungen. Dies beruht auf derzeit noch bestehenden Defiziten im Wissen über die Dynamik von S in Böden und dem im Vergleich zu N wesentlich geringeren S-Bedarf der Kulturen. Als Folge davon wird in S-Düngungsversuchen oft nur ein unbefriedigender Zusammenhang zwischen dem Boden- $S_{\min}$ -Gehalt und dem S-Ernährungszustand bzw. dem S-Düngebedarf der Kultur gefunden.

Eine Ausnahme stellt der Raps dar, bei dem in Deutschland zuerst S-Mangel beobachtet wurde. Zu dieser Kultur liegen deshalb die meisten Versuchsergebnisse vor, welche die Eignung der  $S_{\min}$ -Methode ( $CaCl_2$ -Extraktion) als Grundlage einer Düngungsempfehlung belegen: Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand sollte bei einem Frühjahrs- $S_{\min}$ -Gehalt  $< 60$  kg S/ha in der Bodenschicht 0 bis 60 cm eine S-Düngung erfolgen.

## 2.3 Pflanzenanalyse

Bei der Pflanzenanalyse wird der in der Gesamtpflanze oder einem Pflanzenteil zu einem definierten Entwicklungsstadium vorhandene Nährstoffgehalt bestimmt und einem als ausreichend bekannten Nährstoffgehalt gegenübergestellt. Eine Pflanzenanalyse muss deshalb zu definierten Probenahmetermenen erfolgen, die für S in Tabelle 1 aufgeführt sind. Das Ergebnis der Analyse ist somit erst zur Düngung der Pflanze in den nachfolgenden Wachstumsphasen nutzbar. Bei stärkerem Mangel kommt daher die auf einer Pflanzenanalyse basierende Düngung für eine vollständige Korrektur der Ernährungsstörung i.d.R. zu spät. Ein Hinweis auf die S-Versorgung der Kulturen in den Folgejahren ist nur eingeschränkt möglich. Dabei ist u.a. zu berücksichtigen, dass sich die einzelnen Pflanzenarten in ihrem S-Bedarf deutlich unterscheiden.

Richtwerte für ausreichende S-Gehalte in Pflanzen müssen aus S-Düngungsversuchen abgeleitet werden. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Anzahl an Versuchen, in denen die S-Düngung zu Mehrerträgen führte. Ausreichende Versuchszahlen liegen für Winterraps vor, nicht jedoch für Wintergetreide, Zuckerrübe und Grünland. Für die letztgenannten Fruchtarten sind die in Tabelle 1 aufgeführten Werte deshalb als vorläufig zu betrachten. Für andere Pflanzenarten können noch keine entsprechenden Angaben gemacht werden.

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.

### 3 Düngempfehlungen

#### 3.1 Menge, Zeitpunkt und Form einer mineralischen Schwefeldüngung bei unterschiedlichen Kulturarten

Auf Standorten, an denen mit S-Mangel zu rechnen ist, werden die in Tabelle 2 angegebenen Düngemengen zu den genannten Zeitpunkten empfohlen. Eine Vorratsdüngung ist aus den in Kapitel 1 genannten Gründen nicht sinnvoll.

Zur Auswirkung einer S-Düngung auf die Qualität pflanzlicher Produkte liegen unterschiedliche Versuchsergebnisse vor. Bei Getreide wird im Falle deutlicher Ertragseffekte durch eine S-Düngung häufig ein etwas niedrigerer Rohproteingehalt festgestellt (Verdünnungseffekt). Der Protein- und Ölgehalt von Raps wird durch eine S-Düngung in der Regel nicht verändert. Bei S-Mangel erniedrigte Glucosinolat (GSL)-Gehalte des Rapses erhöhen sich nach S-Düngung auf Normalniveau. Eine über die empfohlene Menge erhöhte S-Gabe führt zu keiner weiteren Steigerung des GSL-Gehaltes.

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

Fruchtart	Düngemenge in kg S/ha	Düngzeitpunkt
Getreide	10-20	Vegetationsbeginn bis 1-Knotenstadium
Winterraps	20-40	Vegetationsbeginn <sup>1)</sup>
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

<sup>1)</sup> evtl. Teilgabe im Herbst

Für die S-Düngung steht eine Vielzahl von mineralischen Düngemitteln zur Verfügung. Sie unterscheiden sich vor allem in der Bindungsform ( $\text{SO}_4^{2-}$ -S, elementarer S) und damit der Wirkungsgeschwindigkeit. In den meisten S-haltigen Mineraldüngern liegt S als  $\text{SO}_4^{2-}$  vor. Schwefel in der  $\text{SO}_4^{2-}$ -Form steht den Pflanzen unmittelbar zur Verfügung. Trotz der geringeren Wasserlöslichkeit des Gipses ist seine Wirkung mit der anderer wasserlöslicher  $\text{SO}_4^{2-}$ -Dünger vergleichbar. Schwefel in elementarer Form (z.B. Schwefelblüte, Netzschwefel) kann von Pflanzen nicht direkt aufgenommen werden, sondern muss erst von Thiobakterien zu  $\text{SO}_4^{2-}$  umgewandelt werden, was sich bei Bodentemperaturen  $< 10^\circ\text{C}$  über etliche Wochen hinziehen kann. Er wirkt deswegen langsamer, unter akuten Mangelbedingungen sind daher  $\text{SO}_4^{2-}$ -Dünger vorzuziehen.

Schwefeldünger in elementarer Form wirken bodenversauernd. Bei den Ammonium haltigen S-Düngern (z.B. ASS, SSA) ist ebenfalls deren kalkzehrende Wirkung zu berücksichtigen, die jedoch auf der Umwandlung von Ammonium zu  $\text{NO}_3^-$  im Boden beruht und nicht auf  $\text{SO}_4^{2-}$  selber zurückzuführen ist. Ist  $\text{SO}_4^{2-}$  an Kalium (z.B. Patentkali, Kaliumsulfat), Magnesium (z.B. Kieserit, Bittersalz) oder Calcium (Gips) gebunden, hat es als Neutralsalz selbst bei langfristiger Anwendung keine pH-verändernde Wirkung.

Eine S-Gabe ist auch als Blattdüngung möglich mit dem Vorteil der sehr schnellen Wirkungsweise bei akutem S-Mangel. Dies gilt allerdings nur für  $\text{SO}_4^{2-}$ -Düngerformen, da elementarer S auch als Blattdünger zunächst in die  $\text{SO}_4^{2-}$ -Form überführt werden muss, bevor er von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Als Blattdünger sind daher  $\text{SO}_4^{2-}$ -Formen zu bevorzugen. Trotz der raschen Wirkung sind unter starken Mangelbedingungen auch mit einer Blattdüngung Ertragsverluste nicht sicher zu vermeiden.

### 3.2 Organische Düngemittel

Der S-Gehalt in wirtschaftseigenen Düngern tierischer Herkunft ist, wie der N-Gehalt, abhängig u.a. von der Tierart (z.B. Geflügelmist > Schweinemist > Rindermist), der Fütterung (z.B. Schwein: Getreidemast > Kartoffelmast), dem Haltungssystem (z.B. Mist > Gülle) sowie der Dauer und Art der Lagerung. Für Gülle und Stallmist besteht eine positive Korrelation zwischen dem S-Gehalt in der Frischmasse und dem Trockenmassegehalt sowie zwischen dem S- und dem N-Gehalt in der Trockenmasse.

Der Anteil an sofort pflanzenverfügbarem  $\text{SO}_4^{2-}$ -S liegt meist unter 20 % des Gesamt-S-Gehaltes. Während der Gesamt-S-Gehalt im Verlauf einer Lagerung nur wenig beeinflusst wird (gasförmige Verluste bis zu 2 % des Gesamt-S-Gehaltes), nehmen die Gehalte an leicht löslichen S-Fractionen ab.

In Klärschlämmen und Komposten kann der S-Gehalt u.a. von der Art des Düngers (z.B. Klärschlamm > Grüngutkompost), den Einsatzstoffen (z.B. Bioabfallkompost > Grüngutkompost), der Aufbereitung sowie der Dauer und Art der Lagerung beeinflusst werden.

Der S-Gehalt von wirtschaftseigenen Düngern tierischer Herkunft, Klärschlämmen und Komposten liegt überwiegend unter 1 kg S/t bzw.  $\text{m}^3$  Frischmasse (0,2 – 1,1 kg S/t bzw.  $\text{m}^3$ , Ausnahmen: Geflügelmist ca. 3 kg S/t, Bioabfallkompost ca. 1,5 kg S/t).

In Ernteresten werden in Abhängigkeit von der Kulturart S-Gehalte < 2,5 kg S/t Frischmasse gefunden (Getreide > Hackfrüchte; Ausnahme: Öl- und Eiweißpflanzen < 5 kg S/t).

Im Anwendungsjahr ist die S-Ausnutzung aus organischen Düngern allgemein gering (z.B. aus Gülle im Gefäßversuch 5-7 % des Gesamt-S-Gehaltes). Durch eine langjährige Anwendung organischer Dünger kann der Gesamt-S-Gehalt im Boden erhöht werden, so dass im Vergleich zu einer langjährigen mineralischen S-Düngung von einer höheren S-Nachlieferung aus dem Boden ausgegangen werden kann. Hierzu liegen bislang nur wenige Daten vor, die sichere Aussagen über das Ausmaß und den zeitlichen Verlauf der S-Nachlieferung in verschiedenen Böden zulassen.

Erste Ergebnisse weisen aber darauf hin, dass Schwefelmangel bei Kulturen mit frühem und/oder hohem S-Bedarf (z.B. Winterraps, Wintergetreide) auch durch eine langjährige Anwendung organischer Dünger nicht verhindert werden kann, weil eine nennenswerte S-Nachlieferung aus der organischen Substanz erst bei höheren Bodentemperaturen (ab Mai) einsetzt. Kulturen mit später Saat und langer Vegetationszeit (z.B. Mais, Zuckerrüben) und damit späterem S-Bedarf können daher die S-Nachlieferung aus der organischen Substanz besser verwerten.

#### **4 Schlussfolgerungen**

Durch die aus ökologischer Sicht sehr erfreuliche Verringerung der S-Emissionen in den letzten Jahren gewann die Frage der S-Düngung im Pflanzenbau erheblich an Bedeutung. Es ist verständlich, dass der Wissens- und Erfahrungsstand bei diesem Nährstoff nicht auf dem gleichen Niveau liegen kann wie bei den übrigen Nährstoffen, bei denen eine Düngung seit Jahrzehnten unerlässlich ist. Angesichts der stark streuenden Versuchsergebnisse im Hinblick auf Ertrags- oder Qualitätsbeeinflussung durch eine S-Düngung bestehen nach wie vor Unsicherheiten bei der Ableitung des S-Düngebedarfs, auch bei Anwendung der hier beschriebenen Prognosemethoden. Schätzrahmen,  $S_{\min}$ -Bodenuntersuchung und Pflanzenanalyse weisen jeweils spezifische Schwächen und Vorteile auf, die sie für unterschiedliche Einsatzzwecke geeignet erscheinen lassen. Letztendlich kann aber die Treffsicherheit der Aussage noch bei keiner Methode befriedigen, so dass eine Entscheidung für eine S-Düngung unbedingt von Standortfaktoren wie z.B. Bodenart und Winterwitterung abhängig gemacht werden muss. Dazu zählt auch die Erfahrung aus vorangegangenen Jahren: Flächen, auf denen bereits einmal S-Mangel zu erkennen war, sind bevorzugt zu düngen. Neben den Standortfaktoren spielt die S-Bedürftigkeit der angebauten Kultur eine wichtige Rolle. Bei Körnermais als der Fruchtart mit der höchsten S-Düngebedürftigkeit wird heute in den meisten Fällen eine S-Düngung als Standard empfohlen.

Für Wissenschaft und Beratung stellt sich gemeinsam mit der Praxis die Aufgabe, in den nächsten Jahren das Wissen um den S-Haushalt in Boden und Pflanze sowie Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich der S-Düngung zu erweitern und zu festigen. Gleichzeitig müssen die Prognosemethoden mit dem Ziel höherer Treffsicherheit weiter entwickelt werden.

Ausführliche Darlegungen zur S-Düngeproblematik sind in Heft 53/2000 der VDLUFA-Schriftenreihe enthalten, in dem die Referate einer am 1. Februar 1999 in Göttingen abgehaltenen Tagung zusammengefasst sind. Dieses Heft ist in der Geschäftsstelle des VDLUFA, Bismarckstr. 41 A, 64293 Darmstadt, erhältlich.