

DLG-Merkblatt 373

Schwefel-Düngung effizient gestalten



Fachzentrum
Land- und Ernährungswirtschaft

www.DLG.org

DLG-Merkblatt 373

Schwefel-Düngung effizient gestalten

Autoren:

- Prof. Dr. Hans-Werner Olf, Hochschule Osnabrück, Osnabrück
(Vorsitz)
- Michael Fuchs, SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Cunnersdorf
- Dr. Ulrich Ortseifen, YARA GmbH & Co KG, Dülmen
- Lorenz von Schintling-Horny, Domäne Liebenburg, Liebenburg
- Dr. Alexander von Chappuis, DLG e. V., Frankfurt am Main
- Dr. Wolfram Zerulla, BASF Agrarzentrum, Limburgerhof
- Klaus Erdle, DLG e. V., Frankfurt am Main

Redaktion und Bearbeitung:

- Prof. Dr. Hans-Werner Olf, Hochschule Osnabrück, Osnabrück

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Herausgeber:

DLG e. V.
Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft
Ausschuss für Pflanzenernährung (Vorsitzender: Dr. Frank Lorenz)
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt/Main

1. Auflage, Stand: 05/2012

© 2012

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e. V., Servicebereich Information, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt/Main

Inhalt

Vorwort	4
1. Schwefel im System Boden-Pflanze	5
1.1 Schwefel-Haushalt im Boden	5
1.2 Schwefel-Haushalt in der Pflanze	6
2. Ermittlung des Schwefel-Düngebedarfs	9
2.1 Schwefel-Schätzrahmen	10
2.2 S_{\min} -Bodenuntersuchung	10
2.3 Pflanzenanalyse	12
3. Schwefel-Düngemittel	14
3.1 Mineraldünger	14
3.1.1 Mineraldünger auf Sulfat-Basis	16
3.1.2 Elementarer Schwefel	16
3.1.3 Dünger aus industriellen Prozessen auf mineralischer Basis	17
3.2 Organische Dünger	18
4. Schwefel-Düngung in der Praxis	19
4.1 Düngungshöhe	19
4.2 Düngetermine	19
4.3 Düngesysteme	20
5. Zusammenfassung	21
6. Häufig gestellte Fragen zur Schwefeldüngung	22

Vorwort

Fragen zur Schwefel-Düngung von Ackerkulturen und Grünlandbeständen sind seit Anfang der 1990er Jahre zunehmend in den Fokus gerückt. Dies ist zum einen auf die für alle Regionen in Deutschland nachweisbare deutliche Reduzierung der S-Einträge aus der Atmosphäre (bedingt durch die enormen Verbesserungen insbesondere im Bereich der Rauchgasentschwefelung) zurückzuführen. Während bis gegen Mitte der 1980er Jahre in vielen Agrar- und Forstökosystemen noch mit S-Einträgen in der Größenordnung von 80 – 100 kg/ha und Jahr S gerechnet werden musste, sind heute fast flächendeckend die S-Einträge aus der Atmosphäre auf unter 10 kg/ha und Jahr S abgesunken. Damit verbunden war eine zunehmende mangelhafte S-Versorgung der Kulturpflanzen. Schwefel-Mangelsymptome sind heutzutage zumindest zeitweise auf vielen Praxisschlägen zu finden. Andererseits ist durch die höheren Erträge und durch zusätzliche Anforderungen bezüglich wichtiger Qualitätskriterien auch ein erhöhter Schwefel-Bedarf festzustellen. In den zurückliegenden Jahren ist die Angebotspalette an S-haltigen Düngern daher deutlich erweitert worden.

Mit dem hier vorliegenden DLG-Merkblatt wird der aktuelle Stand des Wissens zum Pflanzennährstoff Schwefel zusammenfassend dargestellt. Aufbauend auf den Informationen zum S-Umsatz im Boden und zur Bedeutung des Schwefels für den pflanzlichen Stoffwechsel werden verschiedene Methoden zur Ermittlung des Schwefel-Düngebedarfs vergleichend vorgestellt und bewertet. Die Eigenschaften von mineralischen und organischen schwefelhaltigen Düngemitteln und deren Wirkung auf Boden und Pflanze werden beschrieben und die Grundsätze einer bedarfsgerechten und effizienten Schwefel-Düngung in der Praxis abgeleitet.

Die Autoren

1. Schwefel im System Boden-Pflanze

1.1 Schwefel-Haushalt im Boden

Im Boden liegt Schwefel (S) zum überwiegenden Teil organisch gebunden vor. Je nach Humusgehalt können dies bei Ackerböden zwischen 1.000 – 1.400 kg/ha S und auf Grünlandböden bis zu 2.000 kg/ha S sein. Für die Mineralisation von Schwefel aus dem Humusvorrat ist der mikrobielle Umsatz von schwefelhaltigen Verbindungen von zentraler Bedeutung. Meist werden daraus jedoch nur wenige kg Schwefel (im Bereich von 10 bis 40 kg/ha) für die Pflanzenversorgung bereitgestellt. Der Gehalt an mineralischem, pflanzenverfügbarem Schwefel im Boden ist in Abhängigkeit von den Bedingungen im Boden und vom Düngungsregime größeren Schwankungen unterworfen. Selbst in kalkhaltigen Böden, in denen größere Anteile des Schwefels als Calcium- oder Magnesium-Salz gebunden sein können, liegt in der Krume oft wenig pflanzenverfügbarer S vor (Abbildung 1).

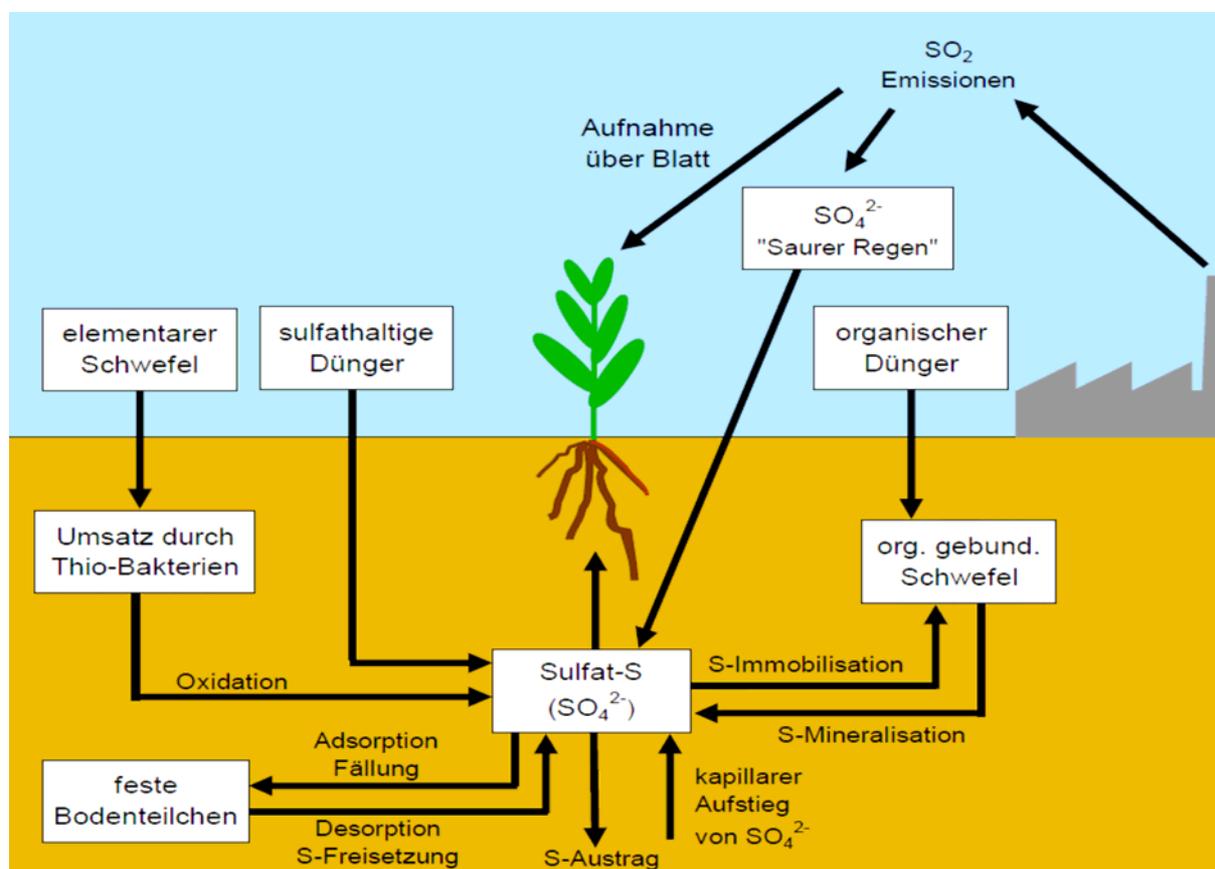


Abbildung 1: Schwefelkreislauf im System Boden-Pflanze

Der Schwefel-Eintrag in den Boden erfolgt zum einen über „sauren Regen“ (teilweise auch als so genannte „trockene Deposition“) und über organisch gebundenen Schwefel in Form von Pflanzenresten (Blätter, Wurzeln), Wirtschafts- und andere organische Dünger. Darüber hinaus ist die S-Zufuhr über Mineraldünger – im Wesentlichen in Form von Sulfat (SO_4^{2-}) als Bestandteil von Salzen und in geringerem Umfang auch als elementarer Schwefel – von größerer Bedeutung.

Pflanzen können über die Wurzeln ausschließlich die im Bodenwasser gelösten Sulfat-Ionen aufnehmen. Die Konzentration der gelösten Sulfat-Ionen ist ganz wesentlich abhängig von der mikrobiell bedingten Mineralisation organischer Verbindungen, der Oxidation von elementarem Schwefel bzw. von der Löslichkeit der zugeführten S-haltigen Mineraldünger. Die S-Mineralisation hängt von Standort- und Mineralisationsbedingungen ab und liegt in der Größenordnung von 10 kg/ha S im Laufe eines Jahres. Das reicht in der Regel nicht aus, um den Bedarf landwirtschaftlicher Kulturen zu decken. Auch Grundwasser kann zur Sulfat-Versorgung der Pflanzen beitragen: Im Frühjahr ist dies durch hoch anstehendes Grundwasser (vor allem auf Gründlandböden) und in späteren Vegetationsabschnitten durch kapillar aufsteigendes Wasser möglich.

Sulfat ist wie Nitrat im Boden sehr mobil. Es muss deshalb mit Verlagerung von Sulfat-Schwefel aus dem durchwurzelten Bodenraum, insbesondere in den Herbst- und Wintermonaten, gerechnet werden. Der Umfang der S-Auswaschung ist im Wesentlichen abhängig von der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens (und damit von der Bodenart), von der Niederschlagshöhe und von der Aufnahme durch Pflanzen (zum Beispiel Zwischenfrüchte, Winterraps). Während der Vegetationszeit spielt der S-Austrag in Richtung Grundwasser in der Regel keine Rolle, da durch den Wasserverbrauch der Pflanzenbestände kaum Sickerwasser entsteht. Eine S-Vorratsdüngung für eine gesamte Fruchtfolge ist daher nicht angezeigt (s. Kapitel 4).

1.2 Schwefel-Haushalt in der Pflanze

Um optimale Erträge und Qualitäten erzielen zu können, muss die Pflanze in jeder Wachstumsphase ausreichend mit Schwefel versorgt sein. Die Aufnahme von Schwefel in die Pflanze erfolgt dabei im Wesentlichen in Form von Sulfat-Ionen, die aus der Bodenlösung über die Wurzeln aufgenommen werden. Auch elementarer Schwefel muss erst in diese Form umgesetzt werden. Daneben kann Schwefel aber auch über die Blät-

ter aus der Atmosphäre als gasförmiges Schwefeldioxid (SO₂) absorbiert werden und dann im pflanzlichen Stoffwechsel Verwendung finden. Heutzutage ist dieser Aufnahmeweg wegen der flächendeckend durchgeführten Rauchgasentschwefelung aber unbedeutend.

Nach der Sulfat-Aufnahme über die Wurzeln erfolgt der Weitertransport über den Transpirationsstrom in den Spross und die Blätter. Der Sulfat-Schwefel muss unter Energieaufwand in organische Verbindungen eingebaut werden. Schwefel kann in der Pflanze verschiedene Bindungsformen einnehmen. Als Bestandteil wichtiger essentieller Aminosäuren (u. a. Methionin, Cystein) ist Schwefel für Proteingehalt und -qualität von besonderer Bedeutung. Weiterhin sind schwefelhaltige Co-Enzyme und Vitamine (z. B. Vitamine B₁ und H) für das Pflanzenwachstum und für die menschliche und tierische Ernährung wichtig. Da alle genannten Verbindungen neben Kohlenstoff und Sauerstoff auch Stickstoff enthalten, wird die enge Verbindung der Schwefelversorgung mit dem N-Kreislauf deutlich.

Für bestimmte Pflanzenarten sind sogenannte „sekundäre“ Pflanzeninhaltsstoffe kennzeichnend. So enthalten beispielsweise Kreuzblütler wie Raps, Senf und Kohl hohe Mengen an schwefelhaltigen Glucosinolaten (Senfölen). Daraus ergibt sich ein besonders hoher Schwefel-Bedarf dieser Kulturen (Tabelle 1). Eine vergleichbare Rolle spielen die Lauchöle bei Pflanzenarten aus der Familie der Lauchgewächse (u. a. Knoblauch, Porree, Zwiebeln). Diesen sekundären Inhaltsstoffen wird neben der Geschmacks- und Aromawirkung auch eine Bedeutung bei der Abwehr von Schadorganismen zugesprochen. Daher kann bei diesen Pflanzen bereits latenter Schwefel-Mangel zu erheblichen Ertragseinbußen führen.

Obwohl der S-Bedarf von Getreide nicht höher liegt als beispielsweise der von Zuckerrüben, tritt S-Mangel in der Praxis neben Raps vor allem bei Getreide auf. Die Ursache dafür ist der vergleichsweise hohe S- und auch N-Bedarf des Getreides zu Vegetationsbeginn. Hinzu kommt ein scheinbar schlechteres S-Aneignungs- und/oder Verwertungsvermögen. Zuckerrüben dagegen können durch ihre lange Vegetationszeit in den wärmeren Monaten den Schwefel aus der Mineralisation und dem kapillaren Grundwasseraufstieg besser nutzen.

Tabelle 1: Schwefelbedürftigkeit verschiedener Kulturen

Schwefelbedarf	Reaktion auf S-Düngung	Kultur
hoch	ausgeprägt	Raps/Rübsen/Senf Grünland Leguminosen Kohlarten/Zwiebelgewächse
mittel	gering	Zuckerrüben
gering	mittel	Getreide/Mais
gering	gering	Kartoffeln

An der Einzelpflanze zeigen sich Schwefel-Mangelsymptome häufig zuerst an den jungen Trieben, die sich hellgrün bis gelb verfärben. Ältere Blätter hingegen bleiben grün, da Schwefel in der Pflanze unter Mangelbedingungen nur bedingt verlagerbar ist.

Bei Raps können darüber hinaus rötlich-violette Verfärbungen auftreten, Blätter wölben sich löffelartig auf, es kommt zu schmalen, länglich ausgeformten Blättern und es zeigt sich anstatt der typischen intensiv gelben eine weißgelbliche Blütenfärbung (s. Mangelbilder im Anhang). Im Bestand sind diese Symptome oft nesterartig und unregelmäßig verteilt.

Eine Verwechslung mit N-Mangel kommt unter Praxisbedingungen aufgrund ähnlicher Symptome vor allem bei Getreide vor und kann abschließend meist nur durch eine Pflanzenanalyse ausgeschlossen werden (s. Kapitel 2.4). Alternativ kann das Vorliegen von S-Mangel durch Behandlung einer kleinen Teilfläche („Düngefenster“) mit sulfathaltigem, N-freiem Dünger (z. B. Bittersalz, Kaliumsulfat) überprüft werden. Bei S-Mangel sollte die gedüngte Fläche sehr schnell wieder ergrünen.

Neben einer Ertragsreduktion ist meist auch ein Qualitätsverlust im Erntegut festzustellen. So muss beispielsweise bei Brotweizen bei Schwefel-Mangel mit niedrigeren Proteingehalten und -qualitäten gerechnet werden, die dann zu einer insgesamt verminderten Backqualität führen können (s. Abbildung 2). In der Praxis tritt latenter S-Mangel bei weitem häufiger auf als akuter S-Mangel. Dieser äußert sich nicht in sichtbaren Symptomen an der Pflanze, sondern durch vergleichsweise niedrige Erträge oder geringe Qualitäten trotz ausreichender Versorgung mit anderen Nährstoffen.

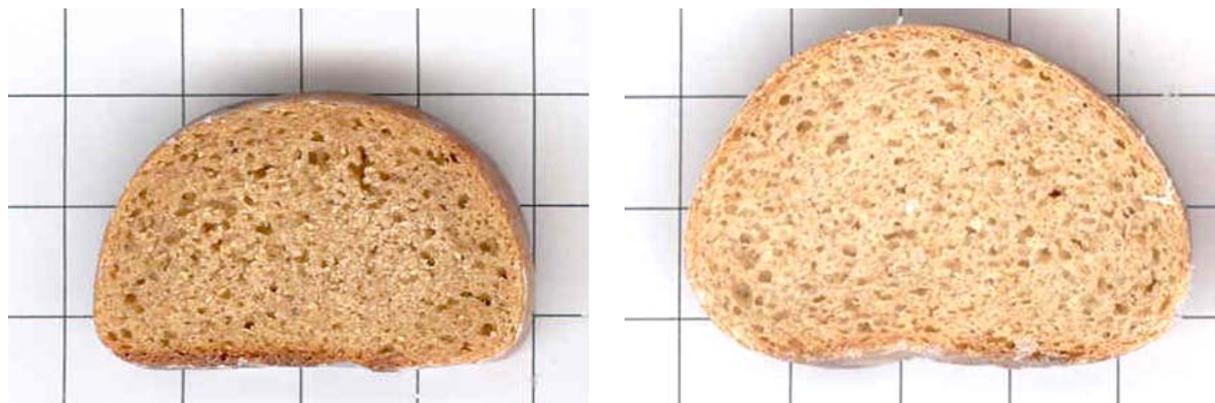


Abbildung 2: Einfluss der S-Versorgung auf die Backqualität bei Weizen.
Links ohne, rechts mit S-Düngung (Bildquelle: C. Zörb, Universität Kiel)

Von Bedeutung im pflanzlichen Metabolismus ist die Wechselwirkung zwischen Schwefel und Stickstoff. Üblicherweise liegen in Pflanzen N:S-Verhältnisse von 5 : 1 bis 12 : 1 vor. Bei Schwefelmangel wird aufgenommenes Nitrat nicht umgewandelt, da das schwefelhaltige Enzym „Nitrat-Reduktase“ fehlt. In der Pflanze kann es dann zu einem „Nitrat-Stau“ (d. h. einer starken Erhöhung der Nitrat-Gehalte im Zellsaft) kommen, in dessen Folge auch der N-Einbau in Aminosäuren/Proteine gestört ist.

2. Ermittlung des Schwefel-Düngebedarfs

Schwefel-Mangel ist nicht auf jedem Standort und nicht in jedem Anbaujahr zu erwarten. Wichtige Parameter, die die Schwefel-Versorgung der Pflanzenbestände beeinflussen, sind Standortbedingungen (Bodenart und -wasserhaushalt), Witterungsbedingungen, die angebaute Kulturart (u. a. S-Bedarf, Wurzelentwicklung) sowie ihr Ertragsniveau.

Aus Feldversuchen verschiedener Beratungsinstitutionen und Firmen liegen Ergebnisse zur S-Aufnahme und zur Wirkung einer S-Düngung bei verschiedenen Kulturen vor. Aus diesen Daten wurde für Ackerkulturen eine allgemeine S-Düngeempfehlung („Faustzahlen“) abgeleitet (s. Kapitel 4.1). Bei diesen pauschalen Empfehlungen muss allerdings berücksichtigt werden, dass weder die Boden-, Klima- oder sonstigen Anbaubedingungen, noch die Fruchtfolge oder Düngungspraxis des Betriebes beachtet werden. Es gibt beispielsweise auch noch Standorte, wo zurzeit noch kein Schwefel-Düngebedarf besteht. Zur Ertrags- und Qualitätsabsicherung ist es daher wichtig, den S-Düngebedarf zu ermitteln.

2.1 Schwefel-Schätzrahmen

Mitte der 1990er Jahre wurde vom BASF Agrarzentrum Limburgerhof der sogenannte „Schätzrahmen für die Notwendigkeit einer S-Düngung für Ackerkulturen“ entwickelt. Das Prinzip dieses Schätzrahmens beruht darauf, dass der Landwirt die für die S-Versorgung seiner Kulturen wichtigen Parameter, wie Standorteigenschaften, Witterung, Düngung, Bewirtschaftung etc. selbst abschätzt und bewertet. Über eine Gewichtung der jeweiligen Parameter kann dann beurteilt werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit einer S-Unterversorgung für den betrachteten Standort ist bzw. wie notwendig eine S-Düngung für die jeweilige Kultur voraussichtlich sein wird.

Der Schwefel-Schätzrahmen basiert nicht auf Messverfahren. Trotzdem können mit dieser Methode sowohl deutlich mit Schwefel unterversorgte als auch ausreichend versorgte Standorte aufgezeigt werden. Weniger sicher ist die Abschätzung im mittleren Bereich, wobei sich der Schätzrahmen in seiner Aussagekraft kaum von anderen Methoden unterscheidet. Weitere Vorteile sind die kostenlose und zeitlich unabhängige Anwendung. Der Schwefelschätzrahmen kann im Internet (z. B. <http://www.ks-nitrogen.com/dede/service/schaetzrahmen/>) heruntergeladen werden.

2.2 S_{\min} -Bodenuntersuchung

Die analytische Ermittlung des mineralischen pflanzenverfügbaren Schwefelvorrats im Boden kann in Anlehnung an die N_{\min} -Methode durch die Untersuchung des löslichen Sulfat-S zu Vegetationsbeginn erfolgen. Die S_{\min} -Untersuchung wird dabei meist parallel zur N_{\min} -Untersuchung durchgeführt. Die Probenahmetiefe beträgt 0 – 60 bzw. 0 – 90 cm. Der zu Vegetationsbeginn gemessene S_{\min} -Gehalt wird stark von der Bodenart und den vorangegangenen Witterungsbedingungen beeinflusst. Sulfat wird kaum an Bodenpartikel gebunden, liegt nahezu vollständig in der Bodenlösung vor und ist im Boden daher ähnlich mobil wie Nitrat. Demzufolge werden auf leichteren Böden und nach höheren Niederschlägen im Durchschnitt deutlich geringere S_{\min} -Gehalte ermittelt als auf schweren Böden und bei geringeren Niederschlägen. Eine Düngungsempfehlung erfolgt bei Unterschreiten eines aus Versuchen abgeleiteten S_{\min} -Mindestgehalts im Boden.

Die Eignung der S_{\min} -Bodenuntersuchung wurde in zahlreichen Schwefel-Düngungsversuchen überprüft. Die meisten und aussagekräftigsten Ergebnisse liegen für Winterraps vor. Bei Winterraps ist die S-Versorgung bei einem S_{\min} -Gehalt von mehr als 60 kg/ha S (0 bis 60 cm Bodentiefe) ausreichend. Bei einem geringeren S_{\min} -Gehalt können, besonders wenn dieser unter 40 kg/ha S liegt, durch eine S-Düngung teilweise erhebliche Mehrerträge erzielt werden. In Getreide und anderen weniger schwefelbedürftigen Kulturen erlaubt die S_{\min} -Analyse häufig keine sichere Prognose des erforderlichen Düngebedarfs. Selbst bei sehr niedrigen S_{\min} -Gehalten konnten in Feldversuchen oft keine S-Düngungseffekte beobachtet werden.

Als Ursache kommen bei der S_{\min} -Analyse nicht berücksichtigte S_{\min} -Vorräte in tieferen Bodenschichten beziehungsweise im oberflächennahen Grundwasser in Frage, die wesentlich zur S-Versorgung beitragen können. Erreichen die Pflanzen diese Vorräte frühzeitig oder gelangt Schwefel aus tieferen Bodenschichten durch kapillaren Aufstieg in die Wurzelzone, ist auch bei niedrigen S_{\min} -Werten eine ausreichende Schwefel-Versorgung der Pflanzen möglich. Weiterhin ist zu bedenken, dass bei der S_{\min} -Untersuchung im Frühjahr auch die Nachlieferung von Sulfat während der Vegetationsperiode durch Mineralisierung von organisch gebundenem Boden-S nicht erfasst wird.

Auf sehr leichten auswaschungsgefährdeten Böden und Standorten, auf denen in den Vorjahren bereits sichtbarer S-Mangel aufgetreten ist, kann auf eine S_{\min} -Untersuchung in der Regel verzichtet und eine S-Düngung orientiert am S-Bedarf der Kultur durchgeführt werden (s. 4.1). Auf schwereren Böden und trockenen Standorten mit überwiegend negativer Wasserbilanz kann eine S_{\min} -Analyse hingegen hilfreiche Informationen über den Schwefel-Düngebedarf liefern.

Die S_{\min} -Analyse erlaubt eine zeitige Entscheidung über eine Schwefel-Düngungsmaßnahme vor Vegetationsbeginn. In der Praxis ist die S_{\min} -Analyse dennoch wenig verbreitet, da auf vielen leichteren Standorten, in niederschlagsreichen Regionen und in schwefelbedürftigen Kulturen die Schwefel-Düngung häufig eine Standardmaßnahme ist.

Da der Einkauf der Dünger fürs Frühjahr meist jedoch schon vor Vegetationsbeginn erfolgt, kommt die Information über den S_{\min} -Vorrat im Boden für die Düngeplanung zu spät. Die S_{\min} -Bodenuntersuchung dient somit in der Praxis vorrangig zur Über-

prüfung der Schwefel-Versorgung nach außergewöhnlichen Witterungsbedingungen oder um generell Hinweise für Folgejahre ableiten zu können.

2.3 Pflanzenanalyse

Mit der Pflanzenanalyse kann der aktuelle Schwefel-Ernährungszustand sicher erfasst werden. Die Angabe der S-Konzentrationen erfolgt normalerweise in % der Trockenmasse und umfasst alle in der Pflanze vorliegenden S-Bindungsformen (s. Kapitel 1.2). Angaben zu den notwendigen Konzentrationen an Schwefel in der Pflanzentrockenmasse liegen zurzeit nur für Getreide ($> 0,30$ % S in der TS), Raps ($> 0,45$ % S in der TS) und Gras ($> 0,30$ % S in der TS) vor. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass auch für die meisten anderen Ackerkulturen eine Mindestkonzentration von $0,30$ % S in der TS angestrebt werden sollte. Zur Einschätzung des S-Versorgungszustandes sollte neben der Untersuchung der S-Konzentration im Pflanzenmaterial möglichst auch die N-Konzentration untersucht werden, da das ermittelte N:S-Verhältnis genauere Rückschlüsse zulässt. Typische N:S-Verhältnisse zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: N:S-Verhältnisse für verschiedene Kulturen

Kultur	Typische N:S-Verhältnisse
Raps/Rübsen/Senf/Kohlarten/Zwiebelgewächse	5 : 1
Getreide/Mais/Zuckerrüben/Kartoffeln	10 : 1
Leguminosen	5 – 8 : 1
Gras	8 – 12 : 1

Die sachgerechte Entnahme der Pflanzenproben erfolgt repräsentativ mittels einer Mischprobe von ca. 20 Stellen des Bestandes. Um eine sichere Aussage zu erhalten, ist es häufig sinnvoll, vermutlich schlecht und gut mit S versorgte Teilbereiche des Pflanzenbestandes gezielt getrennt zu beproben. Bei der Probenahme ist darauf zu achten, dass je nach Entwicklungsstand der Kultur der gesamte oberirdische Aufwuchs oder auch nur bestimmte Pflanzenteile (z. B. Blätter mit gleichem physiologischem Alter) für die Laboruntersuchung entnommen werden (s. Tabelle 3).

Die Pflanzenprobe muss möglichst frei von anhaftendem Boden oder Rückständen von Düngemitteln oder Pflanzenbehandlungsmitteln sein. Eine Mischprobe von ca.

300 – 500 g Frischmasse wird locker verpackt und muss dann schnellstmöglich an ein Labor zur Untersuchung gesandt werden.

Als besonders kritisch bei der Anwendung der Pflanzenanalyse ist vor allem die Verfügbarkeit der Ergebnisse für den Landwirt zu sehen. Da zum einen zwischen Probenahme und Rückmeldung der Daten häufig mehr als 1 Woche vergeht und zum anderen die Beprobung meist auch erst in fortgeschrittenen Vegetationsstadien erfolgt, kommt eine eventuell notwendige Düngungsmaßnahme vielfach zu spät um einen Ertrags- bzw. Qualitätsverlust zu vermeiden. Sie stellt jedoch eine sichere Maßnahme dar, um den Schwefelversorgungszustand des Standortes abschätzen zu können.

Tabelle 3: Probenahmeorgane und -zeiträume für verschiedene Kulturen

Kultur	Probenahmeorgan	Zeitraum Probenahme
Getreide	gesamte oberirdische Pflanze	bis Ende Schossen
	Fahnenblatt	ab Ähren-/Rispschieben
Mais	mittlere Blätter	bis Rispschieben
	Kolbenblätter	ab Blüte
Raps	gesamte oberirdische Pflanze	4-Blatt-Stadium bis Ende Längenwachstum
	jüngste vollentwickelte Blätter	ab Knospenstadium
Kartoffeln	gesamte oberirdische Pflanze	bis Reihenschluss
	jüngste vollentwickelte Blätter	ab Blühbeginn
Zuckerrübe Futterrübe	gesamte oberirdische Pflanze	bis 10-Blattstadium
	Spreiten der jüngsten vollentwickelten Blätter	bis Reihenschluss
Ackerbohne Erbse	gesamte oberirdische Pflanze	4-Blatt-Stadium bis Ende Längenwachstum
	jüngste vollentwickelte Blätter	ab Knospenstadium
Sonnenblume	gesamte oberirdische Pflanze	4-Blatt-Stadium bis Ende Längenwachstum
	jüngste vollentwickelte Blätter	ab Blüte
Luzerne Rotklee Gras	gesamte oberirdische Pflanze	bis Blüte
	gesamte oberirdische Pflanze	ab Vegetationsbeginn

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es aktuell keine Methode zur exakten Ableitung des S-Düngebedarfs gibt und dass alle Methoden Vor- und Nachteile haben (s. Tabelle 4). Während der Schwefelschätzrahmen ohne größeren Aufwand zumindest eine Abschätzung des S-Düngebedarfs ermöglicht, haben sich Boden- und Pflanzenuntersuchung in der Beratungspraxis in den alten Bundesländern bisher nur vereinzelt

etablieren können. In den neuen Bundesländern werden S_{\min} -Untersuchungen allerdings in erheblichem Umfang durchgeführt.

Tabelle 4: Vergleichende Bewertung von Methoden zur Ermittlung des Schwefel-Düngebedarfs

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Schwefel-Schätzrahmen	sehr einfaches Verfahren keine Kosten jederzeit einsetzbar	objektive Beurteilung und Punktevergabe nicht immer gewährleistet
S_{\min} -Bodenuntersuchung	Erfassung der tatsächlich verfügbaren Vorräte an Sulfat im Boden gemeinsame Probenahme mit N_{\min}	rel. aufwendige Probenahme Analysekosten keine Informationen über S-Nachlieferungsvermögen aus Bodenpools sichere Bedarfsprognose nur bei Winterraps
Pflanzenanalyse	exakte Erfassung des S-Versorgungszustandes der Pflanzen	nicht für alle Pflanzenarten und Wachstumsstadien verlässliche Vergleichswerte aufwendige Probenahme Beratungsergebnis kommt oft zu spät für zeitgerechte S-Düngung Analysekosten

3. Schwefel-Düngemittel

3.1 Mineraldünger

Für die Schwefeldüngung stehen verschiedene mineralische Düngemittel zur Verfügung (Tabelle 5), die sich vor allem durch ihre Bindungsform (Sulfat-S, Thiosulfat-S, elementarer S) unterscheiden. Das sehr gut wasserlösliche Sulfat ist die einzige Form, in der die Pflanzen Schwefel aus der Bodenlösung oder auch über das Blatt aufnehmen können. Elementarer Schwefel dagegen kann von den Pflanzen nicht unmittelbar aufgenommen werden, sondern muss zuerst mikrobiell zu Sulfat oxidiert werden, um pflanzenverfügbar zu werden.

Schwefel, in der Sulfat-Form gedüngt, ist sofort pflanzenverfügbar. Für die Düngung werden hauptsächlich Mineralsalze mit anderen für die Pflanzenernährung wich-

DLG-Merkblatt 373: Schwefel-Düngung effizient gestalten

tigen und notwendigen Nährelementen genutzt. Auf Grund der Ladungseigenschaften des Sulfates als Anion ist es sehr leicht im Boden beweglich und unterliegt dem Risiko der Verlagerung oder Auswaschung (s. Kapitel 1.1). Eine Düngung, die sich am aktuellen S-Pflanzenbedarf ausrichtet, ist deshalb erforderlich; eine Vorratsdüngung ist nicht möglich.

Tabelle 5: Auswahl wichtiger schwefelhaltiger Mineraldünger

Dünger	S-Gehalt (%)	S-Bindungsform	Weitere Nährstoffe	Beispiele Handelsware
Ammoniumsulfat	24	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21 % N	SsA, AS, Domogran
Ammonsulfatsalpeter	13	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	26 % N	ASS 26, ENTEC 26
Ammoniumsulfat-Harnstoff	5 – 12	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	30 – 38 % N	PIAMON 33-S, Urea-S
Ammoniumnitrat mit S	6	$(\text{Ca})\text{SO}_4$	24 % N	YaraBela Sulfan
N-Düngerlösung mit S	3 – 6	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + (ATS)	15 – 27 % N	PIASAN-S 25/6, ALZON flüssig-S 25/6, Domamon, NTS
Ammonsulfat-Lösung	6 – 9	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	5 – 8 % N	ASL
Kaliumsulfat	18	K_2SO_4	50 % K_2O	KALISOP
Patentkali	17	K_2SO_4 , MgSO_4	30 % K_2O 10 % MgO	Patentkali
Korn-Kali	4	MgSO_4	40 % K_2O 6 % MgO 3 % Na	Korn-Kali
Magnesia-Kainit	4	MgSO_4	11 % K_2O 5 % MgO 20 % Na	
Kieserit (granuliert)	20	MgSO_4	25 % MgO	ESTA Kieserit gran
Bittersalz	13	MgSO_4	16 % MgO	EPSO Top
Elementarer Schwefel	60 – 98	S		Schwefellinsen/ -suspensionen
Superphosphat	12	CaSO_4	18 % P_2O_2	
div. NPK mit S	2 – 12	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		
Kalkdünger mit S	≥ 2	CaSO_4	≥ 80 % CaO	Kohlensaurer Kalk mit S Magnesiumkalk mit S

3.1.1 Mineraldünger auf Sulfat-Basis

Als Düngemittel genutzt werden vor allem Ammonium-, Kalium-, Calcium- und Magnesiumsulfat. Auf Grund der engen Verknüpfung des Stickstoff- und Schwefel-Bedarfs werden oft kombinierte N/S-Dünger angewandt. Alle genannten festen Düngemittel stehen in der Regel als Granulate zur Verfügung.

Gips (Calciumsulfat) enthält ebenfalls Sulfat, der jedoch im Vergleich zu Ammonium-, Kalium- oder Magnesiumsulfat etwas geringer in Wasser löslich ist. Diese geringere Sulfat-Löslichkeit ist unter praktischen Bedingungen im Sinne der S-Bereitstellung für die Pflanzen kein Problem. Gips ist deshalb, wie alle anderen Sulfat-Dünger, für die aktuelle Nährstoffversorgung gut geeignet, nicht jedoch, wie manchmal vermutet, für eine Vorratsdüngung. Bei erwartetem akutem Mangel ist eine frühzeitige Anwendung empfehlenswert.

Neben einer Vielzahl von S-haltigen Feststoffdüngern stehen alternativ auch Flüssigdünger auf Basis von Ammoniumsulfat und/oder Ammoniumthiosulfat (ATS), häufig in Mischung mit Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung, zur Verfügung. Der im ATS gebundene Schwefel wird über Zwischenstufen vergleichsweise schnell ebenfalls in die pflanzenverfügbare Sulfatform umgewandelt.

Der Vorteil des Einsatzes von Kalium- und Magnesiumsulfaten besteht vor allem darin, dass die S-Düngung unabhängig von der N-Gabe erfolgen kann. Das empfiehlt sich z. B. bei Restriktionen in Bezug auf die Höhe und/oder den Zeitpunkt der Stickstoffdüngung und gleichzeitiger Notwendigkeit einer Mg- oder K-Düngung.

3.1.2 Elementarer Schwefel

Elementarer Schwefel muss zunächst von Bodenbakterien (den sogenannten Thiobakterien) zu Sulfat umgewandelt werden, was sich insbesondere bei Bodentemperaturen unter 10 °C über einen längeren Zeitraum hinziehen kann. Die Wirksamkeit dieser S-Form ist deshalb entscheidend vom Ausmaß der Umwandlung in Sulfat abhängig. Dies wiederum wird im Wesentlichen durch den Vermahlungsgrad (nicht zu verwechseln mit der Korngröße des Düngemittels z. B. Linsen) des elementaren Schwefels sowie durch Bodentemperatur und biologische Aktivität des Bodens bestimmt: Je geringer der Vermahlungsgrad des Schwefels, umso langsamer ist dessen Umsetzung. Der unter-

schiedliche Vermahlungsgrad und damit die sich im Jahresverlauf einstellende Düngewirkung ist (sofern nicht deklariert) vom Anwender nur über die Zuhilfenahme eines Labors nachprüfbar. Die im Markt angebotenen Schwefel-Vermahlungsgrade reichen von kolloidal ($< 1 \mu\text{m}$; sehr teuer; relativ rasche Umsetzung zum Sulfat im Anwendungsjahr) über Schwefelblüte ($38 \mu\text{m}$; mittelfristige Schwefel-Umsetzung) bis zum „grobkörnigen“ Schwefel aus natürlichen Vorkommen (125 bis über $1000 \mu\text{m}$; preiswert, verzögerte Pflanzenverfügbarkeit).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit elementarem Schwefel, ausgenommen bei kolloidalem Vermahlungsgrad, eine Behebung von Schwefel-Mangel mit vertretbaren Aufwandmengen nicht zu erreichen ist. Zu beachten ist zudem, dass insbesondere Schwefeldünger in elementarer Form (ebenso wie ammoniumhaltige S-Dünger) bodenversauernd wirken.

3.1.3 Dünger aus industriellen Prozessen auf mineralischer Basis

Bei verschiedenen Produktions- und Recyclingverfahren der Industrie, aber auch bei der Abwasseraufbereitung und zahlreichen weiteren Prozesse wird das entstehende Ammoniak mit Schwefelsäure neutralisiert. Entsprechend der geltenden Düngemittelverordnung können die so erzeugten Nebenprodukte beziehungsweise Restlösungen/ Abfallproduktlösungen als Ammoniumsulfat-Lösung (ASL) mit einem Mindestgehalt von 5 % N und 6 % S in Verkehr gebracht werden. Grundvoraussetzung ist dabei die Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte an Begleitstoffen nach Düngemittelverordnung. Nachteil dieser Lösungen ist bei der direkten Anwendung deren relativ geringer Nährstoffgehalt, ihr ungünstiges N:S-Verhältnis sowie die stark versauernd wirkende Düngung. Deshalb ist die Zumischung zu Gülle oder auch die industrielle Aufbereitung durch Zugabe von weiterem Stickstoff (beispielsweise als Harnstoff) verbreitet, um optimalen Nährstoffverhältnissen nahe zu kommen.

Weitere Produkte mit nennenswertem Schwefelgehalt kommen aus der Rauchgasentschwefelung, zum Beispiel der Verbrennung von Steinkohle oder der Aufbereitung von Ziegeleikalken. Diese Düngemittel dürfen in der Landwirtschaft eingesetzt werden, wenn sie einem Düngemitteltyp der Düngemittelverordnung entsprechen. Schwefelgehalte sind ab einem Gehalt von 1,5 % S in der Deklaration des jeweiligen Düngemittels aufzuführen.

3.2 Organische Dünger

Der Schwefel-Gehalt in Wirtschaftsdüngern ist großen Schwankungen unterworfen. Es zeigt sich eine Abhängigkeit von der Tierart (höhere Gehalte bei Geflügel im Vergleich zu Schweinen oder Rindern), vom Haltungssystem (S-Gehalt im Mist höher als in Gülle) als auch von Fütterung, Art und Dauer der Lagerung. Auch in Klärschlämmen und Komposten ist mit einer großen Variabilität der S-Gehalte (im Wesentlichen bedingt durch die Ausgangsstoffe und Aufbereitungsverfahren) zu rechnen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Schwefelgehalte in organischen Düngern

Dünger	S-Gehalt [kg/t bzw. kg/m ³]	Sulfat-Anteil [%]	C:S-Verhältnis
Stallmist	0,3 – 0,8	< 10	80 – 90
Gülle	0,2 – 0,7	10 – 20	30 – 50
Jauche	0,2 – 0,3	60 – 80	10 – 15
Biokompost	0,3 – 0,5	< 10	60 – 80
Klärschlamm	0,8 – 1,0	< 30	10 – 30

Prinzipiell gilt, dass der S-Gehalt in organischen Düngern (ähnlich wie dies auch für den Stickstoff-Gehalt bekannt ist) mit zunehmenden Trockenmassegehalt ansteigt. Der Anteil an direkt pflanzenverfügbarem Sulfat-Schwefel ist in der Regel als gering einzustufen. Das bedeutet, dass die S-Verfügbarkeit aus diesen organischen Düngern vor allem von den Mineralisationsbedingungen (Bodentemperatur und -feuchte) abhängig ist. Im Anwendungsjahr stehen der angebauten Kultur daher normalerweise weniger als 10 % der mit dem organischen Dünger applizierten S-Menge zur Verfügung. Mittel- bis langfristig kann durch den kontinuierlichen Einsatz organischer Dünger mit einem Anstieg des Gesamt-Schwefelgehaltes im Boden und damit mit einer erhöhten S-Anlieferung aus dem Humusvorrat gerechnet werden. Allerdings ist (ähnlich wie bei der N-Mineralisation) häufig die zeitliche Übereinstimmung zwischen S-Bedarf der Pflanzenbestände und S-Mineralisation nicht gegeben. Insbesondere bei Winterraps und -getreide, die schon im zeitigen Frühjahr eine ausreichende S-Versorgung benötigen, reicht die S-Nachlieferung aus dem organischen S-Bodenvorrat oft nicht aus.

4. Schwefel-Düngung in der Praxis

4.1 Düngungshöhe

Die Höhe der Schwefel-Düngung sollte sich am Bedarf der Pflanze orientieren (s. Kap. 2). Dazu stehen verschiedene Diagnosesysteme zur Verfügung, deren Treffsicherheit allerdings beschränkt ist (s. Kapitel 3). In der Praxis wird daher oft auf Angaben zur sogenannten „angemessenen S-Düngerhöhe“ zurückgegriffen, die im Wesentlichen aus Feldversuchen verschiedener Officialberatungsinstitutionen abgeleitet wurden (Tabelle 7).

Tabelle 7: S-Düngemengen zu verschiedenen Kulturen

Kultur	S-Düngemenge [kg/ha]
Getreide/Kartoffeln/Mais/Zuckerrüben	10 – 25
Winterraps	30 – 50
Grünland	20 – 40

Der jeweils untere Bereich der in Tabelle 7 genannten S-Düngermengen kann als Orientierung für Standorte dienen, die in den zurückliegenden Jahren noch keine S-Mangelsituationen gezeigt haben und regelmäßig mit organischen Düngern versorgt wurden, sowie eine gute Durchwurzelung für die angebaute Kultur ermöglichen. Eine höhere S-Düngemenge sollte insbesondere dann eingesetzt werden, wenn auf dem Standort in der Vergangenheit schon einmal S-Mangel festgestellt wurde und zudem aufgrund der Herbst-/Winterwitterung Auswaschungsverluste zu vermuten und die Wachstumsbedingungen zu Vegetationsbeginn als schwierig einzustufen sind oder ein deutlich überdurchschnittlicher Ertrag realisiert werden kann. Für Grünland ist darüber hinaus die Nutzungsrichtung (Weide/Schnittnutzung) und -intensität zu berücksichtigen.

4.2 Düngetermine

Schwefel in Form von Sulfat ist ähnlich verlagerungsgefährdet wie Stickstoff in Form von Nitrat (s. Kapitel 1.1). Eine Vorratsdüngung ist deshalb nicht möglich. Eine Schwefel-Düngung sollte daher normalerweise zu Beginn bzw. während der Hauptvegetationsperiode der Kultur erfolgen. Eine generelle Herbsdüngung ist nicht zu empfehlen,

da einerseits Winterungen für ihre Entwicklung vor Winter in der Regel genug Schwefel im Boden vorfinden und andererseits bei Sommerungen der Zeitraum bis zum Anbau viel zu lang ist, um eine ausreichende Schwefel-Düngewirkung zu gewährleisten. Eine Schwefel-Düngung im Herbst zu Winterraps (10 – 20 kg S/ha) kann auf leichteren Böden und bei hohen Niederschlägen im Spätsommer/Herbst, sowie bei schwierigen Bodenbedingungen, pfluglosen Bestellverfahren oder unzureichender Wurzel Ausbildung sinnvoll sein.

Immer dann, wenn Schwefel-Schätzrahmen, Boden- und/oder Pflanzenanalyse eine Schwefel-Düngung anraten, werden in der Regel so hohe Schwefelmengen benötigt, dass sich eine Kombination mit der Düngung anderer Nährstoffe (N, P, K, Mg, ...) auch aus arbeitswirtschaftlichen Gründen anbietet. Bei allen Kulturen empfiehlt es sich, den Schwefel-Bedarf mit der Düngung zu Vegetationsbeginn abzudecken. Sollte bei Wintergetreide versäumt worden sein, die Schwefel-Versorgung mit der ersten Düngergabe abzudecken, muss dies spätestens zur zweiten N-Gabe zum Schosbeginn erfolgen. Eine Schwefel-Düngung zum Ährenschieben kommt unter ertraglichen Gesichtspunkten zu spät, wirkt aber unter S-Mangelbedingungen qualitätsfördernd. Im Grünland empfiehlt sich bei S-Bedarf eine Aufteilung der S-Düngung.

4.3 Düngesysteme

Die meisten Schwefeldünger sind für eine Applikation über den Boden vorgesehen. Die Bodendüngung ist immer dann zu empfehlen, wenn größere Mengen an Schwefel gedüngt werden müssen. Sollen dagegen nur Bedarfsspitzen abgedeckt oder soll nur latentem Schwefelmangel vorgebeugt werden, ist eher eine Blattdüngung anzuraten. Diese hat den Vorteil, dass die im Blattdünger enthaltenen Nährstoffe gut von der Pflanze aufgenommen werden können, unmittelbar wirken und mit Pflanzenschutzmaßnahmen kombiniert werden können. Nachteilig ist, dass man mit einer einmaligen Blattdüngung nur relativ geringe Schwefelmengen ausbringen kann. Bei akut sichtbarem Schwefelmangel kann mit sulfathaltigen Blattdüngern dem Mangel relativ rasch entgegengewirkt werden. In solchen Fällen sind jedoch erhöhte Aufwandmengen und bis zu drei Überfahrten erforderlich. Wird der Mangel früh erkannt und behandelt, sind noch einigermaßen befriedigend hohe Erträge erzielbar. Bei länger anhaltendem Mangel können mit der Blattdüngung allenfalls noch die Symptome beseitigt werden. Hohe

Erträge sind dann nicht mehr möglich. Dies liegt daran, dass zum einen in dieser Situation die Deckung des hohen Schwefelbedarfs durch eine Blattdüngung kaum erfolgen kann und zum anderen pflanzenphysiologisch zu spät kommt, um voll ertragswirksam zu werden.

Bei Einsatz von N-Düngern mit hohem Schwefelanteil in der ersten Gabe ist bei der zweiten oder dritten N-Gabe die Verwendung eines schwefelfreien N-Düngers anzuraten, um keinen unnötigen Schwefelüberschuss zu erzeugen.

5. Zusammenfassung

Seit Einführung der Rauchgasentschwefelung in den 1980er Jahren ist ein stetiger Rückgang von Schwefelverbindungen in der Luft festzustellen. Der S-Eintrag in landwirtschaftlich genutzte Flächen über „sauren Regen“ und trockene Deposition bleibt daher aus und es kommt je nach Pflanzenart, Standortbedingungen und Düngeverhalten des Landwirts vermehrt zu geringen bis starkem Schwefelmangel in Kulturpflanzenbeständen. Dies bedeutet in der Regel Ertragseinbußen und Qualitätsminderung. Schwefel ist als Bestandteil essentieller Aminosäuren vor allem bedeutsam für die Proteinsynthese. Weiterhin ist Schwefel in bestimmten Pflanzen wie Raps oder Zwiebelgewächsen in Form von organischen Pflanzeninhaltsstoffen vorzufinden, wodurch u. a. der charakteristische Geschmack entsteht. Getreide (insbesondere Backweizen wegen des höheren Proteingehaltes) benötigt vor allem zu Beginn der Schossphase eine ausreichende Schwefelversorgung.

Die Pflanze kann über ihre Blätter Schwefel in Form von Schwefeldioxid aus der Luft aufnehmen, entscheidend ist aber die Aufnahme über die Wurzeln aus der Bodenlösung in Form von Sulfat. Eine erhöhte Auswaschungsgefahr des in der Bodenlösung relativ mobilen Sulfats besteht vor allem auf leichten Böden, bei hohen Niederschlägen und auf Flächen ohne Bewuchs. Der richtige Zeitpunkt für die Düngung ist daher zu beachten. Da Schwefelmangel nicht auf jedem Standort, für jede Kulturart oder jedes Jahr gegeben ist, sollte der Schwefel-Düngebedarf schlagspezifisch beurteilt werden. Dazu stehen folgende drei Methoden zur Verfügung: Der Schwefelschätzrahmen, die S_{\min} -Bodenuntersuchung und die Pflanzenanalyse (vgl. Kapitel 2). Die Methoden unterscheiden sich in der Genauigkeit und im Kosten- und Zeitaufwand (vgl. Tabelle 4).

Für die S-Düngung stehen verschiedene Alternativen zur Verfügung. Von besonderer Bedeutung in der Praxis sind schwefelhaltige Mineraldünger auf Sulfat-Basis. Bei einer S-Düngung mit S-haltigen Kalkdüngern ist aufgrund der langsamen S-Löslichkeit auf eine rechtzeitige und gut verteilte Einbringung vor der Aussaat zu achten. Auch die Verwendung von elementarem Schwefel (dieser muss im Boden jedoch erst mikrobiell zu Sulfat umgesetzt werden) oder von Abfallprodukten aus der Industrie ist möglich. Bei der Düngung mit elementarem Schwefel ist wegen der starken versauernden Wirkung jedoch unbedingt auf den Kalkausgleich zu achten. Beim Einsatz organischer Dünger, die je nach Tierart unterschiedliche Schwefelgehalte aufweisen, ist zu beachten, dass die Pflanzenverfügbarkeit des Schwefels abhängig ist von den Umsetzungsprozessen im Boden. Weiterhin ist in jedem Falle der richtige Ausbringungszeitpunkt zu wählen.

6. Häufig gestellte Fragen zur Schwefeldüngung

Warum wird Schwefel-Düngung immer wichtiger?

Früher gelangten hohe Mengen an Schwefel aus Verbrennungsanlagen der Industrie und aus Haushalten mittels sogenanntem „sauren Regen“ in den Boden. Durch den Einbau von Entschwefelungsanlagen und anderen Umweltmaßnahmen wurde diese Form der Schwefel-Deposition deutlich verringert. Daher sind die Landwirte gefordert, der Kultur während der Vegetationsperiode über Düngungsmaßnahmen Schwefel zuzuführen.

Welches sind die Hauptaufgaben des Schwefels beim Pflanzenwachstum?

Von Bedeutung im pflanzlichen Metabolismus ist die Wechselwirkung zwischen Schwefel und Stickstoff insbesondere im Eiweißstoffwechsel. Schwefel-Mangel behindert die Weiterverarbeitung von aufgenommenem Stickstoff im Stoffwechsel der Pflanze. Eiweiße und Enzyme können nicht in einer für normales Wachstum erforderlichen Menge gebildet werden. Ertrags- und Qualitätsminderungen sind die Folge.

Wie erkennt man Schwefel-Mangel?

An der Einzelpflanze zeigen sich Schwefel-Mangelsymptome im Gegensatz zum N-Mangel häufig zuerst an den jungen Trieben, die sich vergleichbar dem N-Mangel hell-

grün bis gelb verfärben. Bei Raps können darüber hinaus rötliche Verfärbungen auftreten. Unverwechselbare Symptome beim Raps sind hellgelbe, kleinere, weißliche Blüten und löffelartig verformte Blätter

Wann tritt Schwefel-Mangel am deutlichsten in Erscheinung?

Zunächst ist zwischen latentem und akutem S-Mangel zu unterscheiden. Ein latenter Mangel ist vor Ort im Bestand schwer feststellbar (Pflanzenanalyse notwendig), führt aber bereits zu Ertragsminderungen. Akuter S-Mangel wird durch typische Mangelsymptome an den Pflanzen sichtbar. Typisch ist ein nesterweises Auftreten im Bestand. Schwefel-Mangel tritt in der Hauptwachstumsphase (Zeiten des höchsten Nährstoffbedarfes) am ehesten auf. Die Nutzung des Schwefel-Schätzrahmens, die S_{\min} -Bodenuntersuchung oder die Pflanzenanalyse reichen in der Regel aus, um die Notwendigkeit einer Düngungsmaßnahme einzuschätzen. Gleichfalls ist eine S-Düngung orientiert am Pflanzenbedarf (Faustzahlen abgeleitet aus Feldversuchen) möglich, um Schwefel-Mangel vorzubeugen.

Warum brauchen Kreuzblütler (Raps) mehr Schwefel als andere Pflanzen?

Für bestimmte Pflanzenarten sind S-haltige sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe kennzeichnend. Dies hat einen höheren S-Bedarf zur Folge.

Sollte Schwefel mehrmals im Jahr gedüngt werden?

In der Regel reicht eine einmalige S-Gabe im Frühjahr. Auf Grünland und gegebenenfalls zur Spätdüngung von Qualitätsweizen ist eine weitere S-Gabe empfehlenswert. Nur bei schwierigen Wachstumsbedingungen sollte Raps eine geringe Schwefelgabe im Herbst erhalten.

Wie aussagekräftig ist die S_{\min} -Bodenuntersuchung?

Die S_{\min} -Analyse erlaubt häufig keine sichere Prognose des erforderlichen Düngedarfs. Selbst bei niedrigen S_{\min} -Gehalten konnte in Feldversuchen nicht immer ein S-Düngeeffekt beobachtet werden. Lediglich in Winterrapsbeständen sollte bei S_{\min} -Gehalten von weniger als 60 kg/ha S (0-60 cm) eine S-Düngung in Erwägung gezogen werden.

Kann bei hohen S_{\min} -Gehalten auf eine S-Düngung verzichtet werden?

In der Regel kann bei hohen S_{\min} -Gehalten (mehr als 60 kg/ha S in 0 – 60 cm) auf eine S-Düngung verzichtet werden. Zu beachten sind allerdings die Bodenstruktur und eine eventuell schwach ausgebildete Durchwurzelung des Bodens.

Wie lange braucht elementarer Schwefel bis er sich im Boden umsetzt?

Der Vermahlungsgrad des elementaren Schwefels entscheidet über die Umwandlungsgeschwindigkeit in die Sulfat-Form. Für eine schnelle Umsetzung sollte der Schwefel sehr fein vermahlen sein ($< 1 \mu\text{m}$), aber auch dann ist meist mit einem längeren Zeitraum (6 Wochen und mehr) zu rechnen. Je feiner die Vermahlung ist, umso teurer ist elementarer Schwefel allerdings. Zudem ist der Vermahlungsgrad schwer nachprüfbar. Für die Beseitigung von akutem S-Mangel ist elementarer Schwefel daher nicht geeignet.

Kann man mit elementarem Schwefel Böden nachhaltig aufdüngen?

Eine Aufdüngung des Bodens über den Bedarf der angebauten Kultur hinaus ist auch mit elementarem Schwefel nicht sinnvoll, da die Umsetzung zu Sulfat stetig erfolgt und dieses dann in der vegetationslosen Zeit ausgewaschen werden kann. Um andererseits den hohen Pflanzenbedarf während der Vegetationszeit sicher zu stellen, müssten große Mengen gedüngt werden, was nicht wirtschaftlich ist. Eine Schwefel-Vorratsdüngung ist daher nicht möglich.

Ist der Schwefel im Korn-Kali, zur Stoppel gestreut, im Frühjahr noch pflanzenverfügbar?

Stoppeldüngung mit Korn-Kali sollte auf leichteren Böden unterbleiben, da mit einer schnellen Auswaschung zu rechnen ist, denn der im Korn-Kali enthaltene Sulfat-Schwefel ist sehr gut wasserlöslich. Auf schweren Böden könnte Schwefel aus dieser Düngungsmaßnahme nach Winter noch zur Verfügung stehen. Um möglichst viel des Schwefels für die Pflanzen nutzen zu können, sollte Korn-Kali allerdings bevorzugt im Frühjahr gestreut werden.

Ist eine Herbstdüngung mit Korn-Kali zu Raps geeignet, einen S-Düngebedarf zu decken?

Eine Herbstdüngung mit Korn-Kali zu Raps ist geeignet, den S-Bedarf im Herbst zu decken.

Wie schnell wäscht Schwefel aus?

Sulfat-Schwefel ist ähnlich schnell und gut wasserlöslich wie Nitrat-Stickstoff und muss ebenso wie dieser in der Düngungsstrategie behandelt werden.

Sollte ein optimales N:S-Verhältnis bei der Düngung beachtet werden?

Wenn ein Stickstoff-Schwefel-Dünger eingesetzt wird zur Abdeckung der S-Versorgung, sollte ein an die Pflanzenart angepasstes N:S-Verhältnis im ausgewählten Dünger vorliegen. Dies führt zu stabilen Erträgen und Qualitäten und gehört zu einer ordnungsgemäßen Bewirtschaftung im Ackerbau. Die Höhe der S-Düngung sollte sich am Bedarf der Pflanze orientieren.

Schwefel kann in Kombination mit anderen Nährstoffen ausgebracht werden. Gibt es hier aus pflanzenbaulicher Sicht Präferenzen?

Oft bietet sich eine Kombination mit einer N-, K- oder NPK-Düngungsmaßnahme an, da im zeitigen Frühjahr (bedingt durch mögliche S-Auswaschungsverluste über Winter und steigendem S-Bedarf der Kulturpflanzen) höhere S-Mengen benötigt werden,.

Können mit einer überhöhten S-Düngung Pflanzen geschädigt werden?

Unter Praxisbedingungen ist dies nicht zu erwarten, aber eine deutlich überhöhte S-Düngung ist wenig sinnvoll, da der überschüssige Schwefel nach der Ernte auswäscht und zudem mit einem erhöhten Düngerpreis in Rechnung zu stellen ist.

Ist eine Schwefel-Blattdüngung effizienter als eine Schwefel-Düngung über den Boden?

Die Schwefel-Blattdüngung ist als Notmaßnahme bei akutem Schwefel-Mangel anzusehen und zur Überbrückung schwieriger Aufnahmephasen aus dem Boden geeignet. Die mit einer solchen Maßnahme ausgebrachten S-Mengen sind in der Regel zu gering um den gesamten S-Bedarf abzudecken.

Reichen die Schwefel-Gehalte organischer Dünger zur Bedarfsdeckung?

Nein. Der direkt pflanzenverfügbare S-Anteil ist als gering einzustufen.

Wann sollte Schwefel gedüngt werden?

Winterraps und Getreide benötigen schon im zeitigen Frühjahr eine ausreichende S-Versorgung. Somit sollte Schwefel bevorzugt mit der ersten Dünger-Gabe ausgebracht werden. Die S-Mineralisation aus dem organischen S-Bodenvorrat reicht insbesondere zu Vegetationsbeginn oft nicht aus, da die Freisetzung aus dem Humuspool zu spät kommt.

Lohnt eine Schwefel-Düngung als Qualitätsgabe?

Eine Schwefel-Düngung zur Qualitätsgabe ist insbesondere dann zu empfehlen, wenn stärkerer Schwefel-Mangel herrscht und hohe Proteingehalte gewährleistet sein müssen.

Können optische Sensoren Schwefel-Mangel erkennen?

Nein. Eine ausreichende Schwefel-Versorgung ist vielmehr Voraussetzung für verlässliche Düngeempfehlung mittels optischer Stickstoff-Sensoren.

Ist die Untersuchung der Schwefel-Konzentration in der Gras-/Maissilage sinnvoll einsetzbar für die Beurteilung der S-Versorgung?

Ja. Niedrige Konzentrationen bzw. weite N:S-Verhältnisse sind Hinweise darauf, dass bei der nächsten Nutzung oder Kultur S-Mangel auftreten könnte.