

490

# Schwefeldüngung – Welche Ansprüche stellt der Mais?

## Aufgrund seiner langen Wachstumszeit profitiert Mais von der mikrobiellen S-Freisetzung der Böden

Reinhold Gutser und Reinhold Manhart, Freising

In diesem Beitrag sollen zunächst wichtige Grundkenntnisse zum Schwefelumsatz im Boden sowie zur Wirkung mineralischer und organischer Schwefeldüngung vermittelt werden. Zur Grobsteuerung der S-Düngung eignet sich die Bilanzierung des S-Inputs und S-Outputs. Aus den dargelegten Grundkenntnissen lässt sich das Nährstoff- und Düngungsbedürfnis von Mais für das Nährelement Schwefel ableiten und in sinnvolle Strategien für Betriebe ohne (Körnermais) und mit Tierhaltung (Silomais) umsetzen.

In den vergangenen 15 Jahren sind die Schwefelmissionen in der Bundesrepublik Deutschland von früher bis zu 50 kg auf derzeit im Mittel etwa 10 kg S (Bayern 1999: 6 kg) je ha und Jahr zurückgegangen. Neben dem Übergang zu S-ärmerem Diesel- und Heizöl (ab 1979) war dieser Rückgang im Wesentlichen auf die Rauchgasentschwefelung in Großfeuerungsanlagen (ab 1985) zurückzuführen. Nachdem mittlere Ernten landwirtschaftlicher Kulturen zwischen 15 und 35 kg S je ha abführen (Tab. 1), ist seit Anfang der neunziger Jahre eine ausreichende S-Ernährung der Pflanzen nicht auf allen Standorten gesichert und zukünftig ohne ergänzende S-Düngung wohl durchwegs nicht mehr gegeben.

Die Böden konnten die langjährig eingebrachten hohen S-Mengen nur unwesentlich speichern. Der S-Überhang

Tab. 1: S-Abfuhr über mittlere Ernten (kg S/ha)

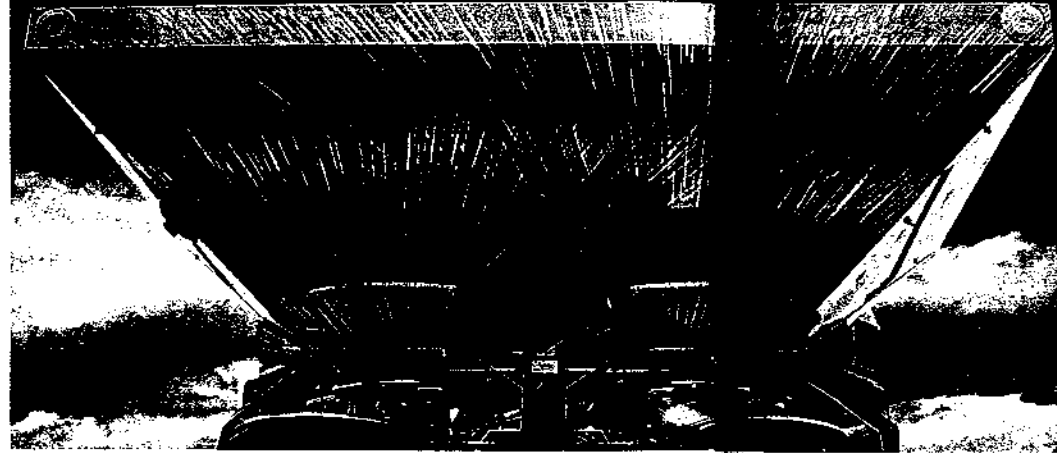
Getreide	16 (25)	Zü-Rüben	10 (35)
Raps	20 (70)	Grünland	40
Kü-Mais	13 (20)	Klee gras	50
Si-Mais	22		

\* Gesamter S-Prozess

(Input minus Output) ging deshalb als Sulfatschwefel über das Sickerwasser verloren. Mit dem Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) wurden zudem bedeutende Mengen an für die Bodenfruchtbarkeit wichtigen Basen ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ) ausgewaschen. Dieser Zusammenhang verdeutlicht, dass zukünftig über die Optimierung der S-Düngung höhere Überschuss-Salden (Düngung minus Abfuhr) vermieden werden sollten (Tab. 2).

### Wo tritt Schwefelmangel auf?

Die Pflanzen nehmen das Nährelement S nahezu ausschließlich als Sulfat-Ion über die Wurzeln auf. Eine Aufnahme



über die Blätter ist ebenfalls möglich – auch bei Blattdüngung überwiegt jedoch die Aufnahme über die Wurzeln, da blatt-applizierter Dünger durch das Niederschlagswasser auf den Boden abgewaschen wird. Auf Böden, die bereits frühzeitig zu Vegetationsbeginn ausreichende Mengen an Sulfat zur Verfügung stellen, entwickeln sich die Pflanzen ohne S-Mangelprobleme. Nachdem Sulfat-S im Boden gut beweglich ist, ist diese Voraussetzung auf auswaschungsgefährdeten Standorten wie sandigen oder flachgründigen Böden ohne gezielte Düngung immer seltener gegeben. Noch am ehesten trifft dies für humusreichere Böden zu, da diese einen

höheren S-Vorrat in der Humussubstanz besitzen, so dass bei günstigen Temperatur- und Feuchtebedingungen über die mikrobielle Tätigkeit eine laufende Freisetzung an Sulfat-S stattfinden kann (S-Nettofreisetzung). Sowohl natürlicher als auch durch die Bewirtschaftung als Folge intensiver organischer Düngung angereicherter Humus beinhalten ein gutes Freisetzungspotenzial, dessen Größe allerdings abhängig ist von dem mikrobiell abbaubaren Anteil der organischen Substanz und dessen C/S Quotienten.

Je niedriger dieser ist, umso mehr kann freigesetzt werden. Die während einer Vegetationsperiode freigesetzten S-Mengen können je nach Größe des S-Pools und der kulturspezifischen Dauer der Wachstumszeit für mitteleuropäische Böden etwa zwischen 5 und 30 kg Schwefel/ha betragen. Die freigesetzten Mengen müssen jedoch im Mittel der Jahre wieder über die Zufuhr von organischer Substanz und mineralischer Ergänzungsdüngung ersetzt werden. Entscheidend ist zudem, ob der zeitliche Verlauf der Freisetzung mit dem zeitlichen Bedarf der Kulturpflan-

ze übereinstimmt. Kulturen mit kurzer Vegetationszeit – und diese noch überwiegend in der kühleren Jahreszeit wie im Frühjahr (z. B. Wi-Raps, Wi-Gerste) – profitieren von der später ablaufenden S-Freisetzung der Böden verständlicherweise weniger als längerwachsende Kulturen

wie Zuckerrüben oder Mais, deren Hauptwachstumszeit in den wärmeren Monaten Juni bis September liegt.

Auffallend ist der bekannt enge Zusammenhang zwischen Schwefel- und Stickstoff-Freisetzung. Letztere erreicht allerdings ein höheres Niveau (Faktor 7 bis 10) und setzt im Freiland zeitlich häufig schon bei niedrigeren Temperaturen und früher ein (Abb. 2). Im Falle einer mangelhaften S-Versorgung der Pflanze kann sich eine frühere N-Freisetzung aus dem organischen Bodenpool in einer Verstärkung der schwefelbedingten Wachstums-hemmung auswirken.

### Steuerungsmechanismen

Wie für den Nährstoff Stickstoff (s. Gutser und Wagner, 2000) eignet sich der Saldo aus S-Input (Düngung) und S-Output (Abfuhr durch Erntegüter) für die Beurteilung der Nachhaltigkeit der S-Düngung. Bei mehrjährigen Bilanzierungsansätzen darf zudem davon ausgegangen werden, dass sich der Gewinn aus Einträgen über Niederschläge in Höhe von ca. 5–10 kg S je ha mit den unvermeidbaren Verlusten durch  $SO_2$ -Auswaschung annähernd ausgleicht, so dass sich für die Erhaltung eines guten S-Zustandes der Böden die mineralische und organische S-Düngung längerfristig an der Höhe der S-Abfuhr (für übliche Fruchtfolgen in etwa 15–30 kg S/ha und Jahr) zu orientieren hat. Für die Optimierung der S-Düngung sind sowohl Kenntnisse über die kurz- bzw. längerfristige S-Wirkung insbesondere der organischen Düngemittel als auch des Nährstoffbedarfes, der Höhe und des zeitlichen Verlaufes der S-Aufnahme einzelner Kulturen notwendig. Es muss sichergestellt sein, dass sich bezüglich der S-Düngung nicht die gleichen Fehler wie bei der N-Düngung hin-

sichtlich einer nicht ausreichenden Berücksichtigung des längerfristigen Wirkungspotenzials der organischen Dünger wiederholen. Eine hohe Sulfatauswaschung ist ebenso wie eine hohe Nitratauswaschung unerwünscht. Für Trinkwasser besteht ein Grenzwert von 240 mg  $SO_4/l$  mit Bezug auf die Korrosionseigenschaft, nicht auf den gesundheitlichen Wert des Wassers.

### S-Wirkung mineralischer Dünger

Die Düngerindustrie hat auf die Verknappung der Schwefelversorgung der Kulturpflanzen schnell reagiert, indem sie eine Vielzahl mineralischer S-Düngemittel anbietet, entweder als S-Einzeldünger oder als N-, P-, K-, Mg-, Kalk- oder Mehrnährstoff-Dünger mit wesentlichen Schwefelanteilen. Eine grobe Unterteilung dieser Düngemittel kann nach der vorliegenden S-Form vorgenommen werden: der Schwefel liegt überwiegend in Form wasserlöslicher oder wenig wasserlöslicher sulfatischer Salze oder als feinvermahlener elementarer Schwefel vor. Zum Teil werden auch Dünger mit anderen wasserlöslichen S-Verbindungen (Sulfite, Thiosulfat) angeboten. Sämtliche mineralischen S-Dünger zeigen eine mehr oder weniger schnelle S-Wirkung zur gedüngten Kultur (s. Abb. 3). Wenn kein akuter Schwefelmangel vorliegt, kann unter unseren mitteleuropäischen Klimabedingungen jede Kultur mit jeder dieser Schwefelformen optimal ernährt werden.

Eine rechtzeitige Ernährung über den Boden ist grundsätzlich sicherer als eine Blattspritzung, die häufig als Notmaßnahme eingeplant wird – in der Regel wird hierbei mit einem Sulfatdünger die schnellste Wirkung erzielt.

Tab. 2: S-Düngung und Auswaschung von Ca und Mg (Lysimeter Weihenstephan 1992/93)

S-Düngung (kg/ha) (ASS)*	Auswaschung (kg/ha)	
	Ca	Mg
S <sub>0</sub>	370	24
S <sub>50</sub>	570	34
S <sub>100</sub>	665	39

\* Ammoniumsulfatanteil

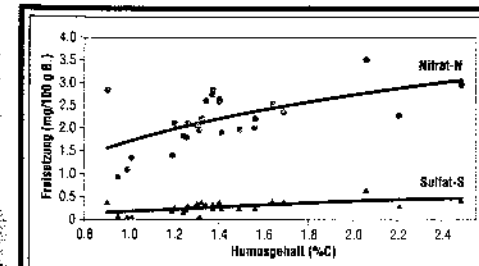


Abb. 1: Freisetzung von Nitratstickstoff und Sulfatschwefel in Abhängigkeit vom Humusgehalt der Böden (Krumenböden aus Langzeitexperimenten ohne und mit organischer Düngung; Inkubationsversuch 3 Monate)

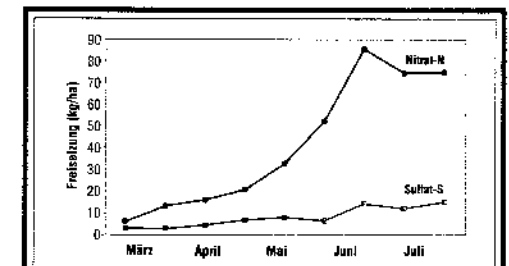


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Freisetzung von Nitratstickstoff und Sulfatschwefel eines über 8 Jahre intensiv mit Biokompost gedüngten Bodens. Messung im Freiland (vollentdeckte Brache, 24. März bis 14. Juli 1999)



(Foto: AgreConcept)

waschung im Spätherbst und über Winter wesentlich reduzieren, der im Aufwuchs der Zwischenfrüchte konservierte Schwefel wird zur Folgefucht jedoch nicht oder nur unwesentlich wirksam (Abb. 4). Zwischenfruchtmaterial weist hohe C/S-Quotienten auf (150–220); nach Einarbeitung in den Boden tritt stets eine Immobilisation von Sulfat-schwefel auch aus dem Bodenpool ein, so dass über Gründüngung kurzfristig kein positiver Beitrag für die Ernährung der

Pflanze resultiert. Langjährige Anwendung von organischen Düngern bewirkt jedoch über höhere Humusgehalte ein höheres S-Potenzial der Böden. So bringen langjährig organisch gedüngte Lössböden eine um 5–15 kg S je ha höhere Freisetzung als Vergleichsböden ohne organische Düngung (s. Abb. 5).

**Besonderheiten der Schwefelansprüche von Mais**

Pflanzen wie Kartoffel, Zuckerrüben und vor allem auch Mais profitieren infolge ihrer langen Wachstumszeit in der wärmeren Jahreszeit besonders von der Stickstofffreisetzung aus Böden. Diese Gegebenheit trifft ebenso für den Nährstoff Schwefel zu. Mais erreicht im Juli für Schwefel die höchste Aufnahmerate. Tierhaltende Betriebe weisen bedingt durch das Recycling der Wirtschaftsdünger in den Böden allgemein höhere N- und S-Gehalte auf als Marktfuchtbetriebe. Entsprechend wird Silomais in der Regel von einer vergleichsweise höheren S-Freisetzung aus den Böden begleitet als Körnermais.

Mais in Mulchsaat trifft zu Vegetationsbeginn (Ende April bis Mai) häufig auf Böden mit geringem Angebot an verfügbarem Nitratstickstoff und ebenso auch Sulfatschwefel. Die konservierende N- und S-Aufnahme der Schutzkultur (Zwischenfrucht) bedingt noch zu Vegetationsbeginn nitrat- und sulfatarme Böden. Der mikrobielle Umsatz des Mulches kann zudem in den ersten Wachstumswochen zu einer S-Immobilisation im Boden führen. Gleiches könnte auch für Mais nach Vorfrucht Getreide und folgender Strohdüngung zutreffen, wenn vor allem die Strohhülle z. B. witterungsbedingt erst ab Spätherbst einsetzt und im Frühjahr noch anhält. Strohhülle führt ebenfalls zu einer S-Immobilisation. Die S-Nachlieferung aus langjährig organisch (einschließlich Stroh und Zwischenfruchtanbau) gedüngten Böden setzt nennenswert erst ab Juni ein; folglich lässt sich ein mögliches Defizit an Sulfat-Schwefel für das Jugendwachstum von Mais (4 bis 8 Wochen) ableiten.

In Reinkulturen garantieren zudem gezielte Düngergaben in Band-, Reihen- oder Unterfußdüngung eine hohe Verwertung durch die Kulturpflanze.

insbesondere im Falle auswaschungsgefährdeter Nährstoffe. Dies sollte neben dem Nährstoff Stickstoff auch für Schwefel in seiner mobilen Sulfatform zutreffen.

In der mitteleuropäischen Literatur wird sehr wenig über Schwefelansprüche von Mais, basierend auf Feldexperimenten, berichtet. Es wäre auch nicht realistisch (Notwendigkeit, Kosten), derartige Experimente für die Zukunft zu fordern. Es ist jedoch zielführend, aus Grundlagenkenntnissen des S-Umsatzes im Boden, des Wachstumsverlaufes der Kulturpflanze und der Wirkung der S-Dünger sinnvolle Düngungsstrategien für Schwefel für klimatisch und standörtlich definierte Regionen abzuleiten.

Für den Einsatz von Düngern mit elementarem Schwefel spricht deren langsamere Startwirkung (Oxidation des Schwefels im Boden zu Sulfat-S), so dass in der frühen Vegetation des Maises eine geringere Verlustgefährdung als bei sulfatischen S-Düngern besteht.

Innerhalb der landwirtschaftlichen Kulturen gehört Mais zu den Pflanzen mit geringerem Schwefel-Düngungsbedürfnis. Cruziferen, proteinreiche Getreidearten

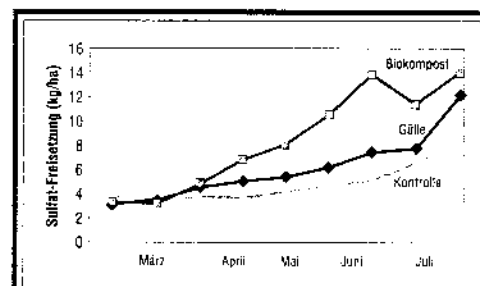


Abb. 5: Freisetzung von Sulfatschwefel aus langjährig organisch gedüngten Böden, Messung im Freiland (folienbedeckte Brache; Krume 0–25 cm; März bis Juli 1999)

7–11 kg Schwefel verabreicht. Die vorgeschlagene S-Menge lässt sich z. B. gut als Banddüngung in Kombination mit Stickstoff oberflächlich oder als Unterfuß-Düngung applizieren. Es sind jedoch andere Düngerstrategien ebenso möglich; allerdings sollte verhindert werden – und dies ist auf auswaschungsgefährdeten Böden von Bedeutung –, dass eine zu frühe Applikation von S-Düngern in Sulfatform zu größeren Auswaschungsverlusten während der langsamen Jugendentwicklung von Mais führt.

**S-Wirkung organischer Dünger**

Verglichen mit mineralischen Schwefeldüngern erreichen organische Dünger wie Gülle, Stallmist, aber auch Biotkomposte allgemein nur eine schwache Sofortwirkung; Klärschlämme und insbesondere Jauche zeigen eine deutlich schnellere Wirkung (Gutser und v. Tucher, 2000 und 2001). In einem Gefäßexperiment mit sulfatarmen Lössböden erzielten mineralische S-Dünger (z. B. Gips) zur Folgekultur Sommerweizen eine wesentlich bessere S-Wirkung als auf Basis gleicher S-Mengen eingesetzte Gülle oder Stallmist (Abb. 4).

Generell hängt die kurzfristige Wirkung der organischen Dünger vom Sulfatanteil am insgesamt enthaltenen Schwefel und vom C/S-Quotienten des Düngers ab. Die S-Gehalte von Festmist schwanken meist zwischen 0,3–0,9% S in der Trockensubstanz, die der Gülle zwischen 0,2 bis 0,6 kg S je m<sup>3</sup>; die Sulfatanteile liegen in der Regel deutlich unter 20% und die C/S-Quotienten bei 75–80.

Eine noch schwächere Sofortwirkung als die Wirtschaftsdünger zeigen grünes Pflanzenmaterial wie Zwischenfrüchte. Diese können zwar die Sulfataus-

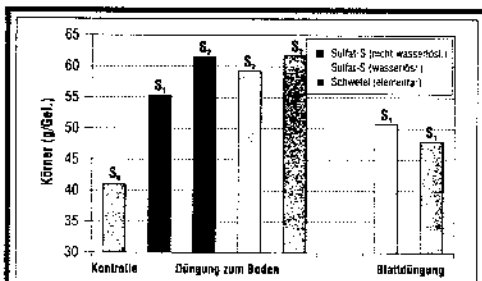


Abb. 3: Wirkung mineralischer Schwefeldüngung zu Sommerweizen (Gefäßversuch); (S<sub>1</sub> = 40; S<sub>2</sub> = 80 mg S/Gefäß)

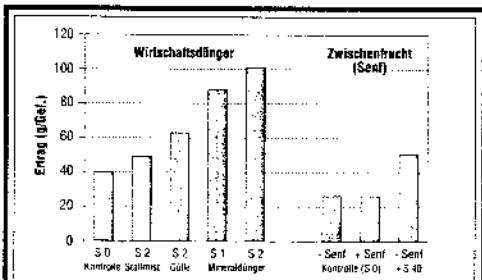


Abb. 4: Kurzfristige S-Wirkung von Wirtschaftsdüngern und Zwischenfrucht (Senf); Erträge (Korn + Stroh) von Sommerweizen auf Lössboden (Gefäßversuch); Versuch Zwischenfrucht: Gefäße über Winter im Freilen mit S-Auswaschung; S-Düngung: S<sub>1</sub> = 45; S<sub>2</sub> = 100; S<sub>40</sub> (mineralisch) = 40 mg/Gef. (Höhe der konservierten S-Menge)

**Literatur**

- Gutser, R. und v. Tucher, S. (2000): Zur Schwefelwirkung von Wirtschafts- und Sekundärrahstoffdüngern VDLVA Schriftenreihe 53, 46–63
- Gutser, R. und Wagner, B. (2000): Gute Noten für den Maisanbau. Mais 28, 48–51
- Gutser, R. und v. Tucher, S. (2000): Release and plant availability of sulfur from catch crops. Proceedings Int. IFoAM Conference, Basel, S. 30
- Pionmaier, U. (2000): Nichtmineralisation von Stickstoff und Schwefel auf langjährig organisch gedüngten Böden. Diplomarbeit, Lehrstuhl Pflanzenernährung der TU München