

# Schwefelmangel erkennen

Ewald Schnug

Mit Schwefelmangel durch's Vegetationsjahr



**Junge Pflanzen mit S-Mangel im November (Schleswig-Holstein)**



**Junge Rapspflanzen im Frühjahr  
(Gegenlicht am Abend) (Schleswig-Holstein)**



**S-Mangel an Raps (Altenhof, Schleswig-Holstein, April 1981)**

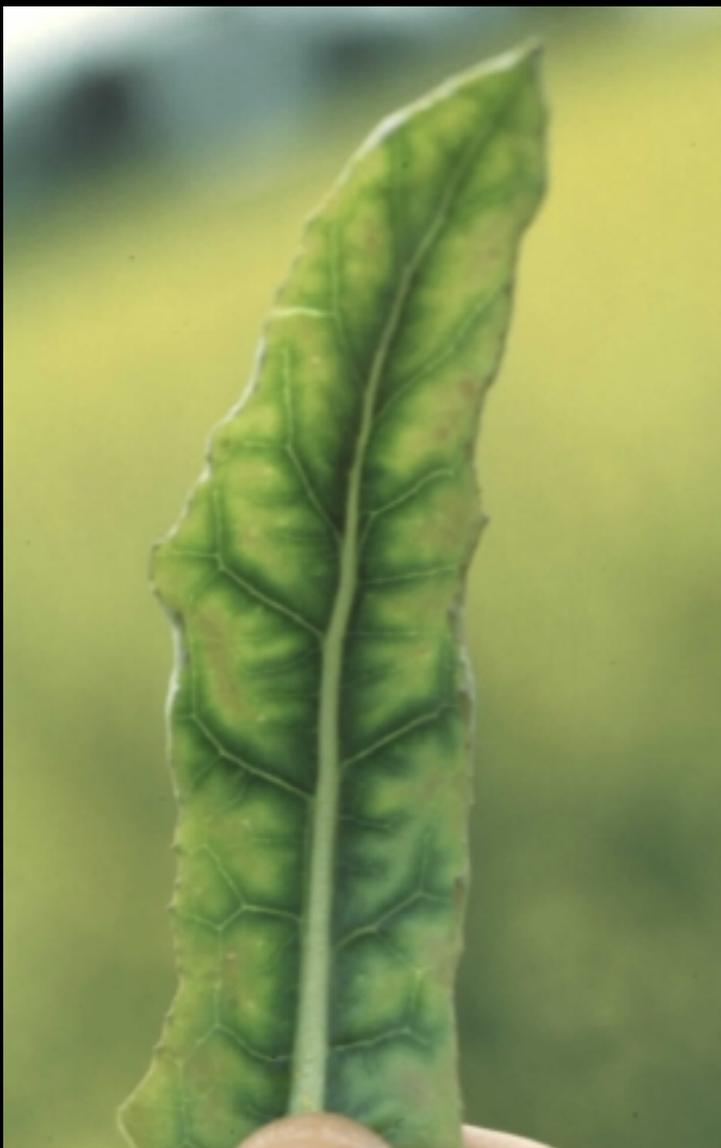


Rapsfeld Nähe Ilseburg (Nordharz, 2000)



mit Schwefelmangel

ohne Schwefelmangel



Bereiche um die Blattadern  
bleiben dunkler grün



Bei länger dauerndem  
S-Mangel bilden sich  
rotgefärbte Anthocyane



## Anthocyanbildung und Deformation



Weiblühender Raps bei Ilsenburg (Nordharz, 2000)



Weiblhender Raps bei Hornburg (Nordharz, 2001)



**Weißblüher durch S-Mangel**



**Kleinere und weiße Blütenblätter bei S-Mangel**



**Weißblüher bei S-Mangel**



Rechts: S-Mangel



**Abreifender S-Mangel Bestand**



Rechts: S-Mangel, keine  
Samenbildung,  
Anthocyananreicherung in  
Schotenwänden



Geringer Samenansatz in Schoten von S-Mangel Pflanzen



S-Mangel Flecken in Raps und Weizen (Darry, Ostholstein)



S-Mangel im Weizen (Stapelburg, Nordharz, 2000)



S-Mangel Flecken in Weizen (Schleswig-Holstein)



**N-Mangel Fleck durch technischen Defekt**



S-Mangel Flecken in Weizen (Wulfshagen, Schleswig-Holstein)



## S-Mangel in Weizen im Gegenlicht



Weizenpflanze mit S-Mangel



## S-Mangel an Raps- und Getreisedurchwuchs



Weizenpflanzen aus 3 Zonen eines S-Mangel Fleckens



**S-Mangel in einem Weizenbestand bei Ährenschieben  
(Darry, Ostholstein)**



**S-Mangel in reifendem Weizenbestand (Darry, Ostholstein)**



**S-Mangel Flecken in einem Zuckerrübenbestand  
(Wulfshagen, Schleswig-Holstein, 1999)**



Zuckerrübe mit S-Mangel  
(Chlorose und Starrtracht)



Zuckerrübe mit S-Mangel



**Zuckerrübenbestand mit S-Mangel im Gegenlicht**



## Deformationen an den Spitzen von Zuckerrübenblättern mit S-Mangel



**Unten: Blätter von Zuckerrüben  
mit S-Mangel**



**Rechts: Rübe einer  
S-Mangel Pflanze**

# SCHWEFELMANGEL ERKENNEN

## Fazit: sichtbare Symptome von Schwefelmangel

- sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Bestandesführung
- treten in allen Wachstumsstadien auf,
- sind bei **RAPS** relativ **sicher** zu erkennen  
bei **GETREIDE** (einschließlich Mais) und  
**ZUCKERRÜBEN** nur in Verbindung mit hydrologischen  
Standortinformationen



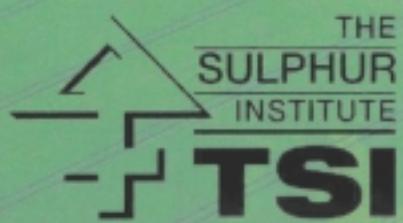
Chlorose von Winterweizen zu Schotfbeginn

Starrnacht von Winterweizen bei Anfruchtüber

Reduzierte Anzahl Körner pro Ähre von Winterweizen



Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde  
Helmholtzstrasse 107, 38116 Braunschweig (FAL)  
Bundesallee 51, D-38116 Braunschweig  
Phone: +49-531-946-300 Fax: +49-531-946-301  
e-mail: [swal@fal.de](mailto:swal@fal.de)



THE  
SULPHUR  
INSTITUTE  
TSI

1130 Connecticut Avenue, N.W.  
Suite 613 - Washington, D.C. 20036  
Phone: +1(202) 331-9600 Fax: +1(202) 331-2940  
e-mail: [sulfur@the-sulphur-institute.org](mailto:sulfur@the-sulphur-institute.org)

Schwefel  
Getreide

Atmosphärische Schwefeldepositionen waren eine bedeutende Schwefelquelle für Pflanzen, die jedoch, bedingt durch die Maßnahmen zur Rauchgasentschwefelung, kontinuierlich während der letzten 15 Jahre abnahmen und mittlerweile ein Niveau von durchschnittlich nur noch  $10 \text{ kg S ha}^{-1}$  erreicht haben, das dem vor Beginn der Industrialisierung entspricht. Gleich hohe Mengen Schwefel werden über die Mineralisierung der organischen Substanz im Boden freigesetzt. Trotzdem reichen beide Schwefelquellen nicht aus, um den Schwefelbedarf eines Getreidebestandes von  $40 \text{ kg S ha}^{-1}$  bei Höchstserträgen zu decken. Nur, wenn die Pflanzen sulfatreiches ( $\geq 5\text{--}10 \text{ mg S l}^{-1}$ ), oberflächennahes Grundwasser und/oder kapillar aufsteigendes Bodenwasser aufnehmen können, ist die Schwefelbilanz auch ohne Düngung gedeckt.

Die Symptomatologie von Schwefelmangel in Getreide und Mais ist im Vergleich zu Raps vergleichsweise unspezifisch. In frühen Entwicklungsstadien sind die Pflanzen kleiner, wirken starr und erscheinen heller als solche ohne Symptome. Diese Chlorose tritt oftmals zusammen mit grünen Streifen entlang der Blättadern auf. Die Blätter sind schmaler und kürzer als bei ausreichend versorgten Pflanzen.

Obwohl die Symptome unspezifisch sind und leicht mit Stickstoffmangel verwechselt werden können, deuten standortabhängige Farbunterschiede im Feld oder ungleichmäßige Bestände auf Schwefelmangel hin (s. Umschlag). Bei Schwefelmangel läßt sich eine reduzierte Anzahl Körner pro Ähre feststellen, was allein jedoch kein eindeutiger Hinweis auf Schwefelmangel ist.

Schwefelmangelsymptome treten auf, wenn die Gesamtschwefelgehalte in der gesamten oberirdischen Blattmasse von Getreide zu Schoßbeginn unter  $1,2 \text{ mg S g}^{-1}$  liegen;

Höchstserträge können hingegen nur erreicht werden, wenn die Gehalte mindestens  $4 \text{ mg S g}^{-1}$  erreichen.

Schwefeldüngung steigert den Ertrag unzureichend versorgter Pflanzen (Abb. 1). Auch bei durchschnittlichen Getreidepreisen und Kosten von 0,3 bis 0,5 ECU pro kg Schwefel, ist der Gewinn durch die Düngung bei Schwefelmangel ungefähr 10 Mal höher als die Kosten für die Aufwendungen. Die Schwefelzufuhr sollte bereits zu Vegetationsbeginn erfolgen, um Höchstserträge sicherzustellen.

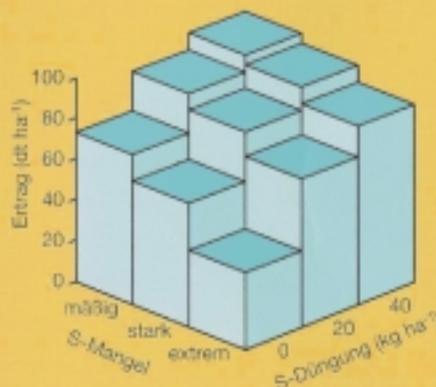


Abb. 1. Einfluß der Schwefeldüngung auf den Korn-ertrag von Winterweizen.

Folgende Regeln gelten für Getreide: Bei Mangel sind vor Vegetationsbeginn Düngergaben von  $20\text{--}40 \text{ kg S ha}^{-1}$  einzusetzen. Mit Wirtschaftsdüngern werden dem Bestand je kg Stickstoff  $0,07 \text{ kg Schwefel}$  zugeführt.

Die Backqualität von Weizen wird schon beeinträchtigt bevor Ertragsverluste auftreten. Bei akutem Schwefelmangel sinkt der Anteil schwefelhaltiger Aminosäuren im Getreidekorn (Abb. 2). Elastizität und Dehnbarkeit des Teiges stehen hierbei in direkter Beziehung zu

den Schwefelkomponenten des Klebers, die wiederum in engem Zusammenhang mit dem Gesamtprotein Gehalt des Korns stehen. Insbesondere bei 'organischer' Wirtschaftsweise können ausreichende Qualitäten nur durch eine Schwefeldüngung erreicht werden.

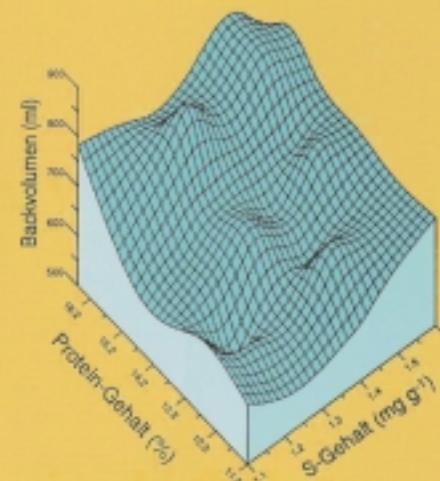


Abb. 2. Beziehung zwischen Gesamtschwefel- und Proteingehalt im Korn und Backvolumen.

Bei extremem Schwefelmangel werden höhere Infektionsraten mit Mehltau und anderen Pilzkrankungen beobachtet, so daß ein höherer Pestizidaufwand notwendig ist. Die mit der Resistenzbildung in Zusammenhang stehenden schwefelhaltigen Substanzen sind Glutathion, schwefelreiche Proteine und H<sub>2</sub>S-Emissionen. Eine ausreichende Schwefelversorgung ist somit ein wichtiger Beitrag zur Förderung der natürlichen Abwehrkraft der Pflanzen.

Umschlagbild: Winterweizenfeld mit standortabhängigen Zonen akuten Schwefelmangels



Raps zählt aufgrund des hohen Erweißgehaltes der Samen und des arttypischen Gehaltes an Glucosinolaten zu den Kulturpflanzen mit besonders hohen Ansprüchen an die Schwefelversorgung.

Die bedeutendste Quelle für die Versorgung von Kulturpflanzen mit Schwefel war bis Anfang der 80er Jahre der Eintrag aus der Atmosphäre, welcher jedoch, infolge umfangreicher Maßnahmen zur Rauchgasentschwefelung, heute nicht mehr den Ertrag durchschnittlicher Raps- und Getreidearten deckt (Abb. 1). Zurückgegangen ist ebenfalls der Einsatz von Düngemitteln, die Schwefel als Nebenbestandteil enthalten.

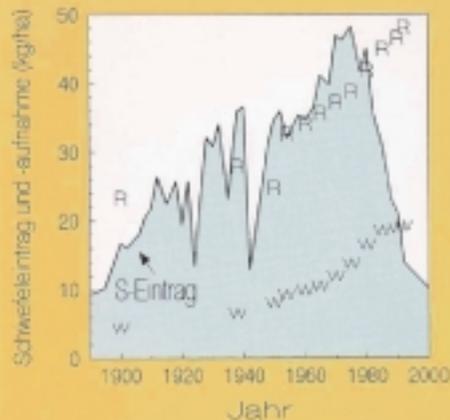


Abb. 1: Schwefelzufuhr über atmosphärische Depositionen und mittlere Schwefelentzüge durch Wintererbsen (R) und Winterweizen (W) in Deutschland.

Schwefelmangel an Kulturpflanzen kann überall auftreten, wobei folgende Faktoren begünstigend wirken:

Hohes Ertragsniveau; leichte, durchlässige sowie humusarme Böden; Standorte ohne Anschluß an kapillar aufsteigendes Grundwasser; Auswaschung infolge hoher Niederschläge, vermindertes Wurzelwachstum und verminderte Durchwurzelungsintensität, z. B. durch Bodenversauerung, Bodenverdichtungen oder niedrige Bodentemperaturen.

Wichtigstes Erkennungszeichen unzureichender Schwefelversorgung an Raps sind Mangelsymptome, die in allen Wachstumsstadien und an allen Teilen der Pflanze auftreten können (s. Farbbilder).

Hinweis auf einen Mangel an Schwefel ist ebenfalls eine schlechte Verwertung von Stickstoff. Schwefelmangelsymptome verstärken sich mit steigendem Stickstoffniveau, so daß Bestände nach einer Stickstoffdüngung häufig fleckig erscheinen.

Zur exakten Beurteilung der Schwefelversorgung sind Pflanzenanalysen besser geeignet als Bodenuntersuchungen. Mit dem Auftreten von Mangelsymptomen ist zu rechnen, wenn die Gesamtschwefelgehalte jüngerer, voll ausdifferenzierter Blätter des oberen Sproßdrittels unter 0,35 % S liegen; eine für hohe Ertragsniveaus ausreichende Versorgung ist bei Gehalten von über 0,65 % S gegeben.



Abb. 2: Einfluß der Schwefeldüngung auf den Samenertag von Wintererbsen.

Schwefeldüngung steigert die Samenertäge unzureichend versorgter Rapsbestände (Abb. 2). Richtige Diagnose und standortangepaßte Therapie unzureichender Schwefelversorgung erfordern jedoch Sachkunde und Erfahrung.

Folgende Grundregeln gelten für Raps: Bei Mangel sind während der Hauptwachstumsphase (Schoßbeginn bis Beginn der Blüte) Düngergaben von 40–80 kg/ha S einzusetzen. Mit Wirtschaftsdüngern werden dem Bestand je kg Stickstoff 0,07 kg Schwefel zugeführt.

Zur Stärkung der natürlichen Widerstandsfähigkeit gegen Frost und Pilzbefall sind vor Winter Düngungen von 15–30 kg/ha S, vorzugsweise in elementarer Form, geeignet.

Als Folge gesteigerter Biomasseproduktion durch Schwefeldüngung wird die Verwertung von Produktionsfaktoren effizienter und damit die Rentabilität des Rapsanbaus gesteigert.

Darüber hinaus wirkt sich die erhöhte Stickstoffausnutzung positiv auf die Umweltverträglichkeit des Rapsanbaus aus.

Bei starkem Schwefelmangel sinkt der Anteil schwefelhaltiger Aminosäuren im Protein, so daß die Zufuhr von Schwefel die Qualität des Rapskuchens verbessert.



Abb. 3: Effekt der Schwefeldüngung auf den Pilzbefall von Wintererbsen (rechts ohne, links mit 100 kg/ha S zum Boden; Quelle: C. A. Pedersen, Skejby).

Mit der Verbesserung der Schwefelversorgung der Pflanzen ist eine Stimulierung der Produktion sekundärer Inhaltsstoffe (z. B. Glucosinolats) und der Emission schwefelhaltiger Spurengase (z. B. H<sub>2</sub>S) verbunden, was sich günstig auf die natürliche Resistenz gegen Pilzinfektionen auswirkt (Abb. 3).

Umschlagbild:  
Vorderseite oben: Rapsfeld mit Schwefelmangel  
Rückseite unten: Rapsfeld gedüngt mit 80kg/ha S

Die **Bodentextur** sowie die Witterungsbedingungen entscheiden über das Risiko und die Höhe von Auswaschung und kapillarem Aufstieg und sind somit weitere wichtige Parameter zur Einschätzung der S-Versorgung am Standort. Abbildung 2 zeigt die Beziehung zwischen dem S-Gehalt in Rapsblättern zu Schossen und dem Ton- bzw. Wassergehalt in tieferen Bodenbereichen, wo die engste Beziehung gefunden wurde. Die tieferen Bodenlagen tragen demnach wesentlich zur S-Ernährung bei. Die Variation des S-Gehaltes in der Pflanze ließ sich zu 50% über den Tongehalt erklären, wobei die S-Gehalte in der Pflanze mit steigendem Tongehalt zunahm. Je höher also der Tongehalt im Boden ist, umso mehr Wasser kann der Boden speichern und umso geringer ist die Sulfatauswaschung.

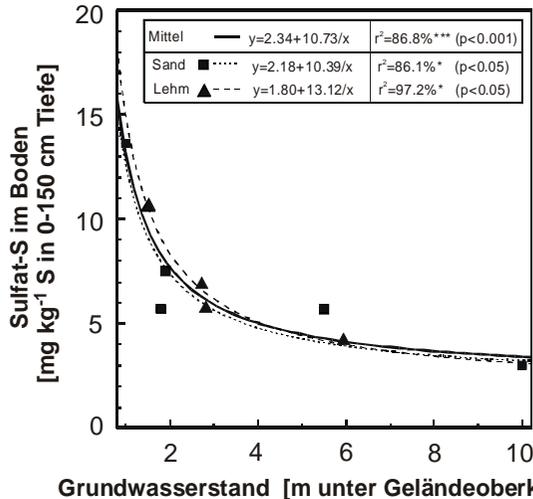


Abb. 1: Einfluß des Grundwasserstandes auf die mittleren Sulfat-S-Gehalte im Boden.

Mit dem Verständnis des Bodenwassers als wichtiger S-Quelle wird die Bedeutung der **Witterung** für die S-Versorgung verständlich: Regenreiche Perioden steigern das Risiko für S-Mangel, da sulfatreiches Bodenwasser durch S-armes Niederschlagswasser ersetzt wird.

## DIE LÖSUNG

Eine schnelle und einfache Methode zur Vorhersage der S-Versorgung von landwirtschaftlichen Flächen besteht darin, die wichtigsten Einflußfaktoren in ein

Prognosemodell zu integrieren. Die wichtigsten Faktoren sind dabei Textur, Hydrologie und Witterungsbedingungen und dabei besonders die Niederschlagsmenge, die während des Winterhalbjahres fällt, da diese über die Höhe der Sulfatauswaschung und über den S-Vorrat im Frühjahr entscheidet.

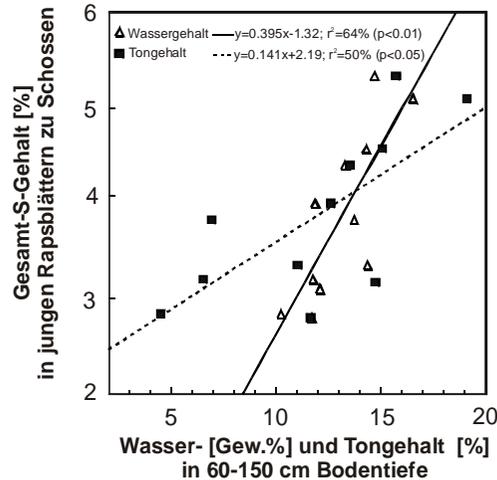


Abb. 2: Beziehung zwischen dem Wasser- bzw. Tongehalt und dem Gesamt-S-Gehalt in jungen Rapsblättern zu Schossen.

Weitere wichtige Faktoren sind der S-Bedarf der aktuellen Kultur, die Möglichkeit eines kapillaren Aufstiegs von Bodenwasser während der Vegetationsperiode und die Düngung mit S-haltigen Substanzen im Herbst oder Frühjahr sowie die Beregnung mit S-haltigem Grundwasser.

Diese Parameter wurden in dem Modell **MOPS** zusammengefasst, welches den S-Versorgungszustand einer Fläche prognostiziert. Die vorhandenen digitalen Bodeninformationen wie Textur, Grundwasser-Verhältnisse, Reliefdaten u.s.w. werden in Zusammenarbeit mit dem NLFb (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung) in ein GIS übertragen, so dass Risikokarten für S-Mangel in Kürze für sämtliche Flächen Niedersachsens bereitgestellt werden können. Der Vorteil des Modells besteht darin, dass aufwendige und teure Boden- oder Pflanzenanalysen entfallen und die Prognose rechtzeitig vor der Düngung vorliegt. MOPS liefert somit eine schnelle Entscheidungshilfe für die S-Düngung.

## DIAGNOSE DER SCHWEFEL-VERSORGUNG

### DAS PROBLEM

Schwefel (S)-Mangel hat sich aufgrund der stetig sinkenden S-Depositionen zu einer der häufigsten Ernährungsstörungen in der Landwirtschaft entwickelt. Weder die Boden- noch die Pflanzenanalyse sind geeignet, das S-Versorgungsniveau eines Standortes vorauszusagen:

- Prinzipiell hängt die Eignung der Bodenanalyse von der Beziehung zum Ertrag bzw. der S-Konzentration im vegetativen Pflanzenmaterial ab. Bis heute wurde noch keine Methode entwickelt, die unter Feldbedingungen eine hinreichende Korrelation zeigte. Die Ursache dafür liegt in der hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität von Sulfat im Boden, da es sehr mobil ist und der Gehalt unter dem Einfluß von Witterung, Auswaschung, Mineralisation u.s.w. stark variiert.
- Die Pflanzenanalyse mit der Bestimmung des Gesamt-S-Gehaltes im vegetativen Pflanzenmaterial erlaubt zwar eine exakte Quantifizierung der S-Versorgung, der Zeitraum für Probenahme, Analyse und Düngung ist aber zu kurz, um einen Mangel noch vollständig ausgleichen zu können.

### Welche Parameter beeinflussen die S-Versorgung?

Da das Grundwasser S-Konzentrationen von ca. 5-100 mg l<sup>-1</sup> aufweist, ist es leicht nachvollziehbar, dass zwischen dem **Grundwasserstand** und dem pflanzenverfügbaren S-Gehalt im Boden eine enge Beziehung besteht. Der S-Gehalt nimmt mit zunehmender Nähe des Grundwasserspiegels durch kapillaren Aufstieg zu. Bei einem Grundwasserstand von weniger als 1.5 m unter der Oberfläche steigt der S-Gehalt stark an und die Pflanzen sind unabhängig vom Bodentyp immer ausreichend mit S versorgt (Abb.1).

# Der Schwefel steckt im Bodenwasser

Der Nährstoff Schwefel (S) wird in der Landwirtschaft häufig immer noch zu Unrecht stiefmütterlich behandelt. Die Fehleinschätzung, dass man sich um die Schwefeldüngung keine Gedanken machen muss, stammt noch aus den Zeiten, als die Versorgung mit dem Nährstoff über die Atmosphäre gedeckt worden ist. Fakt ist jedoch, dass bedeutende Schwefelquellen durch Maßnahmen zur Rauchgasentschwefelung in der Industrie nahezu versiegt sind und vielerorts ein S-Mangel vorliegt.

Mittlerweile erreichen die S-Einträge aus der Atmosphäre nur noch ein Niveau von durchschnittlich 10 kg/ha, was dem Niveau vor dem Beginn der Industrialisierung entspricht. Gleich hohe Mengen Schwefel werden über die Mineralisierung der organischen Substanz im Boden freigesetzt. Beide Schwefelquellen reichen jedoch heute nicht mehr aus, um den gestiegenen Schwefelbedarf unserer Kulturen zur Erreichung von Höchstträgen und -qualitäten zu decken. Der mit dieser Entwicklung verbundene Aufstieg des Schwefels zu einem Hauptnährstoff muss unbedingt von den Landwirten in ihre Düngeplanung einbezogen werden, um gravierende Ertragsverluste zu vermeiden. Bei Raps, der einen sehr hohen S-Bedarf hat, können allein durch S-Mangel sonst statt der möglichen 5 t Ertrag nur noch 1,5 bis 2 t geerntet werden.

Um die Schwefelproblematik der Praxis näher zu bringen, hat in der letzten Woche die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig-Völkenrode einen Schwefel-Informationstag abgehalten, um über Ursachen von Schwefelmangel, Diagnosen der Schwefelversorgung und Düngung mit Schwefel aufzuklären. Um die Praktiker und Berater für das Problem zu sensibilisieren, zeigte der Schwefelexperte Prof. Dr. Ewald Schnug, FAL, anhand von Mangelsymptomen die Folgen einer Unterversorgung mit Schwefel auf.

## Raps als Indikatorpflanze

Die deutlichste Reaktion eines Mangels zeigt sich bei Raps, der aufgrund seines hohen Eiweißgehaltes der Samen und des arttypischen Gehaltes an Glucosinolaten zu den Kulturpflanzen mit besonders hohen Ansprüchen an die Schwefelversorgung zählt. Die Mangelsymptome zeigen sich bei Raps in allen Wachstumsstadien und allen Teilen der Pflanze. Im Frühjahr wird der Mangel offensichtlich. Von der Blattader bis zum Blatttrand findet ein vermindertes Zellwachstum statt, was ein Auffalten der Blätter nach sich zieht. Zwischen den dunklen Blattadern sind Vergilbungen zu erkennen. Im Mai wird der Mangel deutlich an weiß- statt gelbblühenden Pflanzen. Insgesamt wird sich bei Schwefelmangel der Habitus der Pflanzen verändern und sie erhalten ein eher karges

Aussehen. In den Schoten werden nur wenige Körner ausgebildet, was letztlich zu erheblichen Ertragsausfällen führt.

Hinweis auf einen Mangel an Schwefel ist ebenfalls eine schlechte Verwertung von Stickstoff. Schwefelmangelsymptome verstärken sich dabei noch mit steigendem Stickstoffniveau, sodass Bestände nach einer Stickstoffdüngung häufig fleckig erscheinen. Bei Getreide, Mais und Grünland zeigt sich der S-Mangel wesentlich unspezifischer. Die Pflanzen sind kleiner und schwächer, wirken starr und zeigen deutliche Aufhellungen. Die Blätter sind schmaler und kürzer als normal. Besonders gut sind die mangelhaft versorgten Partien in einem Schlag aus der Luft zu erkennen.

## Güledüngung reicht nicht aus

Hierbei machte Prof. Schnug auch darauf aufmerksam, dass der im Rahmen der teilspezifischen Bewirtschaftung eingesetzte Hydro-N-Sensor unter solchen Bedingungen wenig effizient arbeiten kann, weil er S-Mangel als N-Mangel deutet und dementsprechend zu viel Stickstoff gestreut wird. Beachtet werden sollte gerade bei Weizen, dass durch S-Mangel die Backqualität negativ beeinträchtigt wird,



Intercostalchlorose am Rapsblatt.



Blütenblattreduktion und Weißblüher sind typische Schwefelmangelsymptome bei Raps. Foto: Prof. Schnug

bevor es zu Ertragsverlusten kommt. Bei Grünland hat S-Mangel eine negative Auswirkung auf das Massenwachstum, die Futterqualität und die Schmackhaftigkeit des Aufwuchses.

Auch die Zuckerrüben zeigen typische fleckige Ausbleichungen auf den Blättern. Die Pflanzen stehen sehr aufrecht, im Gegenlicht sind die Aufhellungen deutlicher zu erkennen. Im Gegensatz zum Raps treten bei den Zuckerrübenblättern nicht die grünen Adern gegenüber den vergilbten Bezirken des Blattapparates hervor. Die Blätter sind insgesamt gelblich-grün und zeigen Wachstumsdepressionen. Der Mangel ist jedoch schwieriger zu erkennen. Schwefelmangel dokumentiert sich bei der Ernte weniger im niedrigeren Zuckergehalt als vielmehr in Ertragsdepressionen.

Diese Einbußen lassen sich vermeiden, wenn die Kulturen richtig mit Schwefel versorgt werden. Zu Raps sollten bei S-Mangel während der Hauptwachstumsphase bis Beginn der Blüte rechtzeitig Düngergaben von 40 bis 80 kg S/ha verabreicht werden. Dazu muss man wissen, dass Raps einerseits bei einem Ertrag von 4 t bis zu 12 kg S entzieht, andererseits aber während der Vegetation mehr als 80 kg S/ha aufnimmt, berichtete Dr. Silvia Haneklaus, FAL. In Getreide sollten es bei Mangel frühzeitig 20 bis 40 kg S/ha sein, um eine Reduzierung von Ertragsanlagen zu vermeiden.

Auf Mangelstandorten empfahl Hane-klaus zur besseren Vitalität und Überwinterung der Pflanzen sogar S-Gaben im Herbst. Über Wirtschaftsdünger wie Gülle wird eine S-Versorgung nicht sicher gestellt. Je kg Stickstoff werden dem Bestand nur 0,07 kg Schwefel zugeführt, was höchstens 5 bis 8 kg S/ha entspricht. Auch eine Blattdüngung ist ihrer Erfahrung nach auf Risikoflächen nur als Ergänzung zu sehen. Die Grundlage einer ausgewogenen S-Düngung müsse durch eine richtig dimensionierte Bodendüngung erfolgen.

#### Ineffiziente Methoden

Um Ertrags- und Qualitätseinbußen vorzubeugen, muss der Praktiker genau über die Nährstoffversorgung seiner Böden informiert sein. Die Ermittlung dieser Werte stellt jedoch zurzeit ein erhebliches Problem dar. Nach Angaben von Dr. Elke Bloem, FAL, lässt sich die Nährstoffversorgung eines Bodens mittels visueller Diagnose von Mangelsymptomen, einer Bodenanalyse, einer Pflanzenanalyse oder durch Bilanzierung der Ein- und Austräge ermitteln. Da es für eine S-Düngung beim Feststellen von Mangelsymptomen mit Ausnahme von Raps bereits zu spät sein kann, kommen eher die anderen Verfahren in Frage. Doch auch sie haben große Nachteile.

Die häufig in der Praxis durchgeführte Bodenanalyse, die eine Beziehung zwischen dem Gesamtschwefelgehalt in der Pflanze und dem Bodensulfatgehalt herstellt, liefert nach Angaben der Wissenschaftlerin keine geeigneten Ergebnisse zur Bestimmung des Schwefelgehalts für Pflanzen. Die Ursache liegt darin begründet, dass Schwefel nicht im Humus, sondern gelöst im Wasser vorliegt. Sulfat folgt somit jeder Wasserbewegung im Boden und ist wegen seiner hohen Mobilität stark auswaschungsgefährdet. Unter dem Einfluss von Witterung, Auswaschung, Mineralisation etc. kann der Sulfatgehalt im Boden demnach stark variieren.

Bei der Pflanzenanalyse kann die Nährstoffversorgung mit Schwefel durch die Ermittlung des Gesamtschwefelgehalts im vegetativen Pflanzenmaterial erreicht werden. Diese Vorgehensweise erlaubt zwar eine exakte Quantifizierung der S-Versorgung, der Zeitraum für Probenahme, Analyse und Düngung ist jedoch in der Regel zu kurz, um einen festgestellten Mangel noch vollständig ausgleichen zu können. Auch das Stickstoff-Schwefelverhältnis kann über die Pflanzenanalyse ermittelt werden. Der Nachteil liegt in der Bestimmung von zwei Elementen. Ein Überschuss an Stickstoff kann somit als Schwefelmangel gedeutet werden.

Ebenso kann über die Pflanzenanalyse der Sulfatschwefelgehalt ( $\text{SO}_4$ ) ermittelt werden.  $\text{SO}_4$  ändert sich jedoch hierbei je nach physiologischer Aktivität der Pflanze

## MOPS startet zuerst in Niedersachsen

Bei MOPS versucht man nun, alle wichtigen Einflussgrößen in ein Prognosemodell zu integrieren. Dazu zählen Parameter wie Bodentextur (Auswaschung, Speicherung), Grundwassertiefe, -konzentration, der aktuelle Schwefelbedarf der Kulturen, die Düngung mit schwefelhaltigen Substanzen im Herbst oder Frühjahr sowie die Witterungsbedingungen. Dabei sind insbesondere die Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr entscheidend, da diese über die Höhe der Sulfatauswaschung und über den Schwefelvorrat im Frühjahr entscheiden.

Ziel des Modells ist es, in einem ersten Schritt für jede Fläche in Niedersachsen Risikokarten für einen Schwefelmangel herauszugeben. Nach Angaben von Prof. Dr. Ewald Schnug soll das Modell zur Prognose von Schwefelmangel zumindest in Niedersachsen im Laufe des nächsten Jahres eingeführt werden. Zuerst werden aller Voraussicht nach grobe Risikokar-

ten erstellt, die dann mit der Beratung vor Ort verfeinert werden müssen. Bei den Risikokarten sollen auch die Flächen ausgegrenzt werden, die mit Sicherheit keinen Schwefelmangel aufweisen. Außerdem sollen keine Empfehlungsmengen verkündet werden, sondern anhand der Risikofaktoren beschrieben werden, wie hoch Mehrerträge durch eine gezielte Schwefeldüngung sein könnten.

Der Vorteil des Modells besteht nach Angaben von Prof. Schnug darin, dass die aufwändigen, teuren und wenig aussagekräftigen Boden- oder Pflanzenanalysen entfallen können und die Prognose rechtzeitig vor der Düngung vorliegt. MOPS werde eine schnellere und sichere Entscheidungshilfe für die Schwefeldüngung liefern. Neben den beschriebenen Vorteilen wird Schwefel auch eine gute fungizide Leistung bescheinigt. Gerade in Raps lässt sich durch eine ausgewogene S-Düngung der Einsatz von Fungiziden reduzieren.

und Stickstoffmangel bedingt einen  $\text{SO}_4$ -Konzentrationsanstieg. Fazit: Am besten eignet sich bei der Pflanzenanalyse die Ermittlung des Gesamtschwefelgehalts im vegetativen Pflanzenmaterial, weil hier die Nährstoffversorgung am wenigsten auf kurzfristige Schwankungen reagiert.

#### Neues Diagnosemodell MOPS

Eine Bilanzierung der Ein- und Austräge macht nach Angaben von Dr. Elke Bloem nur dann einen Sinn, wenn auch die Bodenhydrologie, also der Einfluss des Grundwassers in den jeweiligen Böden beachtet wird. In diesem Zusammenhang stellt sie auch klar, dass der derzeit durch die Beratung empfohlene Schwefelschätzrahmen sich nicht als ein Modell zur Bestimmung der Schwefelversorgung eignet. Als Grund führte sie an, dass bei dieser Methode die Bodenhydrologie vernachlässigt wird und somit zu einer falschen Düngestrategie geraten werden kann.

Im Gegensatz dazu erarbeitet die FAL gerade in Zusammenarbeit mit dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) ein Modell zur Prognose von Schwefelmangel, kurz MOPS genannt. Das Modell soll sich für alle landwirtschaftlichen Böden eignen, mit Ausnahme von stark versauerten Böden mit pH-Gehalten unter 5, die eine hohe Kapazität zur Sulfatadsorption haben können.

Entscheidend ist bei MOPS, dass es berücksichtigt, welche Parameter die Schwefelversorgung eines Standortes beeinflussen. Da das Grundwasser Schwefelkonzentrationen von ca. 5 bis 100 mg/l aufweisen kann, ist es ihrer Darstellung

nach leicht nachvollziehbar, dass zwischen dem Grundwasserstand und dem pflanzenverfügbarem Schwefelgehalt im Boden eine enge Beziehung besteht. Erwiesenermaßen nimmt nämlich der Schwefelgehalt mit zunehmender Nähe des Grundwasserspiegels durch kapillaren Aufstieg zu. Bei einem Grundwasserstand von weniger als 1,5 m unter der Oberfläche steigt demnach der Schwefelgehalt stark an und die Pflanzen sind unabhängig vom Bodentyp immer ausreichend mit Schwefel versorgt. Grundwasser stellt demnach den wichtigsten Parameter bei der Schwefelversorgung dar.

Da Schwefel sehr auswaschungsgefährdet ist, sollte auch die Witterung mit im Modell berücksichtigt werden. Der Sulfatgehalt liegt in der Regel in Grundwasser bestimmten Böden höher als im Sickerwasser bestimmten Böden. In Versuchen der FAL ist hierzu festgestellt worden, dass die Variation des Schwefelgehaltes in der Pflanze sich zu einem Großteil über den Tongehalt des Bodens erklären lässt. Je höher der Tongehalt im Boden ist, um so mehr Wasser ist er in der Lage zu speichern und um so geringer ist demzufolge auch die Sulfatauswaschung.

Erst unter der Einbeziehung des Bodenwassers als wichtiger Schwefelquelle wird die Bedeutung der Witterung für die Schwefelversorgung verständlich. Regenreiche Perioden steigern die Auswaschung des hoch mobilen Schwefelsulfats und damit das Risiko für einen Schwefelmangel, da sulfatreiches Bodenwasser durch schwefelarmes Niederschlagswasser (Gehalte von 1 mg/l) ersetzt wird.

Werner Raupert