

Ein bisschen Schwefel gefällig?

SCHWEFEL IST WICHTIG

Schwefel ist einer der sechs wichtigsten Nährstoffe für das Wachstum von Kulturpflanzen. Er ist ein wesentlicher Bestandteil von Aminosäuren, Coenzymen und Vitaminen. Proteingehalt und Qualität der Kulturen hängen von einer ausreichenden Schwefelversorgung ab. Da Maßnahmen zum Umweltschutz in Industrieländern die Luftqualität verbessert haben, sind Schwefeleinträge aus der Atmosphäre zurückgegangen. Gleichzeitig sind die Erwartungen an Ertrag und Qualität gestiegen. Beide Faktoren zusammen erklären die zunehmende Aufmerksamkeit für Schwefeldüngung im vergangenen Jahrzehnt.

Diese Ausgabe der Pure Nutrient Info ist der Schwefeldüngung im modernen Pflanzenbau gewidmet.



Schwefel – ein unverzichtbarer Nährstoff

Schwefel ist wie Stickstoff ein essenzieller Bestandteil von Leben. Beide Elemente sind in biologischen Abläufen häufig miteinander verknüpft und bilden ein unzertrennliches Team. Allerdings war Schwefel in der Landwirtschaft lange Zeit zu einer Nebenrolle verurteilt, da Fragen zur Stickstoffdüngung vorherrschten. Heute wird der Stellenwert von Schwefel viel höher eingeschätzt: als essenzieller Nährstoff, der für eine optimale Wirkung von Stickstoff notwendig ist.

WARUM SCHWEFEL?

Schwefel ist ein grundlegender Bestandteil von Leben auf der Erde. Er ist in verschiedenen Formen vorhanden:

- im Boden als elementarer Schwefel (S), Sulfid (SO_3^{2-}), Sulfat (SO_4^{2-}) und Pyrit (FeS);
- in der Atmosphäre als Schwefelwasserstoff (H_2S) und Schwefeldioxid (SO_2);
- in den Meeren als Sulfat (SO_4^{2-}).

Elementarer Schwefel kann von Pflanzen nicht direkt aufgenommen werden und muss zunächst zu Sulfat umgewandelt werden. Schwefel ist in allen Kulturpflanzen vorhanden und spielt beim Stoffwechsel der Pflanzen eine wichtige Rolle. Er ist einer der sechs wichtigsten Nährstoffe.

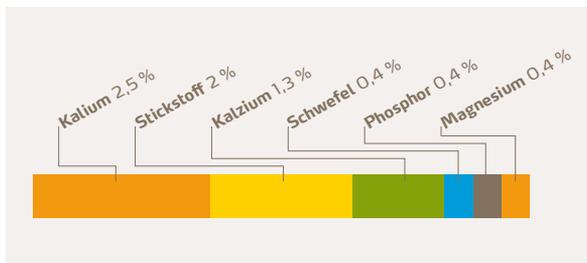


Abbildung 1: Schwefel zählt zu den sechs wichtigsten Nährstoffen für Pflanzen.

SCHWEFEL STEHT FÜR QUALITÄT

Die meisten schwefelhaltigen Verbindungen enthalten auch Stickstoff und unterstreichen damit die enge Verknüpfung dieser beiden Elemente. Schwefel ist Bestandteil eines Enzyms, das für die Verarbeitung von Stickstoff erforderlich ist, so dass Schwefelmangel den Stickstoff-Stoffwechsel erheblich behindern kann. Zusammen mit Stickstoff ermöglicht Schwefel die Bildung der für die Proteinsynthese benötigten Aminosäuren. Er ist in Fettsäuren und Vitaminen zu finden und hat eine erhebliche Auswirkung auf Qualität und Geschmack von Kulturpflanzen. Schwefel spielt auch eine wesentliche Rolle bei der Fotosynthese, dem Energiestoffwechsel und der Produktion von Kohlehydraten.

Manche Kulturpflanzen aus der Familie der Kreuzblütler (z. B. Raps) benötigen höhere Mengen an Schwefel. Knoblauch und Zwiebeln verwenden Schwefel für die Produktion von Alliinen. Solche sekundären Pflanzeninhaltsstoffe wirken sich entscheidend auf Geruch und Geschmack aus, verbessern aber auch die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen. In Hülsenfrüchten wird Schwefel für die Fixierung von Stickstoff aus der Luft benötigt.

SCHWEFELMANGEL - OFT ÜBERSEHEN

Bis in die 1990er Jahre war die Düngung von Schwefel kein Thema, weil die Schwefeldioxid-Emissionen der Industrie einen ausreichenden Nachschub über die Niederschläge garantierten. Vorschriften zur Rauchgasentschwefelung und insbesondere Kraftstoffe mit niedrigem Schwefelgehalt haben diese Emissionen stark reduziert. Gleichzeitig haben höhere Erwartungen an Ertrag und Qualität den Schwefelbedarf erhöht. War Schwefelmangel vor 20 Jahren noch recht selten, trifft man ihn heute verbreitet an.

Die Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel erhöht sich unter folgenden Bedingungen:

- Leichte, sandige Böden mit wenig organischer Substanz (> niedriger Schwefelgehalt)
- Hohe Niederschläge im Winter (> Auswaschung von Schwefel)
- Trockener Frühling (> geringe Beweglichkeit der Sulfate)
- Niedrige Temperatur (> niedrige Mineralisierungsrate)
- Geringe organische und mineralische Schwefeldüngung (> geringe Zufuhr)
- Entfernung zu Industriestandorten (> geringer Eintrag)

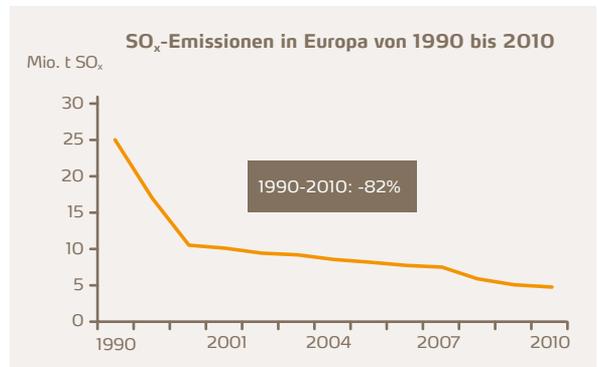


Abbildung 2: Emissionen- und Immissionen von Schwefel sind durch Vorschriften zur Luftreinhaltung erheblich zurückgegangen [1].

DIE SYMPTOME ZEIGEN SICH ERST SPÄT

Schwefelmangel ist manchmal schwer von Stickstoffmangel zu unterscheiden. Zu den Symptomen gehört eine Gelbverfärbung junger Blätter als Folge niedriger Chlorophyllproduktion. Das Wachstum wird allgemein reduziert. Bei Getreide ist die Anzahl der Triebe geringer. Bei Raps zeigen sich weißliche Blüten und verformte Blätter. In den meisten Fällen treten die Symptome zu spät auf, um noch voll wirksamen Ausgleich zu schaffen. Ein verborgener Mangel ist wesentlich häufiger als ein akuter Mangel.



Abbildung 3: Typisches Aussehen von Getreide mit lokalem Schwefelmangel.



Abbildung 4: Raps mit Schwefelmangel. Das Wachstum ist reduziert, die Blüten sind spärlicher und weißlich.



Abbildung 5: Grünland mit deutlichem, lokalem Schwefelmangel (im Hintergrund).

Schwefel im Boden

Der Schwefelkreislauf im Boden zeigt einige Ähnlichkeiten mit dem Stickstoffkreislauf. Schwefel lagert in verschiedenen miteinander verbundenen Pools. Nur ein geringer Teil davon ist direkt für die Aufnahme durch Pflanzen verfügbar. Der Rest muss zunächst umgewandelt werden.

Was sind die Besonderheiten von Schwefel?

KULTUREN MÖGEN SCHWEFEL

Die Pflanzenwurzeln können Schwefel nur als Sulfat (SO_4^{2-}) aufnehmen. Pflanzen können Schwefel auch über die Blätter aus der Luft in Form von Schwefeldioxid (SO_2) aufnehmen, doch ist dieser Beitrag sehr gering. Im Boden vorhandener elementarer und organisch gebundener Schwefel muss zunächst zu Sulfat umgewandelt werden, ehe er den Pflanzen zur Verfügung steht.

SCHWEFELQUELLEN

Schwefel im Boden kann unabhängig davon, ob er als elementarer Schwefel, organischer Dünger oder Sulfat zugeführt wurde, nur in Form von Sulfat von den Pflanzen aufgenommen werden. Wird Sulfat direkt eingebracht, ist eine gute Verwertung gewährleistet.

Schwefel aus Mineraldüngern

Mineraldünger enthalten Schwefel als Sulfat. Anders als organische Schwefelverbindungen aus organischem Dünger steht Sulfat aus Mineraldüngern sofort als Nährstoff zur Verfügung und wird von den Pflanzen leicht aufgenommen. Sulfat ist im Boden gut beweglich und erreicht die Pflanzenwurzeln schnell. Die Gabe von Schwefel in einem frühen Stadium und während intensiven Pflanzenwachstums lässt sich gut mit anderen Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, kombinieren. Streuen ist daher die übliche Praxis. Bei akutem Schwefelmangel kann Blattdüngung schnell Abhilfe schaffen. Wird elementarer Schwefel

gedüngt, muss er von Mikroben im Boden zu Sulfat oxidiert werden, was Zeit braucht und eine sehr feine Vermahlung voraussetzt. Als Folge der Umsetzung hat elementarer Schwefel eine stark versauernde Wirkung.

Einträge aus der Luft

Schwefel ist in der Atmosphäre hauptsächlich als Schwefeldioxid (SO_2) enthalten, das aus Naturereignissen (Vulkanausbrüchen) oder menschlicher Tätigkeit (Verbrennen fossiler Brennstoffe) stammt. Schwefel aus der Luft kann von Pflanzenblättern in Form von Schwefeldioxidgas aufgenommen werden. Freilich gelangt der meiste atmosphärische Schwefel als saurer Regen in den Boden. Die Einträge sind erheblich zurückgegangen und erreichen heute selten mehr als 5-10 kg/ha.

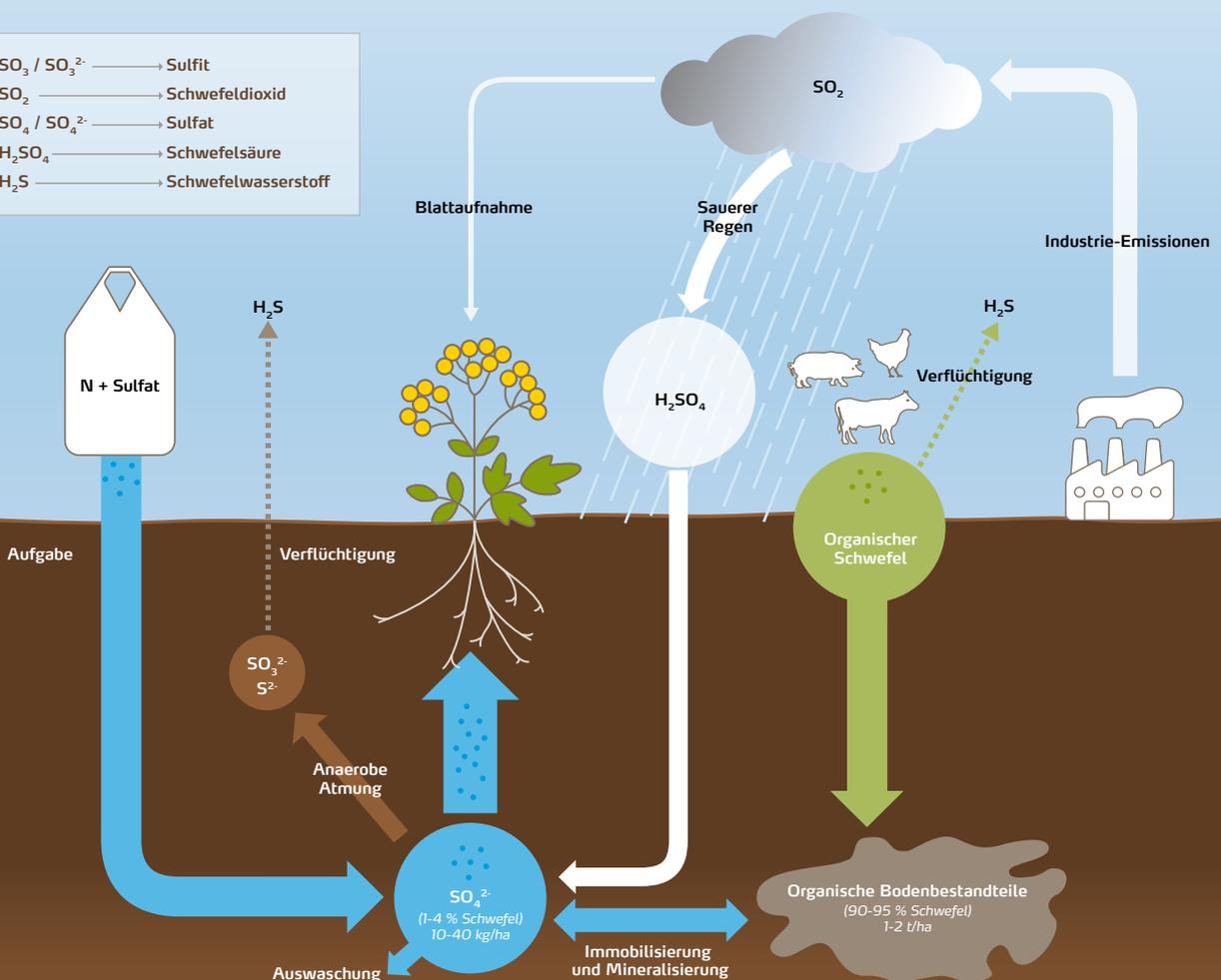
Organischer Dünger

Wirtschaftsdünger enthalten Schwefel im Wesentlichen in organischen Verbindungen, die erst nach Umwandlung zu Sulfat aufgenommen werden können.

Auswaschung von Schwefel

Schwefel verhält sich im Boden ähnlich wie Stickstoff. Sulfat kann wie Nitrat im Winterhalbjahr ausgewaschen werden. Die Düngung muss daher auf das Pflanzenwachstum abgestimmt werden, um eine rasche Aufnahme sicherzustellen. Eine Düngung zur 1. Gabe im Frühjahr ist besonders wirksam. Eine Vorratsdüngung im Herbst wird im Allgemeinen nicht empfohlen.

$\text{SO}_3 / \text{SO}_3^{2-}$	→ Sulfid
SO_2	→ Schwefeldioxid
$\text{SO}_4 / \text{SO}_4^{2-}$	→ Sulfat
H_2SO_4	→ Schwefelsäure
H_2S	→ Schwefelwasserstoff



Wie viel Schwefel ist genug?

Wenn es um Schwefel geht, verhalten Pflanzen sich nicht gleich. Bei manchen Kulturen genügt der Vorrat im Boden, während bei anderen ohne angemessene Schwefeldüngung erhebliche Qualitäts- und Ertragsseinbußen zu erwarten sind. Schwefeldüngung beruht anders als Stickstoffdüngung häufig auf Mutmaßungen.

Wie viel ist genug?

SCHWEFELBEDARF

Manche Kulturen benötigen mehr Schwefel als andere. In der folgenden Abbildung wird der Bedarf einzelner Kulturen sowie der aus dem Feld exportierte und von Pflanzenrückständen zurückgehaltenen Schwefel dargestellt. Je höher der Schwefelbedarf, desto höher die Gefahr von Mangel. Raps weist eine sehr hohe Aufnahme auf, doch verbleibt der meiste Schwefel in den Rückständen der Pflanze.

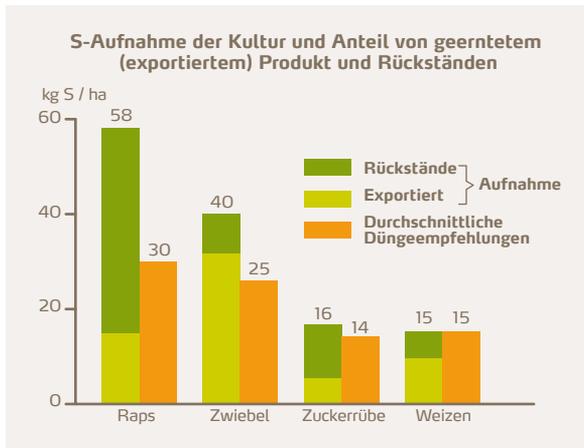


Abbildung 6: S-Aufnahme und -Gehalt von Kulturen in geernteten Produkten und Rückständen im Vergleich zu Düngeempfehlungen [2][3].

DYNAMIK DER AUFNAHME

Die kumulierte Aufnahme ist nur ein Aspekt des Schwefelbedarfs. Die Dynamik der Aufnahme ist der andere wichtige Aspekt. Schwefel wird in allen Phasen des Pflanzenwachstums benötigt. Kulturen mit einer kurzen Vegetationsperiode brauchen in kurzer Zeit hohe Schwefelmengen, und dieser Bedarf wird im Allgemeinen nicht über den Vorrat im Boden gedeckt. Pflanzen mit längerem Vegetationszyklus haben mehr Zeit, Schwefel aus dem Boden aufzunehmen, und sind daher weniger auf externe Versorgung angewiesen. Raps verlangt wegen seines kurzen Vegetationszyklus und der hohen Aufnahme besonders viel Schwefel. Starker Schwefelmangel kann daher zu Ertragsverlusten von bis zu 1 oder 2 t/ha führen.

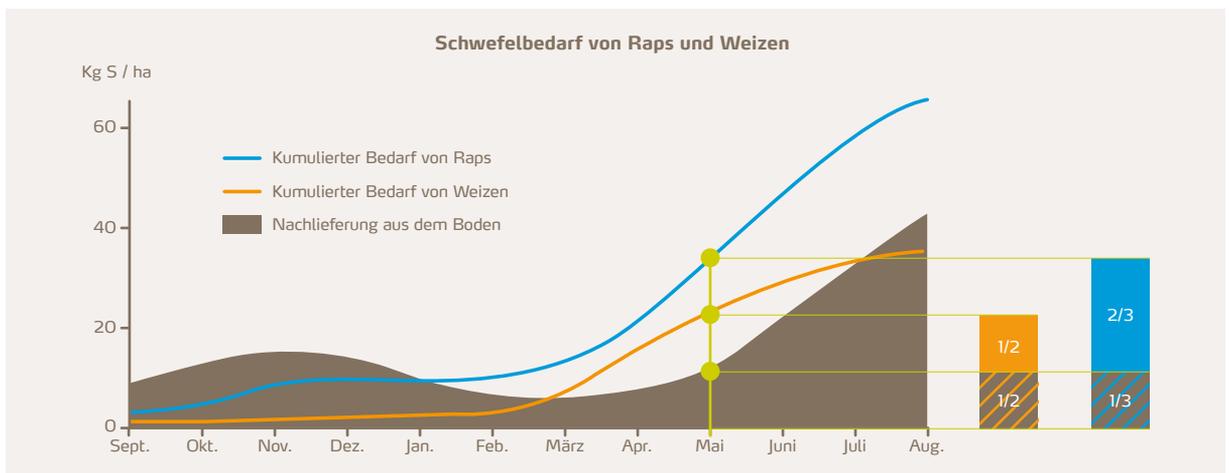


Abbildung 7: Während der Vegetationsperiode geht der Schwefelbedarf von Raps und Weizen weit über den vom Boden gelieferten Schwefel hinaus. Im Mai fehlt es Weizen typischerweise an der Hälfte des Schwefelbedarfs, Raps sogar an zwei Dritteln [5].

BODENPROBEN

Wie bei Stickstoff ermöglichen Bodenproben die Ermittlung des im Boden tatsächlich verfügbaren Schwefels. Freilich ändern sich die Ergebnisse wegen geringerer pflanzlicher Aufnahme, fortgesetzter Mineralisierung, kapillaren Aufstiegs und Auswaschung rasch. Bodenproben werden daher selten verwendet, ausgenommen bei schweren Böden und anspruchsvollen Kulturen wie Raps.

PFLANZENANALYSE

Die Menge von Schwefel in der Trockenmasse ist ein zuverlässiger Indikator für die Schwefelversorgung. Schwefelkonzentrationen sollen bei den meisten Kulturen mehr als 0,3 % der Trockenmasse, bei Raps 0,45 % betragen. Zudem erlaubt die Pflanzenanalyse die Messung des N:S-Verhältnisses. Dies sind für die meisten Kulturen sinnvolle Indikatoren.

Kultur	Typische N:S-Anteile
Raps, Senf, Kohl, Zwiebeln	5:1
Weizen, Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln	10:1
Hülsenfrüchte	5 – 8:1
Gras	8 – 12:1

Tabelle 1: N:S-Verhältnisse sind sinnvolle Indikatoren für Nährstoffversorgung und -bedarf [4].

SCHÄTZRAHMEN

Der Schwefelbedarf kann auch anhand bestimmter Rahmenbedingungen geschätzt werden. Tabellen und Softwaretools helfen Landwirten bei der Bewertung verschiedener Parameter wie Bodenbeschaffenheit, Wetterbedingungen, Bewirtschaftung und bisherige Düngepraxis. Diese Schätzungen haben sich in der Praxis als ausreichend zuverlässig erwiesen.



Schwefeldüngung – was bringt sie?

Pflanzenbauliche und wirtschaftliche Überlegungen decken sich nicht immer. Sind die zusätzlichen Kosten der Schwefeldüngung eine gute Investition? Natürlich hängt die Antwort von den Eigenschaften der Kulturpflanzen und Böden ab. Außerdem müssen Anbau- und Düngungsstrategien berücksichtigt werden.

Strategien für hohe Qualität und hohen Ertrag verlangen nach einer in Menge und Zeitpunkt bedarfsgerechten Schwefeldüngung.

WEIZEN: ERTRAG UND PROTEIN STEIGERN

Schwefel ist entscheidend bei Düngestrategien, die auf höchste Qualität abzielen. Abbildung 8 zeigt das Ergebnis von Feldversuchen in Deutschland mit unterschiedlicher Schwefeldüngung. Ertrag und Proteingehalt wurden für Strategien mittlerer und hoher Stickstoffintensität verglichen. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial von Schwefel bei intensiven Anbaustrategien.



Abbildung 8: Vergleich von Ertrag und Proteingehalt für unterschiedliche Düngestrategien: 1) Mittlere Stickstoffintensität, kein Schwefel; 2) hohe Stickstoffintensität (+30 kg N), eine Ausbringung von Schwefel mit der ersten Düngergabe (+15 kg S); 3) hohe Stickstoffintensität (+30 kg N), Schwefelausbringung bei der ersten (+15 kg S) und dritten (+15 kg S) Düngergabe. Optimale Versorgung erhöht den Proteingehalt um 7 % [6].

GRÜNLAND: ENERGIE STEIGERN

Erträge, Energie-, Rohprotein- und Rohfasergehalt von Gras-Silage steigen mit der Gabe von Schwefel. Getrennte Gaben haben höhere Ertragsleistungen im Vergleich zu keiner oder nur einer Düngung gezeigt (Abbildung 9).



Abbildung 9: Mittlerer Ertrag aus drei Versuchen in Deutschland. Mit 50 kg Schwefel (CaSO_4) steigt der Ertrag um 3,6 %. Wird dieselbe Schwefelmenge auf vier Gaben aufgeteilt, steigt der Ertrag weiter und erreicht sogar 6,3 % mehr als die Kontrolle [7].

RAPS: HOHER SCHWEFELBEDARF

Raps ist eine Kulturpflanze mit hohem Schwefelbedarf, der bis zu 70 kg SO_3 /ha erreichen kann. Durchschnittliche Ertragsverluste wegen Schwefelmangel betragen etwa 3 bis 4 dt/ha, können bei ausgeprägtem Mangel aber durchaus auch 15 bis 20 dt/ha erreichen.

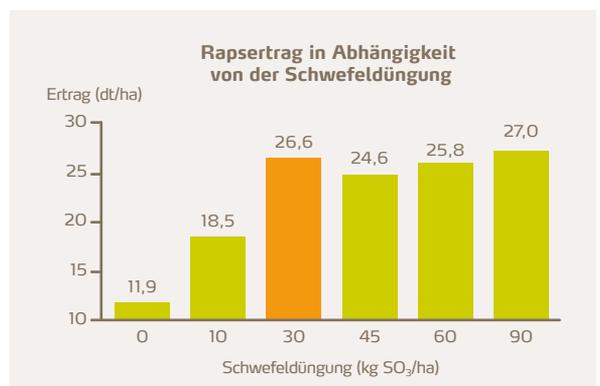


Abbildung 10: Die optimale S-Gabe beträgt ca. 30 kg S/ha [8].

ERTRÄGE UND EINKOMMEN STEIGERN

Eine große Zahl von Feldversuchen hat den Nutzen bedarfsgerechter N/S-Düngung bei verschiedenen Kulturen gezeigt.

Kultur	Durchschnittspreis* (€/t)	Ertragszuwachs (dt/ha)		Mehrerlös (€/ha)
		Mittl.	Max.	Mittl.
Raps	430	4,2	17,6	181
Weizen	220	1,4	5,6	31
Zuckerrübe**	373	3,1	5,6	116
Kartoffel	120	7,1	11,6	85
Grünland	130	7,7	11,6	100

*Quelle: Eurex 2012 **Auf der Basis von korrigiertem Zuckerertrag

Tabelle 2: Bei den meisten Kulturen steigen Ertrag und zusätzliches Bruttoeinkommen durch die Verwendung von N/S-Dünger erheblich [9].

YaraBela® Sulfan® – Perfekte Synergie

YaraBela Sulfan ist ein Hochleistungsdünger, der in Kombination Ammoniumnitrat und Schwefel enthält. Wie alle Düngemittel aus dem YaraBela-Programm bietet er überlegene physikalische und chemische Qualität für eine zuverlässige Ausbringung und beste Ergebnisse.

YaraBela Sulfan - Mehrwert von Yara.

GEEIGNET FÜR ALLE KULTUREN

YaraBela Sulfan enthält Stickstoff als Ammoniumnitrat und Schwefel als Kalziumpulver, was eine hohe N- und S-Effizienz gewährleistet. Anders als bei Mischdüngern liefert YaraBela Sulfan ein ausgeglichenes, homogenes N/S-Verhältnis mit jedem einzelnen Korn. YaraBela Sulfan eignet sich optimal für die Präzisionslandwirtschaft und mehrere Teilgaben:

- Kombiniertes Düngemittel für gleichzeitige, zeitsparende Ausbringung von Stickstoff und Schwefel.
- Ammoniumnitrat für optimale Stickstoffwirkung.
- Kalziumpulver für optimale Schwefelversorgung und niedrigen Kalkdüngungsbedarf.
- Schwere Körner mit idealem Korngrößenspektrum für höchste Präzision beim Streuen.
- Hohe Löslichkeit und optimale Aufnahmeraten.

YaraBela Sulfan wird in Europa gemäß den strengen Umwelt- und Qualitätsanforderungen von Yara hergestellt. YaraBela Sulfan ist die natürliche Wahl für Landwirte, denen Erträge und Qualität wichtig sind.



Weitere Informationen zu Nitratdüngern finden Sie in unserer ausführlichen Düngemittelbroschüre unter www.yara.de.

Multimediamaterial zur Landwirtschaft finden Sie auch auf unserem YouTube Kanal: www.youtube.com/yarainternationalasa



ÜBER YARA

Yara International ASA ist ein internationales Unternehmen mit Hauptsitz in Oslo, Norwegen. Als weltgrößter Anbieter von Mineraldüngern tragen wir seit über 100 Jahren dazu bei, Nahrungsmittel und erneuerbare Energien für die wachsende Weltbevölkerung bereitzustellen.

Die Yara GmbH & Co KG versorgt Landwirte in ganz Deutschland mit Qualitätsprodukten, Know-how und Beratung. Für ausführlichere Informationen wenden Sie sich bitte an Ihren lokalen Yara Ansprechpartner.

YARA GmbH & Co. KG | Hanninghof 35 | D-48249 Dülmen | Tel. 02594 798 0 | Fax. 02594 798 455 | www.yara.de

LITERATUR

- [1] European Environment Agency (2012): European Union emission inventory report 1990–2010 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). Kopenhagen, Dänemark.
- [2] A.R. Till (2010): Sulphur and sustainable agriculture. IFA, Paris, Frankreich.
- [3] Unifa, Fiche N°3 (2007): Soufre, indispensable à la synthèse des protéines. La Défense, Paris, Frankreich.
- [4] DLG-Merkblatt 373 (2012): Schwefel-Düngung effizient gestalten. Frankfurt/Main, Deutschland.
- [5] Yara, interne Kommunikation (2013): Sulfan 29+9, du soufre à chaque apport d'azote, Yara France, Nanterre, Frankreich.
- [6] Yara, interne Kommunikation (2012): YaraBela® SULFAN®. Schwefel ist Ährensache, Yara GmbH & Co KG, Dülmen, Deutschland.
- [7] Yara, interne Kommunikation (2013): Grünlanddüngung unter Berücksichtigung der Schwefelversorgung, Yara GmbH & Co KG, Dülmen, Deutschland.
- [8] Yara International, Research Centre Hanninghof, Deutschland.
- [9] J. Arens (2007): Schwefeldüngung, Ertragseffekte der Schwefeldüngung mit N/S-Dünger. Yara GmbH & Co. KG, Dülmen, Deutschland.

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen entsprechen unserem derzeitigen Kenntnisstand und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Gewähr oder Haftung für das Zutreffen im Einzelfall ist ausgeschlossen, da die Standort- und Anbaubedingungen erheblichen Schwankungen unterliegen. Die zur Verfügung gestellten Informationen ersetzen keine individuelle Beratung. Sie sind unverbindlich und insbesondere nicht Gegenstand eines Beratungs- / Auskunftsvertrages.

