



Schwefel – für gesunde Pflanzen und gesunde Menschen

Elke Bloem, Silvia Haneklaus und Ewald Schnug (Braunschweig)

Schwefel war bis Ende der 70er Jahre hauptsächlich als Schadstoff in Verbindung mit saurem Regen ein Thema und wurde nur wenig als eines der Hauptnährelemente der Pflanzenernährung untersucht. Eine zusätzliche Düngung der Kulturpflanzen mit Schwefel war aufgrund des Eintrags durch die Luft nicht erforderlich. Auf dem Gebiet der alten Bundesrepublik waren die Maßnahmen zur Rauchgasentschwefelung jedoch so effektiv, dass bereits Anfang der 80er Jahre bei schwefelbedürftigen Kulturen Mangelerscheinungen beobachtet wurden. Heute sind davon fast alle landwirtschaftlichen Kulturen betroffen. Die neuen Bundesländer sind demgegenüber von dieser Entwicklung weitgehend verschont geblieben, da durch die bis in die 90er Jahre hinein stattfindende Braunkohleverbrennung noch ausreichend Schwefelreserven im Boden vorhanden sind. Auch die geringeren Niederschläge im Osten verzögern dort die Auswaschung des Nährstoffs aus dem Boden. Seit Anfang der 80er Jahre beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) mit den verschiedenen Aspekten der Schwefelversorgung von Kulturpflanzen. Die Schwefelversorgung steht in engem Zusammenhang sowohl mit der Gesundheit der Pflanze als auch – für den Verbraucher besonders interessant – mit dem gesundheitlichen Wert pflanzlicher Nahrungsmittel.

Die Erhöhung der qualitativ wertvollen schwefelhaltigen Inhaltsstoffe ist einer der Forschungsschwerpunkte am Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der FAL in Braunschweig. Feldversuche geben Aufschluss über optimale Schwefeldüngung sowie Erntetechnik und Zeitpunkt.

Zu den charakteristischen schwefelhaltigen Inhaltsstoffen aller Kohlsorten zählen die Glucosinolate. In diese Stoffgruppe gehören mehr als 130 verschiedene Einzelverbindungen, die alle eine Zuckereinheit und eine Sulfatgruppe besitzen. Medizinische Studien zeigen, dass Glucosinolate das Krebsrisiko, insbesondere das von Lungen- und Darmkrebs, reduzieren. Daher ist der Verzehr von Kohl besonders empfehlenswert. Allerdings stellt die Instabilität der Glucosinolate ein Problem dar: Beim Zerschneiden der Pflanze kommen Enzym und Substrat, die getrennt nebeneinander im Pflanzengewebe vorliegen, in Kontakt, und ein rascher Abbau setzt ein. Der charakteristische Geruch bei der Zubereitung von Kohl ist ein Resultat dieses Abbaus.

Funktion von Schwefel

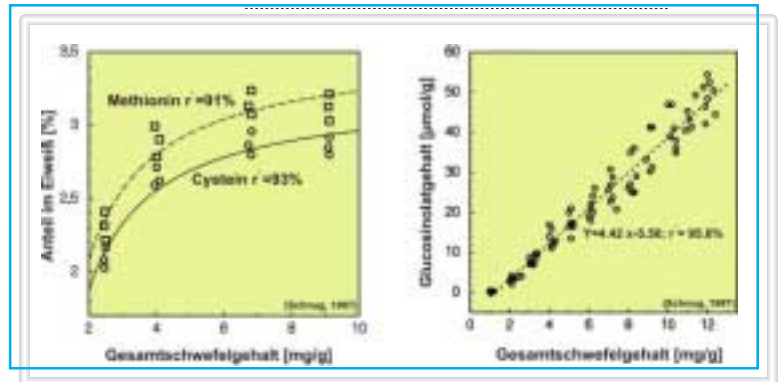
Schwefel wird in Form von Sulfat von der Pflanze aus dem Boden aufgenommen und in die Aminosäure Cystein eingebaut. Daraus werden alle weiteren schwefelhaltigen Inhaltsstoffe gebildet, beispielsweise die Aminosäure Methionin, das Tripeptid Glutathion, verschiedene Eiweißverbindungen sowie sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe. Einige dieser Bestandteile sind von pharmazeutischer Bedeutung, erfüllen aber gleichzeitig auch wichtige Funktionen innerhalb der Pflanze.

Zwiebeln, Knoblauch, Senf, Radieschen und Schnittlauch, die dadurch ihre typische Schärfe erhalten. Auch für den spezifischen Geschmack und Geruch der verschiedenen Kohlsorten und des Spargels sind Schwefelverbindungen verantwortlich.

Schwefel – Nahrungsmittelqualität

In einer breiten Palette von Lebensmitteln ist Schwefel in geschmacksbestimmenden Verbindungen enthalten, so in

Abb. 1: Einfluss der Gesamtschwefelgehalte auf die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein am Gesamtproteingehalt und den Glucosinolatgehalt in jungen Blättern von *Brassica oleracea*.



Die Düngungsversuche an der FAL zeigten, dass die Schwefelversorgung signifikant den Glucosinolatgehalt beeinflusst. Mit dem Gesamtschwefelgehalt, der ein Indikator für die Schwefelversorgung der Pflanze ist, steigt sowohl der Anteil an schwefelhaltigen Aminosäuren als auch der Glucosinolatgehalt bei Grünkohl an (Abb. 1). Auch produktionstechnische Maßnahmen wie Trocknung und Lagerung und klimatische Faktoren entscheiden über den Glucosinolatgehalt.

Schwefel – auch von pharmazeutischer Bedeutung

Die Tatsache, dass sich der Glucosinolatgehalt durch eine Schwefeldüngung signifikant steigern lässt, ist auch für die Phytopharmaka-Industrie bedeutungsvoll, da einige glucosinolathaltige Pflanzen speziell für pharmazeutische Zwecke angebaut werden. Ein Beispiel ist die Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*). Sie enthält nur ein einzelnes Glucosinolat, das Glucotropaeolin (GTL), welches antibiotisch wirksam ist und bei Harnwegsinfektionen und Bronchitis mit einer Tagesdosis von 130–260 mg empfohlen wird.

Das Forschungsteam der FAL analysierte in ungedüngten Gesamtpflanzen von *T. majus* einen relativ geringen GTL-Gehalt von rund 10 mg pro Gramm Trockensubstanz, so dass 13–26 g des getrockneten Materials nötig wären, um den Tagesbedarf zu decken. Wie bei Kohlgewächsen (Brassicaceen) lassen sich jedoch auch bei der Kapuzinerkresse die Gehalte über

die Düngung (25–50 kg S/ha) steigern, und zwar um rund 13,5 mg pro Gramm Trockensubstanz in jungen Blättern. Eine optimierte Schwefelversorgung erhöht daher auch im Arzneipflanzenanbau signifikant die Qualität des Produkts.

Gesundes Gemüse: Zwiebelgewächse

Alk(en)ylcysteinsulfoxide, deren vorherrschende Form bei Knoblauch als Alliin und bei Küchenzwiebeln als Isoalliin bezeichnet wird, sind die typischen schwefelhaltigen Inhaltsstoffe der Zwiebelgewächse (Alliumgewächse). Alk(en)ylcysteinsulfoxide sind ähnlich instabil wie Glucosinolate. So ist von der Küchenzwiebel bekannt, dass nach Verletzung des pflanzlichen Gewebes 93 % des Isoalliins innerhalb von 2–3 Minuten abgebaut werden. Das Zerfallsprodukt, Allicin, bedingt den typischen Geruch.

Zwiebeln und Knoblauch wurden bereits sehr früh zu Heilzwecken eingesetzt, da sie die Verdauung unterstützen und kleine Verbrennungen, Asthma und Bronchitis lindern. Die positiven Effekte auf den Blutdruck, auf Gefäßerkrankungen, Thrombosen, Arteriosklerose, rheumatische Arthritis und die Plättchenaggregation im Blut wurden viel später entdeckt und sind Ursache für die vielen Knoblauchpräparate am Markt. Bei Zwiebelgewächsen stellt sich ein ähnliches Problem wie bei glucosinolathaltigen Pflanzen: Die natürliche Wirkstoffkonzentration ist oftmals so niedrig, dass relativ große Mengen des frischen oder getrockneten Pro-



Kapuzinerkresse im Feldanbau in der FAL Braunschweig

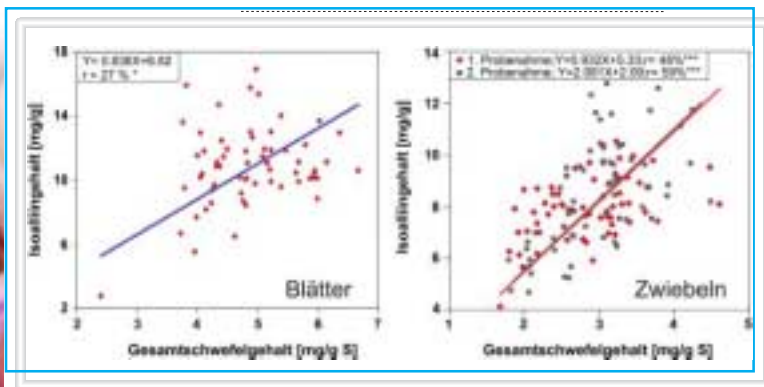
dukts verzehrt werden müssen, um die pharmazeutisch wirksame Dosis aufzunehmen. Daher werden vielfach alkoholische Extrakte hergestellt, in denen der Wirkstoff aufkonzentriert wird. Die hohe Nachfrage nach Knoblauchtabletten zeigt jedoch, dass der Verbraucher für den täglichen Gebrauch Produkte ohne Alkohol bevorzugt. Daher bietet sich auch hier eine Erhöhung der Wirkstoffkonzentration im Pflanzenmaterial an.

Ähnlich den Glucosinolaten, wird auch der Alk(en)ylcysteinsulfoxidgehalt positiv von der Schwefelversorgung beeinflusst (Abb. 2). Die Gehalte konnten durch Schwefeldüngung im Feldversuch nahezu verdoppelt werden.

Glutathion – das Entgiftungssystem der Zelle

Glutathion ist ein aus drei Aminosäuren aufgebautes Tripeptid (Glycin, Glutamat und Cystein), das sowohl in pflanzlichen wie tierischen Zellen vorkommt. Glutathion spielt eine wichtige Rolle bei der Entgiftung von Schwermetallen, beim Abbau verschiedener krebserregender Substanzen und hat eine wichtige Funktion im Immunsystem des Menschen. Es überführt zum Beispiel die Vitamine C und E in ihre aktive Form und bewahrt die Zelle so vor schädlichen freien Radikalen. Die höchsten Glutathion-Konzentrationen finden sich in Zellen der Leber, Nieren und Lunge. Vor allem übermäßiger Alkoholkonsum verringert den Glutathiongehalt in Blut und Leber. Mit der Nahrung aufgenommenes Glutathion soll zu einem direkten Anstieg der Gehalte im Blut führen. Daneben gibt es verschiedene Arzneimittel, die entweder Glutathion enthalten oder die Glutathion-Biosynthese im Körper anregen sollen.

Abb. 2: Veränderung des Isoalliingehaltes in Blättern und Zwiebeln von *Allium cepa* in Abhängigkeit von der Schwefelversorgung der Pflanze



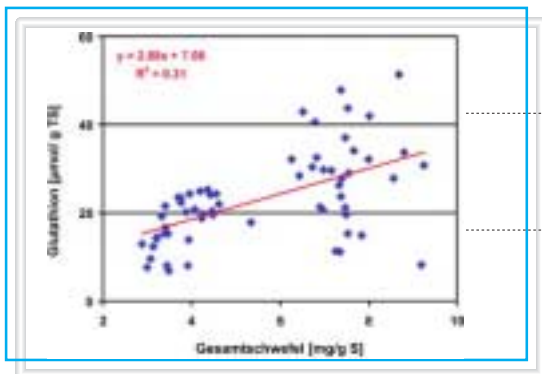


Von den Gemüsepflanzen enthalten Spargel mit 26 mg, Wassermelone mit 28 mg und Avocados mit 31 mg je 100 g besonders hohe Glutathiongehalte. An der FAL wurde untersucht, inwieweit sich auch der Glutathiongehalt durch eine Schwefeldüngung erhöhen läßt. Die bislang durchgeführten Feldversuche haben jedoch zu uneindeutigen Ergebnissen geführt: Die Schwefeldüngung führte zwar zu einem signifikanten Anstieg der Vorstufe Cystein (wie bereits für Grünkohl gezeigt), der Glutathion-Gehalt wurde jedoch von weiteren Faktoren beeinflusst, wobei ein wesentlicher Faktor die Gesundheit der Pflanze selbst zu sein schien.

Schwefel und die pflanzliche Gesundheit

Neben dem gesundheitlichen Aspekt für den Menschen erfüllen die dargestellten pflanzlichen Inhaltsstoffe auch wichtige Funktionen innerhalb der Pflanze, zum Beispiel hinsichtlich der Resistenz gegenüber Pilzkrankungen. Aufmerksam wurden die Wissenschaftler auf dieses Phänomen Anfang der 90er Jahre, als mit dem drastischen Rückgang der atmosphärischen Schwefeldioxidgehalte plötzlich vermehrt Pilzkrankheiten auftraten. So wurden bei der schwefelbedürftigen Kultur Raps vermehrt Infektionen mit *Cylindrosporiose*, Rapschwärze und Rapskrebs beobachtet.

Abb. 3: Veränderung der Glutathiongehalte bei Raps in Abhängigkeit von der Schwefelversorgung auf einem Schwefelmangelstandort mit extrem hohem Infektionsdruck durch *Pyrenopeziza brassicae*.



Schwefelmangel an Raps

Das Team im FAL-Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde konnte in Zusammenarbeit mit dem Scottish Agricultural College in Aberdeen (Schottland) nachweisen, dass eine Bodendüngung mit Schwefel zu einem signifikanten Ertragsanstieg und einer deutlichen Reduzierung des Krankheitsbefalls führte. Daraus resultierte ein weiterer Forschungsschwerpunkt des Instituts, nämlich die Analyse der Mechanismen, die mit der „schwefel-induzierten Resistenz“ in Verbindung stehen. Ziel ist es, die natürliche Resistenz der Pflanzen zu erhöhen und dadurch den Einsatz von Fungiziden vermindern zu können. Wichtige Mechanismen dürften dabei die Ausscheidung gasförmiger schwefelhaltiger Verbindungen (z.B. H_2S) über das Blatt, der Glutathion-Stoffwechsel und die Bildung sekundärer schwefelhaltiger Metabolite sein.

So erfüllt zum Beispiel Glutathion nicht nur beim Menschen Entgiftungsfunktionen, sondern wird auch von der Pflanze bei Pilzbefall und anderen Stress-Situationen angereichert. Untersuchungen zum Einfluss der Schwefelversorgung auf den Glutathiongehalt lieferten in Feldversuchen standortabhängig unterschiedliche Ergebnisse, wobei vermutlich der Infektionsdruck ausschlaggebend war. So konnte auf einem Standort mit leichter Pilzinfektion bei mittlerer Schwefelversorgung eine gleichbleibend hohe Glutathion-Konzentration gemessen werden, die sich durch Schwefeldüngung nicht veränderte. Dagegen zeigte sich bei einem hohen pilzlichen Infektionsdruck in Verbindung mit einer schlechten natürlichen Schwefelversorgung ein signifikanter Anstieg der Glutathiongehalte durch Schwefeldüngung (Abb. 3).

Die Förderung der natürlichen Resistenz der Pflanze ist von großer Bedeutung insbesondere für den Ökologischen Land-

bau, der auf synthetische Pflanzenschutzmittel verzichtet. Doch auch im konventionellen Landbau schont ein geringerer Fungizideinsatz die Umwelt.

Nährstoff-Ungleichgewichte

Zum Schluss sei noch darauf hingewiesen, dass eine unausgewogene Nährstoffversorgung insbesondere im Hinblick auf Stickstoff extrem problematisch für die Qualität landwirtschaftlicher Produkte ist. Da sowohl Schwefel als auch Stickstoff Bestandteile von Aminosäuren sind, werden sie gemeinsam für die Eiweiß-Synthese benötigt. Schwefelmangel bedeutet stets eine verminderte Ausnutzung des Düngerstickstoffs, was zu unerwünschten Austrägen in die Umwelt führt, aber auch zur Anreicherung von Stickstoffverbindungen wie Amiden und Nitrat im Pflanzenmaterial, welches zu giftigem Nitrit umgesetzt werden kann. Eine ausgewogene Nährstoffversorgung unterstützt daher generell die „gesunde Pflanze“.

Die noch weitgehend ungeklärten Zusammenhänge der so genannten „schwefel-induzierten Resistenz“ werden zurzeit von einer durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschergruppe (FOR 383) untersucht. In diesem Projekt arbeiten die Universitäten Braunschweig, Heidelberg, Hannover und Freiburg, das IPK Gatersleben, das Max-Planck-Institut Jena sowie das Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der FAL zusammen. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist es erstmals möglich, agronomische Aspekte der schwefel-induzierten Resistenz mit molekularbiologischen und genetischen Untersuchungsmethoden zu kombinieren und klassische Grundlagenforschung sinnvoll mit einem praktischen Ansatz zu verbinden. ■



Dr. Elke Bloem, Dr. Silvia Haneklaus, Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-mail: elke.bloem@fal.de