

Silizium – vielseitiger Baustein für eine nachhaltige Landwirtschaft?

Die Landwirtschaft sieht sich derzeit mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert. Dazu zählen unter anderem die Veränderung der klimatischen Bedingungen und folglich vermehrte Extremwetterlagen sowie die angestrebte Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und die Erhöhung der Nährstoff-Effizienz. Die Anwendung von Silizium-Präparaten könnte ein wichtiger Baustein für die Bewältigung der genannten Herausforderungen sein. Studien zeigen, dass besonders unter Stressbedingungen, wie anhaltender Trockenheit, Ertragssteigerungen durch Silizium (Si)-Düngung möglich sind. Doch was genau hat es mit den vielversprechenden positiven Effekten von Silizium auf sich?

Nach Sauerstoff ist Silizium das zweithäufigste Element der Erdhülle. Allerdings ist ein Großteil dessen fest verbaut in silikatischen Mineralen (z. B. Quarz, Feldspat, Magnesiumsilikate) und wird durch Verwitterungsprozesse nur sehr langsam pflanzenverfügbar. Wesentlich reaktivere Formen von Silizium sind Orthokieselsäure (SiOH_4) und amorphes (ungeordnetes) Silizium-Dioxid (SiO_2). Erst wenn Silizium in diesen Formen vorliegt und daher nicht fest in einem kristallinen Gitter gebunden ist, kann es die nachfolgend beschriebenen positiven Effekte auf Boden und Pflanzen entfalten. Entscheidend ist also nicht, dass ausreichend Silizium im Boden vorliegt, sondern vielmehr in welcher Form. Grundsätzlich ist zwischen der Silizium-Düngung des Bodens (z. B. durch Si-haltige Kalke und Gesteinsmehle) und der Silizium-Düngung der Pflanze durch Blattspritzung von hoch-konzentrierten Blattdüngern und feinstvermahlenden Gesteinsmehlen zu unterscheiden.

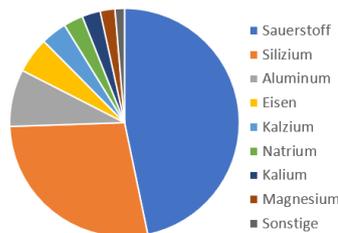


Abb. 1: Elementverteilung der Erdhülle

Trockenheitstoleranz, Wasserspeicherkapazität und Nährstoffverfügbarkeit

Der wahrscheinlich wichtigste Effekt von Silizium ist die erhöhte Trockenheitstoleranz und verbesserte Wasserhaltekapazität von Boden und Pflanze. Silizium führt in der Pflanze zu einer Reduktion der unproduktiven Wasserverluste indem Zellwände stabilisiert und die Spaltöffnungen

(Stomata) schneller geschlossen werden können und somit die Pflanze ihren Wasserhaushalt besser regulieren kann. Darüber hinaus kann auch das Wurzelwachstum durch Si-Düngung gefördert werden, was wiederum zu einem besseren Wasser- und Nährstoffaneignungsvermögen führt. Neben den relativ unerforschten physiologischen Veränderungen durch Si-Düngung der Pflanze, scheint die Bodendüngung mit Silizium ein wesentlich größerer Hebel zur Verbesserung der Trockenheitstoleranz zu sein. Eine Studie zeigte, dass die Erhöhung der Konzentration von amorphem Silizium im Boden um 1 % zu über 40 % mehr pflanzenverfügbarem Wasser führte. Dies kommt vermutlich durch die Kombination von zwei Effekten zustande. Einerseits besitzt Silizium per se aufgrund seiner atomaren Eigenschaften eine hohe Wasserhaltekapazität. Zusätzlich scheint sich Silizium in Grobporen anzureichern, deren Durchmesser zu verringern und damit die Porenverteilung hin zu engeren Bodenporen mit höheren Kapillarkräften zu begünstigen (zu Kapillarkräften siehe b:s Infobrief 9). Folglich gibt es besonders auf sandigen Böden mit einem naturgemäß hohen Anteil an Grobporen ein großes Potenzial zur Verbesserung der Wasserhaltekapazität.

Neben den positiven Effekten auf Wasser im Boden, kann Silizium auch die Phosphor-Verfügbarkeit erhöhen. Da Silizium in Form von Kieselsäure sehr ähnliche Eigenschaften wie Phosphat aufweist, kann es dieses von den Bindungsplätzen der Bodenpartikel verdrängen. Somit erhöht sich der Anteil von Phosphor in der Bodenlösung. In ähnlicher Art und Weise kann die Verfügbarkeit von Phosphor beispielsweise auch durch den Anbau von Lupinen, die Phosphor durch die Ausscheidung organischer Säuren mobilisieren, verbessert werden.

Pflanzengesundheit und Standfestigkeit

Des Weiteren gibt es mittlerweile viele Studien und Berichte, die eine Verbesserung der Pflanzengesundheit und Standfestigkeit durch Silizium zeigen. Einerseits führt Silizium durch die Stabilisierung der Zellwände zu einer höheren Widerstandsfähigkeit gegen Insekten sowie pilzliche Schaderreger (z. B. Mehltau, Fusarium) und stärkt die Halmstabilität.

In dieser Ausgabe

Silizium – vielseitiger Baustein für eine nachhaltige Landwirtschaft?
Stellschrauben für einen erfolgreichen Mais-Anbau



Zusätzlich spielt Silizium eine wichtige Rolle bei der pflanzeneigenen Immunreaktion. Es sammelt sich gezielt an Infektionsstellen von pilzlichen Schaderregern und ermöglicht dort erst im Zusammenspiel mit weiteren (Mikro-) Nährstoffen eine aktive Abwehr des Schaderregers. Pflanzen sind also nicht nur passiv ihrem Schicksal überlassen, sondern können sich durchaus auch verteidigen. Voraussetzung dafür ist allerdings eine ausgewogene Nährstoffversorgung. Nicht zuletzt hat Silizium im Boden auch positive Effekte auf die Bodenbiologie und stärkt auf diesem Weg die Pflanzengesundheit. So wird beispielsweise die Widerstandsfähigkeit gegen bodenbürtige Schaderreger wie Schwarzbeinigkeit erhöht.

Alles in Allem sind die positiven Effekte von Silizium, die mittlerweile auch in einigen wissenschaftlichen Studien nachgewiesen werden konnten, sehr vielversprechend. Die Details und genauen physiologischen Wirkmechanismen sind jedoch oft noch nicht erforscht. Da die benötigten Aufwandmengen, um derartige Effekte zu erzielen abhängig von Kultur, Anwendungszeitpunkt, Witterung und der vor-

liegenden Bodenart noch sehr unklar sind, ist es zu empfehlen selbst Versuche mit Si-haltigen Mitteln anzulegen und so deren Wirksamkeit zu prüfen. Um die Verfügbarkeit von Silizium nachhaltig zu verbessern, gilt es ein aktives Bodenleben durch möglichst ganzjährige Begrünung bei minimaler Bodenbearbeitung und ausgewogener Nährstoffversorgung zu kultivieren. Das Zusammenspiel von Pflanzen und Mikroorganismen ist entscheidend für eine kontinuierliche Verwitterung der im Boden vorkommenden Mineralien – der Symbiose von Pflanze, Mykorrhizapilzen und Bakterien kommt dabei eine besonders wichtige Rolle zu.

Ausgewählte Literatur:

Schaller, J., Webber, H., Ewert, F. et al. *The transformation of agriculture towards a silicon improved sustainable and resilient crop production.* npj Sustain. Agric. 2, 27 (2024).
<https://doi.org/10.1038/s44264-024-00035-z>

Schaller, J., Cramer, A., Carminati, A. & Zarebanadkouki, M. *Biogenic amorphous silica as main driver for plant available water in soils.* Sci. Rep. 10, 2424 (2020).

Stellschrauben für einen erfolgreichen Mais-Anbau

Dank des sehr hohen Ertragspotenzials und der positiven Futtereigenschaften, spielt Mais eine zentrale Rolle in Fruchtfolgen und Futterrotationen. Für einen nachhaltigen Mais-Anbau sind ein wassersparendes, erosionsminderndes Saatverfahren und eine ausgewogene Pflanzenernährung essentiell.

Zwischenfruchtanbau & Saatbettbereitung

Die Grundlage für einen erfolgreichen Mais-Anbau wird mit der Ernte der Vorfrucht (Strohverteilung, Befahrbarkeit) und dem Zwischenfruchtanbau gelegt. Eine gelungene, sinnvoll zusammengestellte Zwischenfrucht kann durch intensive Durchwurzelung und eine breite Palette an Wurzelauflösungen eine krümelige, lebendverbaute Bodenstruktur aufbauen. Positive Effekte auf Bodenleben und Nährstoff-Dynamik unterstützen die jungen Mais-Pflanzen bei Nährstoffaneignung und Wachstum. Das auf der Oberfläche verbleibende organische Material dient als Futter für Regenwürmer, wirkt erosionsmindernd und schützt den Boden vor Austrocknung.

Diese Effekte kommen richtig zum Tragen, wenn die Bodenbearbeitung vor der Mais-Aussaat auf ein notwendiges Minimum reduziert wird. Nach mehreren Überfahrten mit Grubber, Scheibenegge & Co ist von der ursprünglichen

Mulchauflage oft nicht mehr viel zu sehen. Jede mechanische zerstört Bodenbearbeitung die biologisch stabilisierten Bodenkrümel und sorgt für eine schlechtere Aggregatstabilität. Das Resultat: Stark erhöhte Verschlammungsgefahr, oft reichen bereits durchschnittliche Niederschlagsereignisse, um den Boden zu verkrusten. In der Folge ist der Gas-Austausch im Boden massiv beeinträchtigt, was besonders in der Jugend-Entwicklung der Maispflanzen aus pflanzenbaulicher Sicht fatal ist. Zusätzlich ist der Boden bei weiteren Niederschlagsereignissen nur eingeschränkt



Abb. 2: Infiltrationsmessung im Mais (Batrla ILE Kahlgrund Spesart)



wasseraufnahmefähig. Oberflächlich abfließendes Wasser sorgt in Ortschaften für Probleme, anstatt zu versickern und dem Mais durch die ersten frühsummerlichen Hitzeperioden zu helfen. Nichtsdestotrotz ist zur Einarbeitung organischer Dünger und zur Unkrautregulierung Bodenbearbeitung oft unerlässlich. Für eine möglichst bodenschonende Umsetzung müssen einige Stellschrauben in Betracht gezogen werden.

Tiefe Lockerung zur Beseitigung von Störschichten sollte bei Bedarf bereits im Sommer vor Aussaat der Zwischenfrucht oder im stehenden Zwischenfruchtbestand erfolgen. Mit guter Sätechnik und passender Saatstärke etablierte, dichte Zwischenfrüchte, sorgen für möglichst wenig Unkrautdruck im Frühjahr. Das Walzen der Zwischenfrucht bei Frost kann das Absterben der Zwischenfrucht und die Zerkleinerung des Mulchmaterials fördern.



Abb. 3: Mulchauflage (Johannes Herold, GeoTeam)

Tiefe Lockerung zur Beseitigung von Störschichten sollte bei Bedarf bereits im Sommer vor Aussaat der Zwischenfrucht oder im stehenden Zwischenfruchtbestand erfolgen. Mit guter Sätechnik und passender Saatstärke etablierte, dichte Zwischenfrüchte, sorgen für möglichst wenig Unkrautdruck im Frühjahr. Das Walzen der Zwischenfrucht bei Frost kann das Absterben der Zwischenfrucht und die Zerkleinerung des Mulchmaterials fördern. Bei den Bodenbearbeitungsgängen im Frühjahr sollte unbedingt auf die Befahrbarkeit der Böden geachtet werden. Niedriger Reifendruck hilft enorm, um Schadverdichtungen zu vermeiden. Angepasste Fahrtgeschwindigkeit bei der Bodenbearbeitung reduziert die mechanische Zerstörung der Bodenaggregate. Die Ausbringung der Gülle sollte ggf. gesplittet werden, um zu hohe Einarbeitungsmengen zu verhindern. Dies kann bei flachen Arbeitsgängen sowohl aus technischer Sicht (Stopfen, Schmierer), als auch aus biologischer Sicht (Bodenleben, Milieu-Steuerung) sinnvoll sein.

Kalkversorgung

Ein Aspekt eines erfolgreichen Mais-Anbau ist die Kalkversorgung des Bodens. Ein optimal eingestellter pH-Wert ermöglicht eine hohe Verfügbarkeit der Pflanzennährstoffe (z.B. P, Mn, Zn, B), verbessert die Bodenstruktur und reduziert die Verschlämmungsgefahr. Das Calcium-Ion fördert die Tonflockung und führt durch Kalkbrücken zu einer lockeren Bodenstruktur. Diese wird erst durch „Vermörtelung“ nachhaltig stabilisiert. Voraussetzung dafür ist, dass genügend freier Kalk (CaCO_3 , das nicht für die Neutralisation von Säuren verbraucht wurde) im Boden vorhanden ist. So wird die Durchlüftung verbessert und durch einen erhöhten Anteil von engen Grob- und Mittelporen die Wasserspeicherkapazität erhöht. Um den Kalkbedarf und geeignete Düngemittel zu bestimmen ist eine Bodenuntersuchung mit direkter Untersuchung der Belegung am Kationenaustauschkomplex und Berücksichtigung der Nährstoffverhältnisse sinnvoll. So kann ein optimaler Effekt auf die Entwicklung der Bodenstruktur bewirkt werden und das Risiko von Nährstoffmangel aufgrund von Antagonismen reduziert werden. Für einen schnellen Effekt sind je nach Bodenart und pH-Wert Schwarzkalk, feinst vermahlene kohlensäure Kalke, oder Mischkalke mit Branntkalkanteil zu empfehlen. Um die Überfahrten im Frühjahr zu minimieren, kann bereits im Herbst in den stehenden Zwischenfruchtbestand gekalkt werden.

Ausgewogene Nährstoffversorgung

Eine ausgewogene Nährstoffversorgung sichert eine vitale Jugendentwicklung der Mais-Pflanzen. Neben dem passenden pH-Wert, der Bodenstruktur und einer effizienten Ausbringung von organischen Düngern, ist die mineralische Unterfußdüngung ein wichtiges Werkzeug zur Optimierung der Nährstoffversorgung. Gerade bei kalter Witterung und reduzierter Bodenbearbeitung können Wachstumsverzögerungen infolge von langsamerer Bodenerwärmung und Nährstoffmineralisation durch Unterfußdüngung abgemildert werden. Bisher lag der Fokus oft auf der Absicherung der Phosphor-Versorgung mit recht hohen Mengen an NP-Düngern, obwohl der Phosphor Bedarf bis zum 6-Blattstadium lediglich bei 10 % (ca. 10 kg P/ha) liegt. Bis zur Blüte geht man von einer Phosphor-Aufnahme von ca. 30 % aus. Wird der Mais im Jugendstadium mit sehr hohen Mengen an leicht verfügbarem Phosphor verwöhnt, leidet darunter das Wurzelwachstum. Daraus folgen geringere Trockenheitstoleranz und eine schlechtere Versorgung mit Mikronährstoffen, die sich der Mais oft „erwachsen“ muss. Zusätzlich wird bei hoher P-Düngung die Aufnahme wichti-



ger Mikronährstoffe (v.a. Zink) aufgrund von Nährstoff-Antagonismen und reduzierter Mykorrhizierung beeinträchtigt. Daher wird empfohlen den Schwerpunkt nicht nur auf Phosphor und Stickstoff zu legen, sondern stattdessen weitere äußerst wichtige Nährstoffe zu ergänzen.

Mais hat einen hohen Bedarf an Magnesium (ca. 70 kg/ha). Magnesium – das Zentralatom des Chlorophyll – ist essentiell für die Photosynthese-Leistung, den Eiweiß- und Energiestoffwechsel sowie das Wurzelwachstum indem es die Verlagerung von Assimilaten (Photosynthese-Produkte) innerhalb der Pflanze fördert. Bei Magnesium-Mangel kann es zu einem sogenannten „Zucker-Stau“ mit negativen Auswirkungen auf den pflanzlichen Stoffwechsel und letztlich die geernteten Qualitäten kommen. Es ist auf ein günstiges K:Mg Verhältnis (ca. 3:1) zu achten, um eine optimale Nährstoffaufnahme zu gewährleisten. Gerade bei intensiver organischer Düngung sollten die Boden-Gehalte von Magnesium und Kali stets im Blick behalten werden. Mit Kieserit (MgSO₄) steht eine Quelle für schnell lösliches Magnesium und Schwefel zur Verfügung. Auch die Schwefel-Versorgung darf nicht außer Acht gelassen werden, um eine hohe N-Effizienz sicherzustellen.

Die beiden wichtigsten Mikronährstoffe im Mais-Anbau sind Bor und Zink (Bedarf ca. 300 – 500 g/ha). Zink spielt als Co-Faktor von etlichen Enzymen eine zentrale Rolle im Pflanzenstoffwechsel und trägt als „Sonnencreme der Pflanze“ zu einer hohen Vitalität der Bestände bei starker Sonneneinstrahlung bei. Auch an der Produktion von Pflanzenhormonen zur Zellstreckung ist Zink beteiligt. Symptome bei Zink-Mangel sind daher gestauchtes Wachstum und kleine Blätter. Da Zink-Mangel bei Mais sehr schnell ertragswirksam werden kann, ist bereits im Jugendstadium auf eine gute Zink-Versorgung zu achten. Bor ist wichtiger Bestandteil der Zellwände und wird ebenfalls für ein stabiles Längen- und Wurzelwachstum benötigt. Auch auf die Fruchtbarkeit und damit die Ausbildung von vollen Kolben hat Bor einen positiven Einfluss.

Grundsätzlich gilt, dass eine ausreichende Boden-Versorgung mit Mikronährstoffen anzustreben ist. Zink und Bor werden in der Mais-Pflanze über den Transpirationsstrom im Gewebe verteilt. Da dieser Vorgang nur in eine Richtung abläuft, können auf das Blatt gedüngtes Bor und Zink nicht in die Wurzel verlagert werden. Bei sehr geringen Nährstoffgehalten im Boden oder Trockenheit und folglich einem reduzierten Transpirationsstrom sollten Mikronährstoffe jedoch zusätzlich über das Blatt ergänzt werden.

Aufgrund der schlechten Mobilität von Bor und Zink ist eine häufigere Blatt-Applikation mit niedrigeren Aufwandmengen einer einmaligen Düngung zu bevorzugen. Pflanzensaftanalysen helfen dabei, den richtigen Nährstoff-Cocktail für die Kultur zusammenzustellen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass gerade beim Mais eine Vielzahl von ackerbaulichen Faktoren zum Erfolg beitragen. Werden diese berücksichtigt, können auch mit reduzierten Mengen an N und P hohe Erträge realisiert werden. Besonders wichtig für Nährstoff-Effizienz, Trockenheitsresistenz und nicht zuletzt einen hohen Erosionsschutz sind Bodenstruktur und Aggregatstabilität. Wenn die Bodenmatrix aufgrund von Schadverdichtungen vom Wurzelsystem der Pflanze nicht erschlossen werden kann, hilft eine optimale Nährstoffversorgung des Bodens nur bedingt und spätestens bei frühsommerlichen Trockenperioden kommen die Bestände an ihre Grenzen. Dies wiederum zeigt, dass Boden- und Grundwasserschutz auch beim Mais Hand in Hand gehen.

Ausgewählte Literatur:

Marschner's Mineral Nutrition of Plants

<https://www.wochenblatt-dlv.de/feld-stall/pflanzenbau/wichtigsten-mikronaehrstoffe-fuer-mais-576300>

<https://www.saaten-union.de/mais/duengung-von-mais-das-ist-zu-beachten/>

HERAUSGEBER



Dienstleistung für Mensch und Umwelt

GeoTeam-
Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH

Wilhelmsplatz 7
95444 Bayreuth

Tel.: 0921 990926-50
Fax: 0921 990926-79

E-Mail: bayreuth@geoteam-umwelt.de

REDAKTION

Reinhard Wesinger
Johannes Herold
Dr. Heidi Lehmal

© Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Der nächste info:brief erscheint im Herbst 2025