

Auf die Verwitterung kann man lange warten

Die Verfügbarkeit von Kalium im Boden

Kalium ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und liegt im Boden in verschiedenen mehr oder weniger pflanzenverfügbaren Fraktionen vor. Wie gut eine Kalium-Düngung wirkt, ist unter anderem davon abhängig, wie viel austauschbares Kalium der Boden in der Vergangenheit abgegeben hat.



Die Kaliumdüngung soll freie Sorptionsplätze im Boden wieder auffüllen. Foto: landpixel

Kalium ist im Boden vor allem als Salz (Kaliumchlorid, Kaliumnitrat, Kaliumsulfat, Kaliumcarbonat), als Kalilauge (KOH) oder in Form von K^+ -Ionen in der Bodenlösung oder in silikatischen Bindungen vertreten. Kalium tritt weder in der Natur noch in Düngemitteln als Kaliumoxid (K_2O) auf. Trotzdem wird es als Verrechnungsgröße für kaliumhaltige Düngemittel verwandt.

Der Gesamtkaliumgehalt des Bodens beträgt in Abhängigkeit vom Ton-Humusgehalt 0,2 bis 3 Prozent, das heißt zirka 2 600 bis 39 000 kg/ha verteilt auf 1 m Ackerkrume. Dort ist Kalium in Form von K^+ -Ionen in unterschiedli-

chen Positionen gebunden beziehungsweise fixiert.

Der überwiegende Teil des bodenbürtigen Kaliums befindet sich im Gitter von Schichtsilikaten (z.B. Kali-Feldspat, Glimmer), woraus es allenfalls nach langwierigen Verwitterungsprozessen freigesetzt wird („Reserve“) oder in den Zwischenschichten aufweitbarer Dreischichttonminerale, zum Beispiel von Illiten (Glaukonit), Smectiten (Montmorillonit) oder Vermiculiten.

Nicht austauschbares Zwischenschicht-Kalium

Dieses sogenannte nicht austauschbare „Zwischenschicht-Kalium“ fördert wie das Zwischenschicht-Ammonium den Zusammenhalt und damit die Stabilität der Silikatschichten und wird erst nach Verarmung des Kaliums an den Austauschern beziehungsweise in der Bodenlösung sukzessive freigesetzt und damit pflanzenverfügbar.

Dabei weiten sich zuerst die Randbereiche, später erfolgt eine vollständige Aufweitung der Silikatschichten. Während dieses Prozesses wird das Zwischenschicht-Kalium durch andere Kationen (Ca, Mg, Na, H usw.) ausgetauscht und in die Bodenlösung geschwemmt („nachgeliefert“). Den umgekehrten Vorgang bezeichnet man als K-Fixierung. Je mehr ein Boden an nicht austauschbarem Kalium an die Bodenlösung und an die Pflanze abgegeben hat, umso stärker ist anschließend sein Fixierungsvermögen.

Organische Substanz ist wichtiger Kaliumaustauscher

Eine für die Ernährung der Pflanzen und den Nährelementhaushalt des Bodens gleichermaßen wichtige Fraktion stellt das an Austauschern gebundene Kalium dar. Kationenaustauscher im Boden sind vor allem die organische Substanz, Tonminerale und in geringem Umfang Kieselsäuren, Eisen- und Aluminiumoxide. Das an organische Bestandteile fixierte Kalium nimmt mengenmäßig mit 25 bis 50 kg Kalium/ha nur eine marginale Größenordnung ein.

Einen weitaus höheren Stellenwert für die Kaliversorgung der Pflanzen stellt das an den äußeren Oberflächen von Zwei- (z.B. Kaoliniten) und Dreischichttonminerale austauschbar gebundene Kalium dar (300 bis 13 000 kg/ha). Die K-Aufnahme erfolgt über die in der Bodenlösung befindlichen K^+ -Ionen. Diese Fraktion beläuft sich je nach Bodenart auf 500 bis 2000 kg/ha.

Bodenwasser bestimmt die Kaliumverfügbarkeit

Zwischen den verschiedenen Kaliumfraktionen im Boden bestehen Gleichgewichte, die sich unterschiedlich schnell einpendeln. Die Verfügbarkeit von Kalium im Boden, das heißt seine Löslichkeit und der Transport, ist maßgeblich von dessen Wassergehalt abhängig. Vor allem unter trockenen Verhältnissen nehmen diese Eigenschaften drastisch ab.

Die Kaliumauswaschung korrespondiert mit dem Tonmineralanteil des Bodens und den Niederschlagsverhältnissen. Auf leichten Böden können beachtliche Mengen rasch aus dem Wurzelraum ausgewaschen werden, zumal die organische Bodenfraktion keinen nennenswerten Beitrag zur Kaliumsorptions leistet.

Alle Böden ab etwa 35 Bodenpunkten enthalten Dreischichttonminerale, die Kalium selektiv anziehen und in ihren Zwischenschichten binden. Dieses selektive Bindungsvermögen der Tonminerale ist für die Pflanzenproduktion generell positiv zu bewerten, da es eine Auswaschung verhindert. Nur dadurch ist eine Kalidüngung im Herbst überhaupt erst möglich und sinnvoll.

Austausch-Kapazität für Kationen im Boden

Zur Beurteilung der Kaliumsättigung muss die Kationen-Austausch-Kapazität (KAK) bestimmt werden. Sie kennzeichnet die Menge an Kationen, die in einer bestimmten Bodenmasse an Austauschern reversibel gebunden werden kann, und die damit vor Auswaschung oder Ausfällung geschützt wird und gleichzeitig bei Bedarf (Verarmung der Bodenlösung) bereitgestellt, das heißt pflanzenverfügbar wird. Die Summe der austauschbaren Kationen (Kationenbelag) korreliert mit der Menge und Qualität der Austauscher im Boden.

Mit dem pH-Wert verändert sich auch die Belegung der Austauscher. In stark sauren Böden überwiegen vor allem die H^+ - und Al^{3+} -Ionen am Belag der Austauscher und in schwach sauren und basischen Böden herrschen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ - und Na^+ -Ionen vor.

Tabelle1: Austauschkapazität, Oberfläche und Ladungsdichte verschiedener Tonminerale

Tonmineral	KAK mmol /100 g Boden*	Spez.Oberfläche m^2/g Boden	Ladungsdichte mmol/cm ²
Kaolinite	6	30	2
Illite	30	100	3
Vermiculite	150	750	2
Smectite	100	800	1,3

*Die Summe aller austauschbaren Kationen eines Bodens ist die Kationenaustauschkapazität (KAK) angegeben in mmol/kg (mmol = 0,001 mol). Ein „Mol“ bezeichnet die Stoffmenge und enthält definitionsgemäß $6,022 \times 10^{23}$ Teilchen.

Die organische Substanz ist die Bodenfraction mit der größten bindungsfähigen Oberfläche. Die Oberfläche der mineralischen Bodenfraction schwankt erheblich mit dem Tonmineralanteil und der Tonmineralzusammensetzung (Tabelle 1). Mit steigender Ladungsdichte steigt die Bindungskraft vor allem für zweiwertige Kationen.

Schätzung der Austauschkapazität

Liegen Ton- und Humusgehalt eines Bodens vor, so ist eine grobe Schätzung der Austauschkapazität durch folgenden Rechenweg möglich: Doppelter Humusgehalt (in Prozent) + halber Tongehalt (in Prozent) = Summe der Kationen in mmol je 100 g Boden oder der Wert wird aus einer Tabelle entnommen (Tabelle 2)

Analog der Humusanteile und der Tonmineralgarnitur variiert die Austauschkapazität (in mmol/100g Boden) der meisten Standorte wie in Tabelle 3 gezeigt.

Wechselwirkung mit Magnesium

Im Gegensatz zu Kalium wird Magnesium nicht selektiv in den Tonmineralzwischen-schichten gebunden. Aber es muss zwischen Magnesium, das durch Düngung ausgebracht wurde und dem, welches von Natur aus die Zwischen-schichten spezieller Tonminerale belegt, unterschieden werden. Böden, die nicht von dolomitischem Kalk abstammen, aber dennoch reich an Magnesium sind, quellen und schrumpfen sehr stark, dies jedoch unabhängig von einer Magnesiumdüngung.

Gedüngtes Magnesium wird nur an den Tonmineraloberflächen gebunden und kann daher diese natürliche Eigenschaft der vorhandenen Tonmineralart nicht verändern. Eine Kalkung zur Anhebung des pH-Wertes in Gehaltsklasse C verschafft aber auch für Magnesium wieder freie Austauschplätze, sodass hier ebenfalls die Magnesiumdynamik verbessert wird.

Entscheidend für die Interpretation des Verhaltens des Hauptnährstoffs Magnesium hinsichtlich der Pflanzenernährung ist, dass die Wurzeln ihn nicht selektiv zu sich holen können, sondern dass Magnesium nur über den Wasserstrom im Boden an die Pflanze gelangen kann. Das bedeutet, dass die Magnesiumverfügbarkeit bei zunehmender Trockenheit recht schnell abnimmt.

Dazu kommt der bekannte Antagonismus zwischen Kalium, Ammonium und Magnesium oder auch die Aufnahmekonkurrenz durch Calcium. Düngemittel, die anteilmäßig Magnesium in hochwirksamer, wasserlöslicher Form

Tab. 2: Schätzung der Kationenaustauschkapazität in Abhängigkeit vom Ton- und Humusgehalt

Humusgehalt	KAK in mmol/100 g Boden Tongehalt in %						
	<3 %	5 %	12 %	20 %	30 %	35 %	40 %
1 %	6	7	10	12	15	17	19
2 %	7	8	10	13	16	18	20
3 %	8	9	11	14	17	19	20
4 %	9	10	12	15	18	20	22
6 %	11	12	14	17	20	22	23

enthalten, beugen dem vor. Ohne Einfluss auf die Bodenstruktur zu nehmen, stellen sie die Versorgung mit diesem wichtigen Nährstoff sicher.

Erwin Niederländer, K+S, LAD Südwest

Tabelle 3: Austauschkapazität der meisten Standorte*

(in mmol/100g Boden)

Sand	2-5
humoser Sand	5-10
humoser l. Sand	10-15
humoser s. Lehm	15-20
humoser Lehm	20-25
humoser Ton	25-80

*Analog der Humusanteile und der Tonmineralgarnitur