

Böden können Kationen an Bodenbestandteilen mit negativ geladenen Oberflächen reversibel, das heißt umkehrbar bzw. austauschbar, binden und nach und nach wieder an die Bodenlösung abgeben. Eine Auswaschung der Stoffe wird auf diese Weise verzögert oder verhindert. Da viele Pflanzennährstoffe im Boden als Kationen vorliegen, ist diese Eigenschaft für die Nährstoffspeicherung und -verfügbarkeit für die Düngung besonders wichtig.

Das Maß für diese Fähigkeit zur reversiblen Kationenbindung ist die Kationenaustauschkapazität (KAK); sie kennzeichnet die austauschbare Kationenmenge (cmol^+) bezogen auf eine bestimmte Bodenmasse (kg). Sie hängt von der Art und der Menge der Austauscher-Oberflächen ab; dies sind Tonminerale, organische Substanz sowie untergeordnet Schluffe und pedogene Oxide. Die Fähigkeit, Kationen zu adsorbieren, hängt bei pedogenen Oxiden und der organischen Substanz vom pH-Wert ab, sie steigt mit steigendem pH-Wert. Mit dem pH-Wert ändert sich auch die Belegung der Kationenaustauscher. Während in basischen bis schwach sauren Böden Calcium-, Magnesium-, Kalium- und Natrium-Kationen überwiegen, werden in stark sauren Böden Wasserstoff- und Aluminium-Kationen festgelegt.

Diese Auswertung ermittelt die sogenannte potenzielle Kationenaustauschkapazität (KAKpot). Sie beschreibt die Verhältnisse bei einem leicht basischen pH-Wert und kennzeichnet die maximale Anzahl möglicher freier Kationenbindungsplätze; im Labor wird sie nach DIN ISO 13536 bei einem pH-Wert von 8,1 durch Austausch der Kationen gegen eine gepufferte Salzlösung wie 0,1-molare BaCl_2 -Triäthanolamin oder 1-molare NH_4 -Acetat bestimmt. In erster Linie gelten die ermittelten Kennwerte daher für gekalkte Ackerböden und kalkhaltige Waldböden. Saure Waldböden werden üblicherweise durch die effektive Kationenaustauschkapazität (KAKeff) charakterisiert; sie stellt die Anzahl der tatsächlich freien Kationenbindungsplätze bei dem jeweils aktuell vorliegenden pH-Wert des Bodens dar und wird beim aktuellen pH-Wert des jeweiligen Bodens durch Austausch der Kationen gegen eine ungepufferte Salzlösung wie 0,5-molare NH_4Cl bestimmt.

Die potenzielle Kationenaustauschkapazität schwankt in Abhängigkeit vom Tongehalt der Böden ganz erheblich: In Tonböden kann sie über 20 cmol^+/kg Boden liegen, in Sandböden häufig unter 0,5 cmol^+/kg Boden. Für mittel-europäische Böden mit überwiegend illitischen Tonen kann sie nach DIN 4220 aus den Ton- und Schluffgehalten einer Körnungsanalyse durch folgende empirische Gleichung ermittelt werden:

$$\text{potenzielle Kationenaustauschkapazität } (\text{cmol}^+/\text{kg}) = 0,5 * \text{Tongehalt} + 0,05 * \text{Schluffgehalt}.$$

Durch den Humus, hier als organische Substanz in Gew.-% (org.C), kommt eine zusätzliche Kationenaustauschkapazität hinzu, die sich, ohne die Berücksichtigung des Einflusses steigender Tonanteile, berechnet als:

$$\text{potenzielle Kationenaustauschkapazität } (\text{cmol}^+/\text{kg}) = 10,39 * \ln(\text{org.C}) - 5,41.$$

Die Auswertung zur potenziellen Kationenaustauschkapazität greift auf die quantifizierten Angaben der Bodenartenschichtung der digitalen Bodenkarten zurück und berechnet schichtweise daraus zunächst mit volumenprozentualen Abschlägen für den Grobbodenanteil die mittleren Gehalte an Ton, Schluff und organischer Substanz und daraus die Kationenaustauschkapazität in cmol^+/kg . Die schichtspezifischen Werte werden bei einer einheitlichen Lagerungsdichte von $1,55 \text{ kg}/\text{dm}^3$ über eine Bezugstiefe aufsummiert. Daraus ergibt sich die Einheit mol^+/m^2 bezogen auf die gewählte Tiefe.

Die Bezugstiefe der Berechnung ist üblicherweise die effektive Durchwurzelungstiefe, aber auch andere Bezugstiefen sind auf Anfrage möglich. Die jeweils aktuelle Bezugstiefe wird als Kennwert „Tiefe“ immer mit angegeben.

Tabelle 1 Bewertung der nutzbaren Kationenaustauschkapazität im effektiven Wurzelraum

Farbe	Bewertung	Kationenaustauschkapazität
255 0 0	sehr gering	0 bis 40 mol ⁺ /m ²
255 117 0	gering	40 bis 80 mol ⁺ /m ²
255 204 0	mittel	80 bis 160 mol ⁺ /m ²
209 255 0	hoch	160 bis 320 mol ⁺ /m ²
128 255 0	sehr hoch	320 bis 640 mol ⁺ /m ²
56 168 0	extrem hoch	über 640 mol ⁺ /m ²
225 225 225	nicht bewertet	
	nicht kartiert	

Für die Farben werden zur Nachvollziehbarkeit auch die RGB-Farbwerne angegeben.

Anmerkung:

Anstelle von mol⁺ nach DIN findet sich gleichbedeutend auch: molc, mol(IÄ), mol(eq) oder val.

Wenn für einen Boden die potenzielle Kationenaustauschkapazität und der pH-Wert (in CaCl₂) vorliegen, dann kann durch Multiplikation der potenziellen Kationenaustauschkapazität mit den Faktoren aus Tabelle 2 die effektive Kationenaustauschkapazität grob abgeschätzt werden.

Tabelle 2 Faktoren zur Ableitung der effektiven Kationenaustauschkapazität aus der potenziellen Kationenaustauschkapazität in Abhängigkeit vom pH-Wert (in CaCl₂)

pH-Wert (in CaCl ₂)	>= 7,5	7,5 bis 6,5	6,5 bis 5,5	5,5 bis 4,5	4,5 bis 3,5	< 3,5
Faktor	1,0	0,8	0,6	0,4	0,25	0,15

Die Bezugstiefe der Berechnung

- ist üblicherweise die effektive Durchwurzelungstiefe, die die Tiefe des effektiven Wurzelraums angibt; sie ist nicht identisch mit der Mächtigkeit der durchwurzelbaren Schicht und nicht identisch mit der physiologischen oder im Gelände erfassbaren Durchwurzelung
- kann auf Anfrage verändert werden
- wird im Kennwert „Tiefe“ widergespiegelt.

Literatur

DIN ISO 13536 (1997) Bodenbeschaffenheit; Bestimmung der potentiellen Kationenaustauschkapazität und der austauschbaren Kationen unter Verwendung einer bei pH = 8,1 gepufferten Bariumchloridlösung. - Beuth, Berlin.

Zur Ergänzung dieser Informationen wird auf folgende Erläuterungen verwiesen:

=> (Bezugs-) Tiefe

Erläuterung verwandter Begriffe

Weil die potenzielle Kationenaustauschkapazität vor allem in älterer Literatur mit dem T-Wert gleichgesetzt wird, folgt hier eine kurze Erläuterung verwandter Begriffe:

- S-Wert = Menge der austauschbar gebundenen, basisch wirkenden Kationen (sorbierten Basen) Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , in mmol^+ je 100 g trockener Boden
- H-Wert = Menge der austauschbar gebundenen, versauernd wirkenden Kationen H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , in mmol^+ je 100 g trockener Boden
- T-Wert = Menge der austauschbar gebundenen, basisch und versauernd wirkenden Kationen in mmol^+ je 100 g trockener Boden
= Summe aus S-Wert und H-Wert: $\text{T-Wert} = \text{S-Wert} + \text{H-Wert}$
= Kationenaustauschkapazität
- V-Wert = prozentualer Anteil der austauschbaren basischen Kationen (S-Wert) an der Gesamtmenge der austauschbaren Kationen (T-Wert) in %
und damit quantitatives Maß für den Sättigungsgrad eines Bodens an basischen Kationen gegenüber der Gesamtmenge an Kationen.
= Basensättigung
= $\text{S-Wert} / \text{T-Wert} * 100 = \text{S-Wert} / (\text{S-Wert} + \text{H-Wert}) * 100$

Für die effektive Kationenaustauschkapazität sind folgende Begriffe definiert

- Ma = Summe der austauschbar gebundenen, versauernd wirkenden Kationen H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} in mmol^+ je kg trockener Boden
- Mb = Summe der austauschbar gebundenen, basisch wirkenden Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ in mmol^+ je kg trockener Boden
- KS = prozentualer Anteil der austauschbar gebundenen, versauernd wirkenden Kationen, Ma, an der gesamten effektiven Kationenaustauschkapazität
= $\text{Ma} * 100 / (\text{Ma} + \text{Mb})$
- KB = Basensättigung
= prozentualer Anteil der austauschbar gebundenen, basisch wirkenden Kationen, Mb, an der gesamten effektiven Kationenaustauschkapazität
= $\text{Mb} * 100 / (\text{Ma} + \text{Mb})$