

► Natur/Lebensräume

In welcher Form liegen die wichtigsten Pflanzennährstoffe im Boden vor?  
Wie funktioniert die Nährstoffaufnahme der Pflanze aus dem Boden?  
Wie lässt sich der Ionenaustausch experimentell darstellen?

*Neben Sonnenlicht, Wasser und Kohlendioxid benötigt die Pflanze zum Aufbau von organischem Material Nährstoffe, die sie aus dem Boden bezieht. Die wichtigsten dieser Pflanzennährstoffe sind Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Schwefel (S), Eisen (Fe), Zink (Zn), Mangan (Mn), Kupfer (Cu) u. a.*

In dieser Unterrichtseinheit beschäftigen sich die SchülerInnen mit der Nährstoffaufnahme bei Pflanzen und lernen die dabei wirksamen Mechanismen am Beispiel von zwei Experimenten kennen.



Abb. 1.: Baumwurzeln in Felsbraunerde, E. Lenhard

## Ort

Chemiesaal, Klassenraum

## Schulstufe

9. bis 13. Schulstufe

## Gruppengröße

Klassengröße

## Zeitdauer

2 Schulstunden

## Lernziele

- Über den Chemismus der wichtigsten Pflanzennährstoffe Bescheid wissen
- Die Bedeutung von Tonmineralien und Huminstoffen in Zusammenhang mit der Fruchtbarkeit eines Bodens erkennen
- Grundlegende chemische Abläufe beim Ionenaustausch verstehen

## Sachinformation

Der Boden bildet die Lebensgrundlage für Pflanzen und direkt oder indirekt auch für das Leben der Tiere und Menschen.

Unter Boden versteht der/die Bodenkundige (Pedologe/Pedologin) die obersten, zumeist stark belebten und porösen Dezimeter der Erdoberfläche, also jenen Bereich, in dem die Pflanzen wurzeln und der aus dem darunterliegenden Gestein durch Verwitterungsprozesse und durch die Tätigkeit von Bodenlebewesen entstanden ist.

Das Bodenmaterial liegt in Form von unterschiedlich großen Bodenteilchen vor. Diese Partikel sind entweder anorganischer Natur, wie etwa Gesteinsbruchstückchen und Mineralteilchen, oder sie sind organischen Ursprungs wie mehr oder weniger stark umgebaute und zersetzte Pflanzen- und Tierreste.

Nach ihrer Größe werden die anorganischen Bodenpartikel in die folgenden Korngrößen unterteilt: Sand, Schluff und Ton. Je kleiner ein Teilchen ist, desto mehr Moleküle und Ionen, also Nährstoffe der Pflanzen, können sich an ihm, im

Verhältnis zu seinem Durchmesser, anlagern. So kann 1 g durchschnittlicher Boden eine Oberfläche von bis zu 500 m<sup>2</sup> haben.

Die Bodenpartikel aggregieren zu größeren Einheiten, und zwar durch Koagulation von Tonmineralstoffen sowie durch Ausbildung von Ton-Humus-Oxid-Komplexen. Das dadurch entstehende Bodengefüge ist für den Pflanzenbau von höchstem Wert.

Die Art der Bodenpartikel und ihre relative Größenverteilung bestimmen die Größen und Formen des Porenvolumens und beeinflussen damit den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens.

Praktisch alle Bodenpartikel der mineralischen und organischen Bodensubstanz sind an ihren Oberflächen elektrisch geladen. Hochaktiv sind dabei winzige Bodenpartikel ( $\varnothing < 2 \mu\text{m}$ ), sie besitzen eine hohe spezifische Oberfläche. Sie werden auch als Bodenkolloide bezeichnet. Dazu zählen insbesondere Tonminerale und Huminstoffe, aber auch Oxide und Hydroxide im Boden. Bei Tonmineralen und Huminstoffen, die als wesentliche Ladungs-

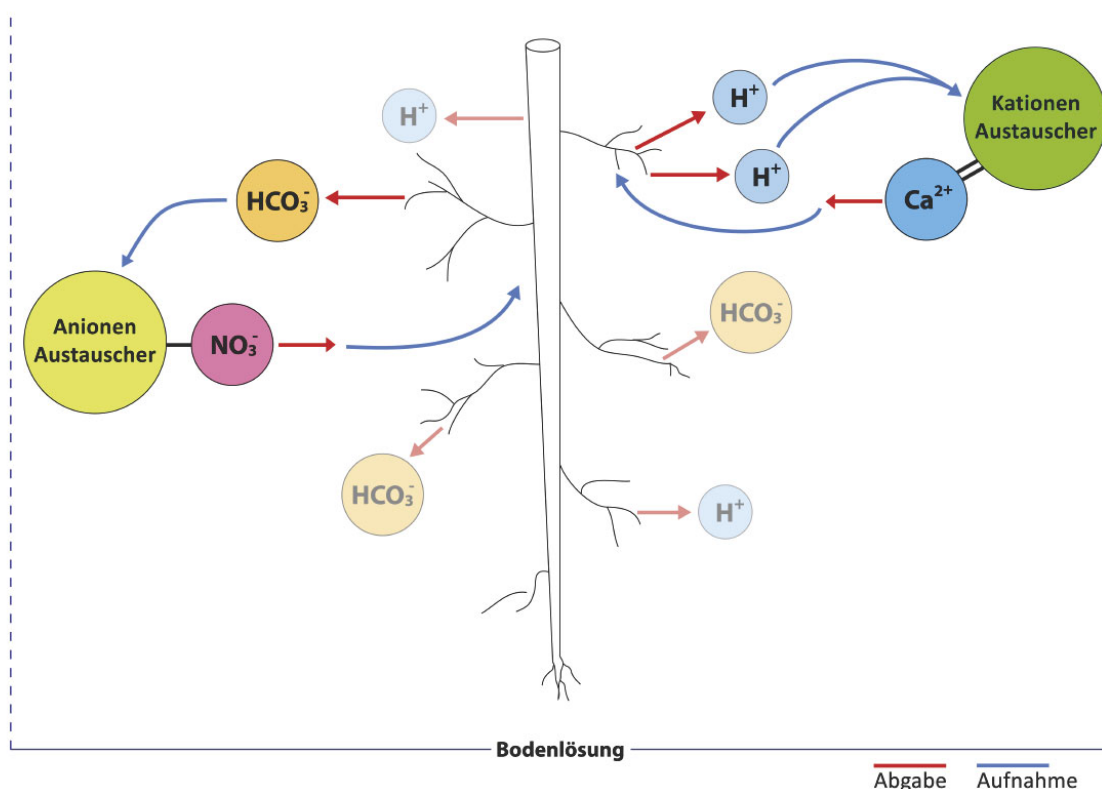


Abb. 2.: Ionenaustausch zwischen Pflanze und Boden, verändert nach [hypersoil.uni-muenster.de](http://hypersoil.uni-muenster.de)

träger und Ionenaustauscher gelten, überwiegen die negativen Ladungen.

Als Folge dieser elektrischen Ladungsverhältnisse können die Bodenpartikel an ihren Ober- und Grenzflächen Ionen (= elektrisch geladene Teilchen), z. T. auch Atome und Moleküle aus der Bodenlösung anlagern (= Adsorption) oder an diese abgeben (= Desorption). Die so an den Bodenpartikeln angelagerten Ionen können durch Ionen aus der Bodenlösung verdrängt und ausgetauscht werden. Entsprechend werden Bodenpartikel, die Ionen adsorbieren und austauschen können, als Austauscher bezeichnet.

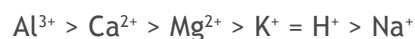
Wesentlich ist, dass der Ionenaustausch sich nur zwischen fester und flüssiger Phase vollzieht, d. h. als Interaktionsprozess zwischen Bodenmatrix (= Festsubstanz) und Bodenlösung. Dabei sind all jene Ionen austauschbar, die an den Austauschern angelagert oder in der Bodenlösung vorhanden sind.

Bodenpartikel mit negativer Oberflächenladung werden als Kationen-Austauscher, solche mit positiver Ladung als Anionen-Austauscher bezeichnet. In der Regel dominieren im Boden die Kationen-Austauscher.

Ionenaustausch-Reaktionen sind reversibel und erfolgen in äquivalenten Mengen, d. h. die an den Austauschern sorbierten Ionen können nur durch ladungsgleiche Ionen äquivalenter Wertigkeit aus der Bodenlösung freigesetzt und ausgetauscht werden.

Diese Funktion des Bodens als Ionenaustauscher ist eine grundlegende Voraussetzung für die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen. Sie erfolgt auf der Grundlage von Ionenaustausch-Prozessen zwischen Bodenpartikeln, Bodenlösung und Pflanzenwurzeln. Letztere scheiden im Wesentlichen  $H^+$ - und  $HCO_3^-$ -Ionen aus, die bei der Zellatmung ( $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$ ) entstehen, geben sie an die Bodenlösung ab und nehmen im Austausch dafür äquivalente Mengen von Kationen (zB  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  oder  $Na^+$ ) oder Anionen (zB  $NO_3^-$ ) aus der Bodenlösung auf. Diese wiederum interagieren mit den Austauschern (s. Abb. 2).

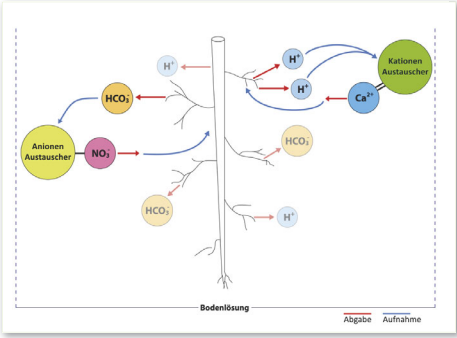
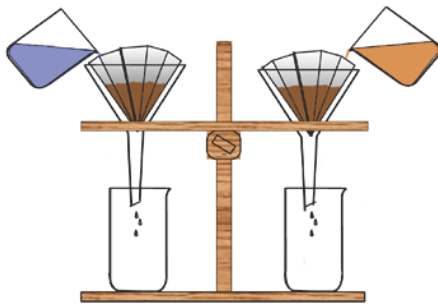
Die Gesamtheit der austauschbaren Kationen und Anionen im Boden wird als Kationen-Austauschkapazität (KAK) bzw. Anionen-Austauschkapazität (AAK) bezeichnet. Die Kationen sind an den Austauschern im Boden unterschiedlich verteilt. So werden Ca- und Mg-Ionen zB stärker von organischen als von anorganischen Austauschern adsorbiert. Außerdem werden höherwertige Kationen stärker adsorbiert als geringwertige, was Auswirkungen sowohl auf die Eintauschstärke als auch auf die Haftfestigkeit der Kationen hat.



Grundsätzlich dominieren in schwach sauren bis alkalischen Böden Ca-, Mg-, K- und Na-Ionen im Kationenbelag der Austauscher, während in sauren Mineralböden Al- und H-Ionen überwiegen.

## Didaktische Umsetzung

In dieser Unterrichtseinheit erfahren die SchülerInnen Wissenwertes rund um die Nährstoffaufnahme der Pflanzen und deren Wechselwirkung mit dem Boden. Durch einfache Versuche lässt sich die an sich komplizierte Materie bei entsprechend vorhandener chemischer, physikalischer und biologischer Wissensgrundlage bzw. Lernbegleitung gut und verständlich darstellen.

Inhalte	Methoden
<p>Hinführung zum Thema <span style="float: right;">20 Minuten</span></p>	
<p><i>Vorstellung der Thematik durch die Lehrperson.</i></p>  <p style="text-align: center;">Bodenlösung</p> <p style="text-align: right;">Abgabe Aufnahme</p>	<p><u>Material</u>            Beilage „Grafik - Ionenaustausch zwischen Pflanze und Boden“,            Beilage „Grafik - Ionenaustausch und Austauschkapazität“</p> <p>Unterstützt durch die Beilagen wird das Prinzip des Ionenaustausches zwischen Pflanzen und Boden den SchülerInnen erklärt.</p>
<p>Ladungen der Bodenteilchen <span style="float: right;">25 Minuten</span></p>	
<p><i>Durchführung eines Experiments zur Bestimmung der Ladungen von Bodenteilchen.</i></p>  <p style="text-align: center;">Grafik verändert nach <a href="http://www.schule-bw.de">www.schule-bw.de</a></p>	<p><u>Material</u>            lufttrockene und organismenfreie Bodenprobe, verdünnte Methylenblau- und Methylenorange-Lösung (gut durchsichtig), Stativ, 2 Trichterhalterungen, 2 Trichter, 2 Faltenfilter, 4 Bechergläser, destilliertes Wasser, Löffel, Laborwaage</p> <p>Jeweils 0,2 g Methylenblau- und Methylenorange werden in je 100 ml dest. Wasser gelöst. Die beiden Trichter jeweils mit einem Faltenfilter bestücken und mit je 2 g Bodenprobe befüllen. Jede der beiden Farblösungen wird jeweils langsam über eine Bodenprobe geträufelt. Der durchgesickerte Anteil wird in Bechergläsern gesammelt und mit der Ausgangsflüssigkeit verglichen.</p> <p><u>Ergebnis:</u>            Die farbgebenden Teilchen sind unterschiedlich geladen: Beim Methylenblau ist ein positives Ion (Kation) farbdeterminierend, beim Methylenorange ein negatives Ion (Anion). Die filtrierte Methylenblau-Lösung wird beinahe entfärbt, da die Kationen gegen andere Kationen an den Bodenpartikeln ausgetauscht und adsorbiert werden. Die filtrierte Methylenorange-Lösung behält ihre Farbe fast unverändert bei, da nur wenige Anionen ausgetauscht werden.</p>

Nachweis der Art der Ladung von Methylenblau und -orange		20 Minuten
<p><i>Das Ergebnis des vorigen Experiments soll durch einen weiteren Versuch untermauert werden. Dabei wird die Ladung der jeweiligen Farbstoffteilchen in einem elektrischen Feld direkt nachgewiesen.</i></p>  <p><i>Quelle: www.schule-bw.de</i></p>	<p><u>Material</u> Plexiglasträger mit runden Vertiefungen in der Mitte, Nিকেelektroden, Krokodilklemmen, Kabel, Netzgerät (Gleichspannung 20 V), Methylenblau und -orange (beide etwas angedickt mit Harnstoff), Spritzen, Kaliumnitratlösung als Elektrolyt.</p> <p>Die beiden Plexiglasträger werden zwischen Anode und Kathode befestigt. Nun wird der Elektrolyt über die gesamten Plexiglasträger verteilt. An der jeweiligen Vertiefung werden mittels einer Spritze die beiden Farblösungen dem Elektrolyt unterlagert (2-3 Tropfen genügen). Sollte die Diffusion der Farbstoffe nicht unmittelbar beginnen, wird Spannung angelegt.</p> <p><u>Ergebnis:</u> Die geladenen Farbstoffteilchen werden in Richtung der jeweils gegenpoligen Elektrode diffundieren: Rot zur Anode und Blau zur Kathode.</p>	20 Minuten
Nachbesprechung und Diskussion		20 Minuten
<p><i>Kurze Erörterung der Ergebnisse und Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse.</i></p>	<p><u>Material</u> keines</p> <p>Inhaltliche Schwerpunkte der Schlussdiskussion:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktion des Bodens als Ionenaustauscher</li> <li>• Bodenkolloid = Ionenaustauscher = Tonminerale und Huminstoffe</li> <li>• Warum überwiegt der Kationenaustausch im Boden?</li> </ul>	

## Beilagen

- ▶ Grafik - Ionenaustausch zwischen Pflanze und Boden
- ▶ Grafik - Ionenaustausch und Austauschkapazität

## Weiterführende Themen

- ▶ Boden und Fruchtbarkeit
- ▶ Faktor Bodenwasser
- ▶ Experimente zum Thema Boden
- ▶ Bodengefährdung

## Weiterführende Informationen

### Links

- Grundlegende Informationen zum Thema Boden unter <http://www.ubz-stmk.at/themen/index.php?cmid=231>
- Lehrerhandreichung zum Thema Boden als pdf erhältlich unter <http://www.ubz-stmk.at/downloads> > Boden
- weitere Downloads zum Thema Boden unter <http://www.ubz-stmk.at/downloads/?id=2>
- Bodenschutzberichte des Landes Steiermark als Downloads unter <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/2998692/DE/>

### Literatur

- Schroeder, D., Blum, W. E.: Bodenkunde in Stichworten. 5. revidierte und erweiterte Auflage aus der Reihe Hirt's Stichwortbücher. Borntraeger, 1992.



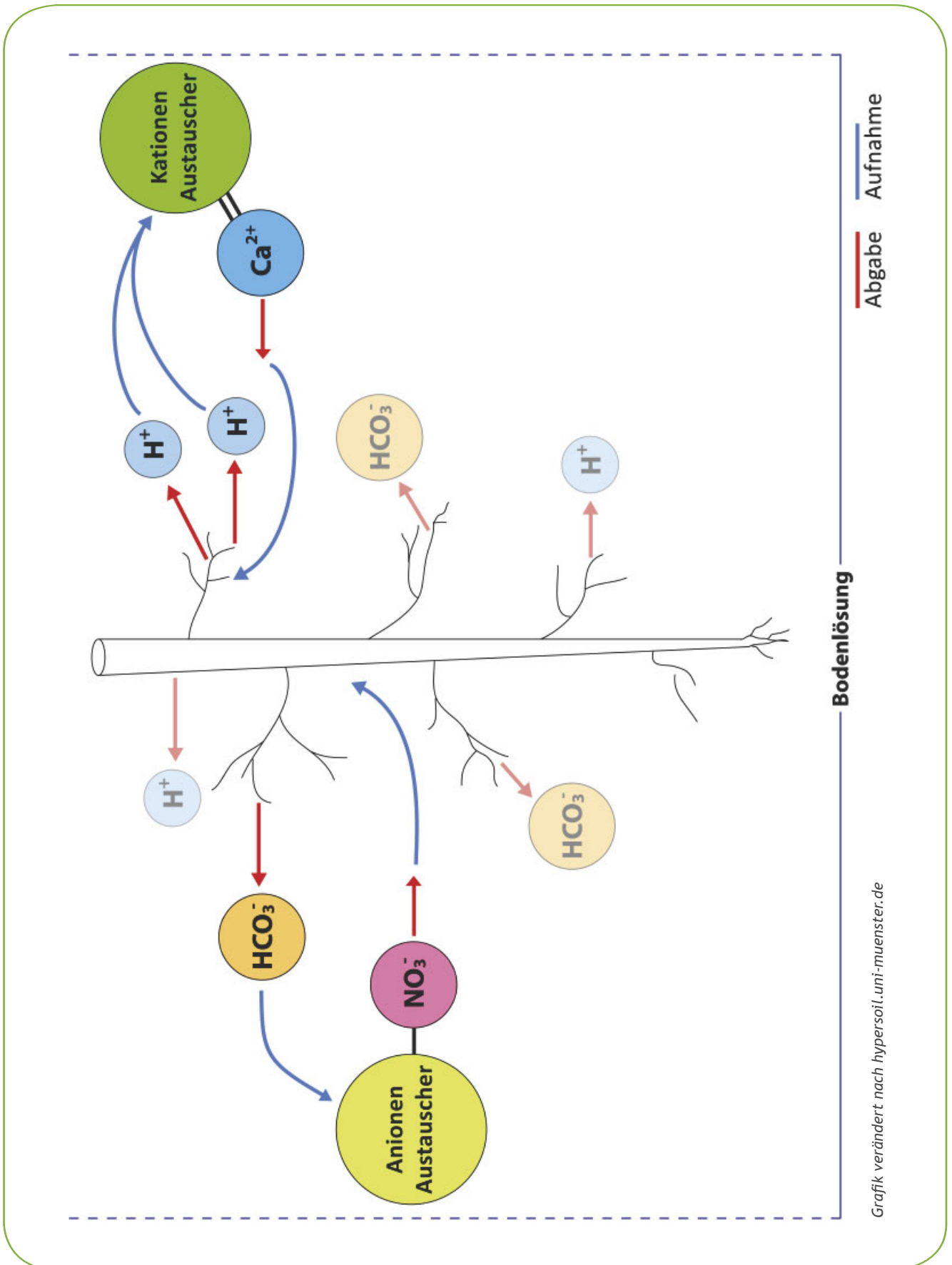
### Noch Fragen zum Thema?

Dr. Otmar Winder  
Projekte „NaturScouts“, „Boden“, „Lehrweg-Entwicklung“  
Telefon: 0043-(0)316-835404-4  
E-Mail: [otmar.winder@ubz-stmk.at](mailto:otmar.winder@ubz-stmk.at)

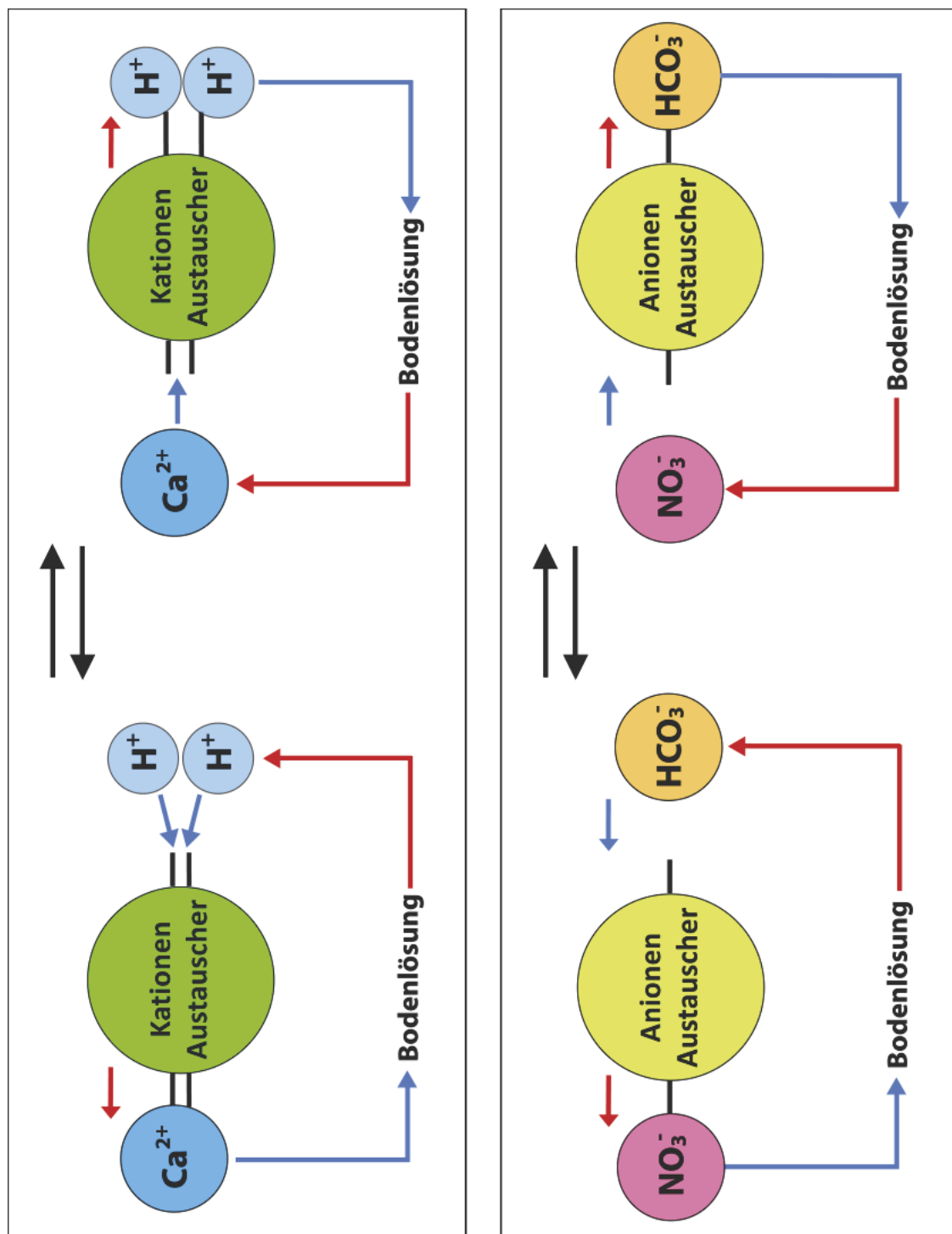


[www.ubz-stmk.at](http://www.ubz-stmk.at)

## Ionenaustausch zwischen Pflanze und Boden



# Ionenaustausch und Austauschkapazität



Grafik verändert nach [hypersoil.uni-muenster.de](http://hypersoil.uni-muenster.de)

Abgabe Aufnahme