



Tonminerale und Bodenfruchtbarkeit

Boden ist ein wertvolles und knappes Gut auf dem Planeten Erde. Es ist genauso knapp wie Wasser und in seiner Bedeutung nicht weniger entscheidend wie dieses wichtige Lebenselixier für unsere Existenz. Boden ist nicht beliebig vermehrbar. Das Hauptaugenmerk der Gärtner und Landwirte sollte daher dem Boden gelten und ihr Denken und Handeln auf die Gesundheit, Erhaltung und Mehrung der Fruchtbarkeit des Bodens abzielen.

Aus der nüchternen Sicht der Wissenschaft greift zur Beschreibung des Bodens die folgende Definition:

"Boden stellt das unter dem Einfluss zahlreicher Umweltfaktoren entstandene Umwandlungsprodukt aus mineralischen und organischen Substanzen dar, das mit Wasser und Lebewesen durchsetzt ist und höheren Pflanzen als Standort dient."
(Hofmeister & Garve 1986)

Zu den wesentlichen mineralischen Stoffen, die im Boden vorhanden sind, gehören die Tonminerale.

Ursprung von Tonmineralen

Tonminerale sind Lockergesteine, die meist im Tagebau gewonnen werden. Sie entstehen bei der Verwitterung und sind wesentlicher Bestandteil der Böden. Treten Tonminerale in größeren Mengen zusammenhängend auf, spricht man von Ton. Es gibt primäre und sekundäre Tonminerale. Primäre Tonminerale entstehen durch die physikalische Verwitterung, bei der Gesteinsteilchen zerkleinert werden. Bruchstücke unter $2\mu\text{m}$ ($0,002\text{ mm}$) Durchmesser gehören zur Tonfraktion. Es handelt sich um Gesteinsteilchen von Quarz, Feldspat, Glimmer und Calcit, die sehr klein sind und nicht die Eigenschaften sekundärer Tonminerale aufweisen.

Sekundäre Tonminerale sind mehr oder weniger gut kristallisierte OH-haltige Aluminiumsilikate. Sie bilden meist blättchenförmige Kristalle und gehören daher zu den Schichtsilikaten. Sekundäre Tonminerale verfügen über kolloidale Eigenschaften, das heißt, sie haben eine Teilchengröße unter $2\mu\text{m}$, verleihen tonigen Böden ihre Plastizität, ihre Quell- und Schrumpffähigkeit sowie ihr Vermögen, Ionen und Moleküle wie K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , SO_4 - und PO_4 -Ionen zu adsorbieren und desorbieren. Je nach Aufbau und Anzahl der Schichten gibt es Zweischicht-, Dreischicht- und Vierschicht-Tonminerale.

Unter die Zweischicht-Tonminerale fällt der Kaolinit, zu den Dreischicht-Tonmineralen gehören die Smekтите (zum Beispiel Montmorillonit), Vermiculite, Illite, und Glimmer, zu den Vierschicht-Tonmineralen der Chlorit. Zur Bodenverbesserung sind nur die sekundären Tonminerale von Interesse, vor allem die sorptionsstarken Dreischicht-Tonminerale.



Wertbestimmende Eigenschaften verschiedener Tonminerale

Tonmineral	Spezifische Oberfläche (m ² /g)	Kationenaustauschkapazität (meq/100g)	Quellvermögen	Zugängliche innere Oberfläche	Wasserhaltevermögen	Sorptionsvermögen
Kaolinit**	10-150	3-5	Nein	Nein	Befriedigend	Befriedigend
Illit***	50-200	20-50	Nein	Befriedigend	Befriedigend	Gut
Chlorit****	< 200	10-40	Nein	Befriedigend	Befriedigend	Gut
Smektit***	600-800	70-130	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut

Zweischicht-Tonmineral, *Dreischicht-Tonmineral, ****Vierschicht-Tonmineral

Ionenaustausch

Zwischen der Bodenmatrix und der Bodenlösung finden Austauschvorgänge statt. An den Oberflächen der Festsubstanz können Moleküle, organische Stoffe und Ionen in verschiedener Weise adsorbiert werden und in unterschiedlichem Maß auch wieder an die Bodenlösung abgegeben, also von der Festsubstanz desorbiert werden. Die wichtigste Art in den Böden ist der Ionentausch, bei dem geladene Bodenpartikel Ionen aus der Lösung durch elektrostatische Kräfte adsorbieren oder sie gegen andere eintauschen können. Dabei bezeichnet man negativ geladene Austauscher als Kationentauscher und positiv geladene als Anionentauscher. Die wichtigsten Tauscher sind Tonminerale und Huminstoffe.

Tonminerale sind aufgrund ihres inneren Baus immer negativ geladen, allerdings je nach Typ in unterschiedlichem Ausmaß. Diese negative Ladung bleibt unabhängig vom pH-Wert der Umgebungslösung erhalten. Man bezeichnet dies als permanente negative Ladung, Tone sind somit vorwiegend Kationentauscher.

Huminstoffe weisen generell sehr hohe Ladungen auf, die mit abnehmendem pH-Wert der Umgebungslösung abnimmt. Anders als die Tonminerale weisen Huminstoffe also eine variable Ladung auf und sind in durchschnittlichen Böden Kationentauscher; im stark sauren Milieu können sie aber durch Protonenanlagerung zu Anionentauschern werden.

Mit der Austauschkapazität (AK) wird die Summe der austauschbaren Ionen in Milliäquivalent /100 g Substanz ausgedrückt. Sie ist also ein Maß für die Anzahl der Ladungen am Bodentauscher. Unterschieden wird zwischen der Kationenaustauschkapazität (KAK) und der Anionenaustauschkapazität (AAK). Letztere ist bei uns aber unwichtig, da sich die pH-Verhältnisse unserer Böden zwischen 3 und 8 befinden, und somit aus den oben erwähnten Gründen die negativen Ladungen überwiegen. Unsere Böden sind vorwiegend Kationentauscher und können Anionen (z.B. Chlorid oder Nitrat) kaum festhalten!

Der Kationenaustausch beschreibt die lockere Bindung positiv geladener Nährstoffionen an den Bodenteilchen. Austauschbare Kationen sind nicht auswaschbar, jedoch pflanzenverfügbar, d.h. der Anlagerungsvorgang ist umkehrbar.



Bei den am Austausch beteiligten Kationen handelt es sich vorwiegend um Ca-, Mg-, K-, (Na-), Al- und H-Ionen; in geringen Mengen (und in spez. Situationen) NH₄-, Fe-Ionen, sowie in Spuren Schwermetallionen.

Die ausgetauschten Kationen an einem Tonmineral umgeben sich oft mit einer Wasserhülle, das Mineral wird dadurch aufgeweicht ("plastisch"), es kommt zu einer Quellung. Wird das Wasser wieder abgegeben, tritt eine Schrumpfung ein.

Bei den Tonmineralen wird zwischen der inneren und äußeren Oberfläche unterschieden, wobei die innere ein Vielfaches der äußeren sein kann. Die spezifische Oberfläche wird mit m²/g angegeben, dabei beträgt z.B. der Anteil der inneren Oberfläche im Fall des Montmorillonits über 90 %.

Entscheidend für den Ionenaustausch ist die Größe der zugänglichen Oberfläche.

Aufweitbare, quellfähige Tonminerale haben eine große spezifische Oberfläche, da nur sie zusätzlich eine innere Oberfläche besitzen. Die spezifische Oberfläche eines Bentonit/Montmorillonits ist daher bis zu 50 mal größer als bei einem nicht quellfähigen Kaolinit.

Bei Dreischichttonmineralen ist die Ionenaustauschkapazität besonders groß, da hier die Ionen überwiegend zwischen den Schichten eingelagert werden. Bei Zweischicht- und Vierschichttonmineralen werden sie dagegen nur an den Außenflächen angelagert. Daher haben Dreischichttonminerale neben den Huminstoffen die höchste Austauschkapazität.

Die Haftfestigkeit der Ionen am Tonmineral hängt im Wesentlichen ab von:

- **Ladungsgröße:** grundsätzlich werden höherwertige Kationen besser adsorbiert als niederwertige (Al⁺⁺⁺ > Ca⁺⁺ > Na⁺);
- **Ionengröße:** Bei gleichwertigen Kationen ist der Durchmesser der hydratisierten Ionen entscheidend. Je dünner die Hydrathülle, desto besser die Haftung (Ladungsabschirmung); (Mg⁺⁺ > Ca⁺⁺; Na⁺ > K⁺)
- **Austauschereigenschaften:** Tauscher mit hoher Ladungsdichte (meq/cm² Oberfläche) bevorzugen mehrwertige Kationen gegenüber einwertigen;
Kaolinit, Illit bevorzugen: Mg⁺⁺ und Ca⁺⁺
Montmorillonit bevorzugt: Na⁺, K⁺, NH₄⁺
- **Ionenkonzentration und Ionenverhältnisse** (Konkurrenz) in der Lösung



Daraus ergibt sich ohne Berücksichtigung von spezifischen Bindungen grundsätzlich die folgende Reihe abnehmender Haftfestigkeit:



Die Tonqualität zur Bodenverbesserung ist vor allem abhängig von der Art der Tonminerale. Aufweitbare Tonminerale sind wertvoller als starre Tonminerale. In der Tabelle sind die wertbestimmenden Eigenschaften der wichtigsten Tonminerale dargestellt. Von oben nach unten nimmt die Güte des Tonminerals zu. So haben Smektite (Bentonit/Montmorillonit) das größte Wasserhaltevermögen, die größte Quellfähigkeit und das größte Adsorptionsvermögen.

Ton-Humus-Komplex

Die quellfähigen Tonminerale können in ihren Zwischenschichten auch niedermolekulare organische Substanzen einlagern. Durch Seitenketten werden auf den Tonmineraloberflächen abgeschiedene größere organische Moleküle im Tonmineralgitter verankert. Es entsteht der wertvolle Ton-Humus-Komplex, eine kleine „Arbeitsstation“ die Enzyme, Vitamine und andere Wirkstoffe bildet. Außerdem kann sie angelagerte Nährstoffionen und Wassermoleküle an die Pflanzenwurzeln abgeben. Der Ton-Humus-Komplex hält also nicht nur die Nahrung und das Wasser für die Pflanzen bereit, sondern kann auch das Säure-Basen-Verhältnis in dieser Bodenschicht ausgleichen. Die Wurzeln können ungehindert wachsen.

Die in den Zwischenschichten gebundenen Huminstoffe werden nur wenig mineralisiert. Auf diese Weise wird ein stabiles, dauerhaftes Aggregatgefüge (Krümelstruktur) gebildet, Grundlage für die Dauerfruchtbarkeit des Bodens.

Damit einhergehend verbessert sich der Luft- und Wasserhaushalt und erhöht sich die Aktivität der Mikroorganismen. Die Pflanzen finden auf lockeren, garen Böden optimale Lebensbedingungen.

Eine stabile Bodenstruktur wirkt sich positiv auf einige Bodeneigenschaften aus. So vermindert sich die Erosions- und Verschlammungsneigung und mit letzterem einhergehend die Verkrustung der Bodenoberfläche. Probleme beim Feldaufgang - besonders auf zur Verschlammung neigenden Lehmböden - können über eine angepasste Humuswirtschaft gemildert werden.

Durch gezieltes Ausbringen geeigneter Tonminerale in Verbindung mit organischer Substanz kann ein wesentlicher Beitrag geleistet werden die Dauerfruchtbarkeit von Gärten und Felder nachhaltig zu sichern.

Alle Informationen in dieser Druckschrift entsprechen unseren derzeitigen Erfahrungen und Kenntnissen. Alle Angaben stellen Durchschnittswerte dar und gelten nur dann als zugesichert, wenn dies ausdrücklich schriftlich bestätigt wurde. Da wir auf Verarbeitung und Verwendung unserer Produkte keinen Einfluss haben, müssen wir jegliche Haftung unsererseits hierfür ausschließen. Der Verwender muss die Eignung zu der von ihm beabsichtigten Verarbeitung und Anwendung eigenverantwortlich selbst prüfen. Bestehende Schutzrechte, Gesetze und Bestimmungen sind zu beachten.

Januar 2018