



Die Wirkung von Tonmineralen in sandigen Böden

Prof. Dr. Walter R. Fischer

Die mineralischen Bestandteile von Böden mit Korndurchmessern unter 2 µm werden als Ton bezeichnet. Mineralogisch gesehen, kommen in dieser Kornfraktion neben wenig Quarz und Feldspäten meist Schichtsilicate vor. Die meisten Vertreter dieser Mineralgruppe, die man auch als die eigentlichen "Tonminerale" bezeichnet, bestehen aus blättchenförmigen Kristallen mit einer Kristallstruktur, bei der sich Aluminium-Sauerstoff-Oktaeder und Silicium-Sauerstoff-Tetraeder in bestimmter, regelmäßiger Folge abwechseln. Manche dieser Minerale sind im Boden neu entstanden, andere sind aus dem Gestein ererbt. Durch die Verhältnisse im Boden während der Mineralbildung wurde in einigen Tetraedern das vierwertige Silicium durch das dreiwertige Aluminium ersetzt; in einem Teil der Oktaeder finden sich entsprechend anstelle des Aluminiums zweiwertige Eisen oder Magnesium-Ionen. Durch diese "Kristallfehler" haben die Tonminerale eine negative Ladung, so daß sie imstande sind, Nährstoff-Kationen wie Kalium, Ammonium, Calcium und Magnesium zu binden. Die Besonderheit dieser Bindung liegt darin, daß die festgehaltenen Nährstoffe zwar weitgehend gegen Auswaschung geschützt sind, von den Pflanzen aber meist trotzdem aufgenommen werden können. Neben dem Humus gehören daher die Tonminerale zu den ökologisch wichtigsten Stoffgruppen in einem Boden.

Eine weitere wichtige Eigenschaft der Tonminerale ist ihre Fähigkeit, als "Kittsubstanz" zu wirken und größere Teilchen (Sand und Schluff) zu Aggregaten zu verbinden. Die Folge ist, daß die Wasserhaltefähigkeit eines Sandbodens deutlich zunimmt, so daß die Pflanzen über längere Zeit vom gespeicherten Regenwasser leben können. Zuviel Ton in einem Boden ist allerdings auch nicht günstig für ein intensives Pflanzenwachstum, da daran der Boden zu dicht wird und eine zu geringe Wasser- und Luftleitfähigkeit sowie zuviel nicht pflanzenverfügbares "Totwasser" hat.

Ausgehend von einem Sandboden bedeutet nach dem oben Gesagten ein höherer Gehalt an Ton auch verbesserte ökologische Standortqualitäten. Neben einer verbesserten Aggregatbildung wird vor allem der Haushalt der kationischen Nährstoffe (z.B. K, Mg, Ca) entscheidend positiv beeinflusst.

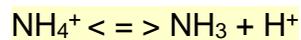
Das gilt aber auch für den Stickstoff, der im Boden überwiegend in drei unterschiedlichen Formen vorkommt: Die Hauptmenge liegt, wenigstens im Oberboden, in Form organischer Verbindungen des Humus vor. In dieser Form ist der Stickstoff nicht von den Pflanzen aufnehmbar, sondern muß erst in die anorganischen ("mineralischen") Formen Nitrat oder Ammonium überführt werden. Die entsprechenden Reaktionen (Nitrifizierung, Ammonifizierung bzw. Mineralisierung) werden weitgehend oder vollständig durch Mikroorganismen ausgeführt und sind daher besonders von den ökologischen Verhältnissen im Boden abhängig.

In Abbildung 1 (siehe Seite 3) sind die wichtigsten Reaktionen des Stickstoffs im Boden dargestellt. Die Abbildung zeigt, in welcher Weise sich dabei die Oxidationsstufe Wertigkeit des Stickstoffs ändert. Eine Erhöhung der Oxidationsstufe, z.B. die Bildung von Nitrat aus anderen N-Formen (Nitrifizierung), setzt meist die Anwesenheit von Sauerstoff voraus, so daß dieser Prozeß nur in gut durchlüfteten Böden in größerem Ausmaß ablaufen kann. In diese Oxidations- und Reduktions-Kreisläufe können die Tonminerale des Bodens sowohl direkt als auch indirekt eingreifen:

Ein indirekter Einfluß beruht auf einer Änderung des Luft- und Wasserhaushaltes durch steigende Tonanteile im Boden und die damit verbundene Gefügeveränderung. Ein erhöhter Tongehalt bedeutet in den meisten Fällen einen auf Kosten der Grobporen wachsenden Feinporenanteil. Dies wiederum verringert die Wasser- und Luftleitfähigkeit und erhöht den Totwasseranteil. Als Folge davon werden Prozesse, für die ein hoher Sauerstoffanteil in der Porenluft notwendig ist (z.B. Nitrifikation) verzögert oder unterbunden, während Prozesse wie die Denitrifikation, die unter Sauerstoffmangel begünstigt sind, entsprechend gefördert werden.



Die direkte Wirkung von Tonmineralen auf den Stickstoffkreislauf beeinflusst die Umsetzungen des Ammoniums, (das als Kation in bestimmten Tonmineralen austauschbar gebunden oder auch fixiert werden kann. Um diese Wirkung zu verstehen, muß man sich die Reaktionen vor Augen führen, denen das Ammonium im Boden unterliegen kann: Ammonium wird durch Mineralisierung ("Ammonifizierung") aus der abgestorbenen Biomasse (Streu) und aus dem Humus freigesetzt oder über Düngung zugeführt. Im Porenwasser des Bodens stellt sich dann zunächst ein rein chemisches Gleichgewicht ein:



Bei tiefem Boden-pH liegt dieses Gleichgewicht weitgehend auf der linken Seite, begünstigt also das nicht flüchtige Ammonium. Bei höherem pH, auch schon in neutralen Böden, verschiebt sich das Gleichgewicht dagegen deutlich nach rechts, wodurch in zunehmendem Maße das gasförmige Ammoniak entsteht. Dieses kann aus dem Boden entweichen; die entsprechenden Stickstoffverluste können ein bedeutendes Ausmaß annehmen. Die dadurch verringerte Ausnützung von Stickstoffdüngern (auch z.B. von Gülle) wurde in der letzten Zeit oft diskutiert.

Da Ammoniumsalze löslich sind, kann das in Sandböden gebildete Ammonium in gelöster Form mit dem Sickerwasser im Boden verlagert und auch ausgewaschen werden. Dies verringert wiederum nicht nur die Ausnützung des Düngerstickstoffs, sondern belastet vor allem das Grundwasser und damit die Umwelt.

Erheblich verstärkt wird die Auswaschungsfahr dadurch, daß in gut durchlüfteten Böden aus dem freien Ammonium durch Nitrifikation Nitrat entsteht, für das es im Boden kaum Bindungsstellen gibt. Die mit einer Nitratanreicherung im Grundwasser verbundenen Probleme sind allseits bekannt.

In diese Prozesse können Tonminerale eingreifen, indem sie Ammonium binden und somit die Konzentration der Ammonium-Ionen in der Bodenlösung erniedrigen. Die Geschwindigkeit aller oben genannten Prozesse hängt entscheidend von der Konzentration des Ammoniums in der Bodenlösung ab, so daß bei einer Konzentrationsverminderung die Reaktionen langsamer ablaufen. Entsprechend weniger Nitrat kann gebildet und verlagert werden, und entsprechend mehr Ammonium-Stickstoff steht den Pflanzen während der Vegetationsperiode zur Verfügung.

Dieser Effekt macht sich noch deutlicher bemerkbar, wenn die Tonminerale die Fähigkeit zur Kationen-Fixierung haben. Solche Minerale kämen vor allem Kalium, aber auch Ammonium sehr fest (nicht austauschbar) binden. Wie Untersuchungen gezeigt haben, ist dieses fixierte Ammonium jedoch nicht endgültig festgelegt und aus dem Nährstoffkreislauf entfernt, sondern kann sehr langsam wieder für die Pflanzen verfügbar werden und in den Biokreislauf zurückkehren.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß, immer ausgehend von einem tonarmen Sandboden, eine Erhöhung des Tonmineral-Anteils folgende Einflüsse auf die Nährstoffumsetzungen ausübt:

1. Speicherung von kationischen Nährstoffen in pflanzenverfügbarer Form;
2. Verbesserung der Wasserhaltefähigkeit, dadurch Optimierung der Nährstoffumsetzungen; bei höheren Tongehalten u.U. auch Verminderung der Nitrifikation und damit der Nitratenauswaschung;
3. Verlangsamung der Nitrifikation auch durch zwischenzeitliche Festlegung des Ammoniums.

Ein weiterer Vorteil höherer Tongehalte, das verstärkte Säurepuffervermögen, spielt bei landwirtschaftlich genutzten Böden in der Regel keine Rolle, da der pH-Wert meist durch entsprechende Kalkung auf einem optimalen Niveau gehalten wird.

Die oben genannten Vorteile einer begrenzten Erhöhung der Tongehalte setzen voraus, daß die zugeführten Tonminerale eine hohe Kationenaustauschkapazität haben und auch die Aggregation des Bodens entsprechend fördern können. Dies trifft für Smectite zu, deren wichtigster Vertreter, Montmorillonit, Hauptbestandteil der Bentonite ist. Kaolinit, der in vielen tropischen Böden vorkommt, ist hierfür weniger geeignet, da er kaum die Fähigkeit zur Kationenbindung besitzt und auch die Aggregation nur in geringem Ausmaß fördern kann.

Verfasser:
 Prof. Dr. Walter R. Fischer
 Universität Stuttgart, Hohenheim
 Institut Nr. 310 –Bodenkunde-
 Postfach 70 05 62 ,70619 Stuttgart

Abbildung 1

Schematische Darstellung der Stickstoffformen und -umsetzungen im Boden. Im Diagramm wird die jeweilige Oxidationsstufe des Stickstoffs in den Verbindungen durch die Höhe dargestellt, so daß ein Reaktionsweg von oben nach unten einer Reduktion, ein Weg von unten nach oben einer Oxidation entspricht.

