



Der pH-Wert in torffreien und torf reduzierten Kultursubstraten

Die pH-Pufferung

Grundsätzliche Hintergrundinformationen zum pH-Wert finden Sie in der Fachinformation: [Alles über den pH-Wert](#).

Was bedeutet pH-Pufferung?

Bei der Regulierung des pH-Wertes spielt die pH-Pufferung eine entscheidende Rolle. Dabei handelt es sich um Mechanismen, welche einem Anstieg oder Abfall des pH-Wertes entgegenwirken. Hat ein Substrat ein hohes Puffervermögen, so ist es weniger anfällig für pH-Schwankungen durch äußere Einflüsse wie beispielsweise der Karbonathärte des Gießwassers. Folglich lässt sich der pH-Wert in gut gepufferten Substraten aber auch nur schwer durch gezielte Maßnahmen nach oben oder unten regulieren.

In Kultursubstraten spielen **zwei Puffersysteme** eine wichtige Rolle: Das erste Puffersystem ist der **Karbonatpuffer**, der in der Regel in Form von kohlensaurem Kalk appliziert wird. Das zweite Puffersystem ist der **Austauscherpuffer**, dessen Wirkung auf den negativen Oberflächenladungen von Tonmineralen und Huminstoffen basiert. Im Folgenden soll auf die chemischen bzw. chemisch-physikalischen Hintergründe der beiden Puffersysteme eingegangen werden.

Der Karbonatpuffer

Karbonate können nur gegen ein Absinken des pH-Wertes puffern. Welcher pH-Wert sich nach einer Kalkung mit kohlensaurem Kalk einstellt, hängt außer von der verabreichten Menge maßgeblich von der Reaktivität des verwendeten Kalkes ab. Dabei sind kohlensäure Kalke umso reaktiver je höher der Anteil an Calciumcarbonat $[Ca(CO_3)_2]$ im Verhältnis zu Magnesiumcarbonat $[Mg(CO_3)_2]$ ist und je feiner der Kalk ist. Die Stärke der Pufferung ergibt sich dann aus dem Karbonatrest, der nicht sofort reagiert hat. Wird einem Substrat die gleiche Menge eines sehr groben Kalkes mit hohem Magnesiumkarbonat-Anteil bzw. eines sehr feinen Kalkes mit hohem Calciumkarbonat-Anteil zugemischt, stellt sich bei letzterem folglich ein höherer pH-Wert ein. Gleichzeitig wird dieser pH-Wert bei der Verwendung eines weichen Gießwassers und/oder einer ammoniumbasierten Düngung aber schneller absinken als beim groben Kalk mit einem hohen Anteil Magnesiumkarbonat.

Die Wirkung einer Grobkalkgabe zusätzlich zur normalen Kalkung ist in Abbildung 1 dargestellt: Die Einmischung von Grobkalk kann einem pH-Abfall unter versauernden Kulturbedingungen – wie einer ammoniumbetonten Düngung und der Verwendung eines weichen Gießwassers ohne Karbonathärte (AD/WW) – solange entgegenwirken (grüne Linien) bis der Karbonatpuffer aufgebraucht ist (ca. Kulturwoche 16 in Abbildung 1). In der Folge sinkt der pH-Wert dann recht schnell auf das gleiche Niveau wie beim Substrat ohne Grobkalk ab. Umgekehrt wird der pH-Wert durch die Einmischung von Grobkalk bei zusätzlich alkalisierenden Kulturbedingungen – wie einer nitratbetonten Düngung und der Verwendung eines karbonatharten (16 ° KH) Gießwassers (ND/HW) – im Vergleich zum Substrat ohne Grobkalk aber nicht erhöht (blaue Linien).

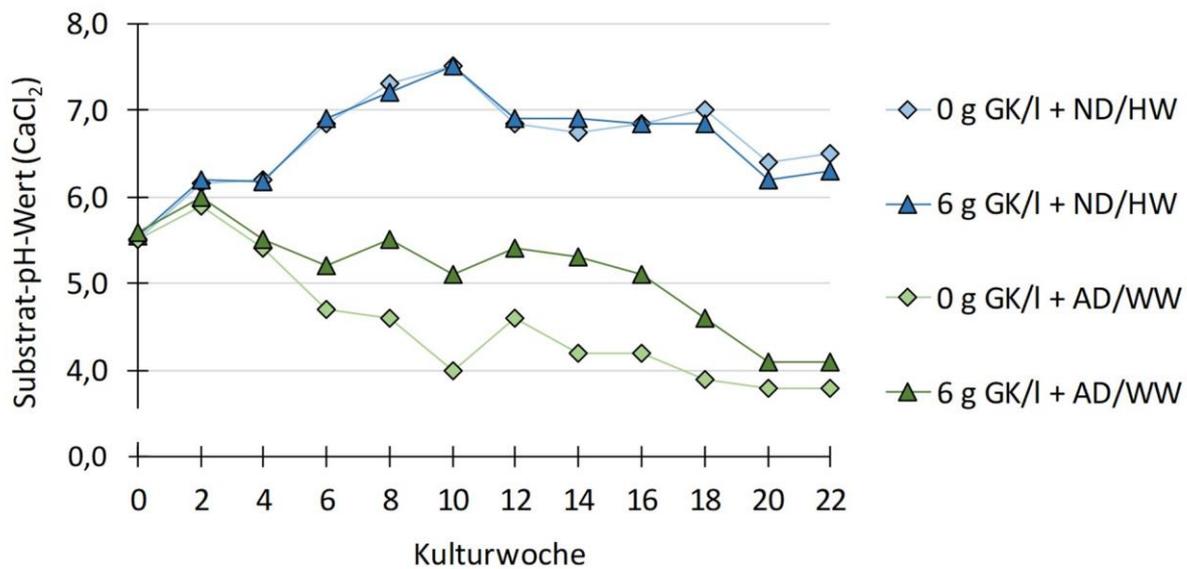


Abbildung 1: Einfluss einer zusätzlichen Grobkalk(GK)-Gabe von 6 g/l Substrat auf den pH-Verlauf über 22 Kulturwochen bei ammoniumbetonter Nachdüngung und Verwendung eines Gießwassers ohne Karbonathärte (AD/WW) bzw. bei nitratbetonter Nachdüngung und Verwendung eines karbonatharten Gießwassers (ND/HW)

Unabhängig von der Art des verwendeten kohlensauren Kalkes läuft im Substrat immer die gleiche chemische Reaktion ab. Die Karbonat-Anionen $[\text{CO}_3^{2-}]$ reagieren mit versauernd wirkenden H^+ -Ionen im ersten Schritt zu Hydrogencarbonat-Anionen $[\text{HCO}_3^-]$ und im zweiten Schritt zu Kohlensäure $[\text{H}_2\text{CO}_3]$. Die Kohlensäure zerfällt in Wasser $[\text{H}_2\text{O}]$ und Kohlendioxid $[\text{CO}_2]$, das gasförmig entweicht. Die im Kalk enthaltenen Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen reagieren parallel mit dem Anion (negativ geladenes Teilchen), das den neutralisierten H^+ -Ionen äquivalent ist. Handelt es sich dabei um Sulfat (wie es bei der Absäuerung von Substraten mit elementarem Schwefel entsteht), bildet sich Gips $[\text{CaSO}_4]$, der keine Wirkung auf den pH-Wert hat. Sobald alle Karbonat-Anionen in dieser Form abreagiert haben, ist der Karbonatpuffer aufgebraucht und der pH-Wert sinkt unter versauernden Bedingungen in der Folge sehr stark ab.

Der Pufferbereich des Karbonat- (bzw. Hydrogencarbonat-) puffers liegt zwischen pH 4,5 und 8.

Der Austauscherpuffer

Das zweite pH-Puffersystem entsteht durch **permanente und variable Überschussladungen** an der **Oberfläche anorganischer und organischer Substratbestandteile**. Diese sogenannten Austauscher können den pH-Wert sowohl nach oben als auch nach unten ausgleichen. In Hinblick auf die pH-Pufferung durch **permanente negative Oberflächenladungen** spielen **Tonminerale** eine wichtige Rolle. Die Summe der negativen Ladungen bestimmt die Kationenaustauschkapazität (KAK). Durch elektrostatische Kräfte werden positiv geladene Teilchen, also Kationen, an der negativ geladenen Oberfläche der Tonminerale reversibel angelagert. Dieser als Sorption bezeichnete Vorgang bewirkt, dass gelöste Nährstoffe und Ballastsalze (vor allem Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+) vorübergehend gespeichert werden. Steigt die Konzentration an gelösten H^+ -Ionen im Substrat an, werden die Austauscherplätze zunehmend mit diesen H^+ -Ionen belegt, wodurch der pH-Wert-Abfall gebremst wird (Abbildung 2). Umgekehrt werden bei sinkender Konzentration an gelösten H^+ -Ionen im Substrat verstärkt zuvor sorbierte H^+ -Ionen wieder desorbiert und damit der pH-Anstieg abgeschwächt.

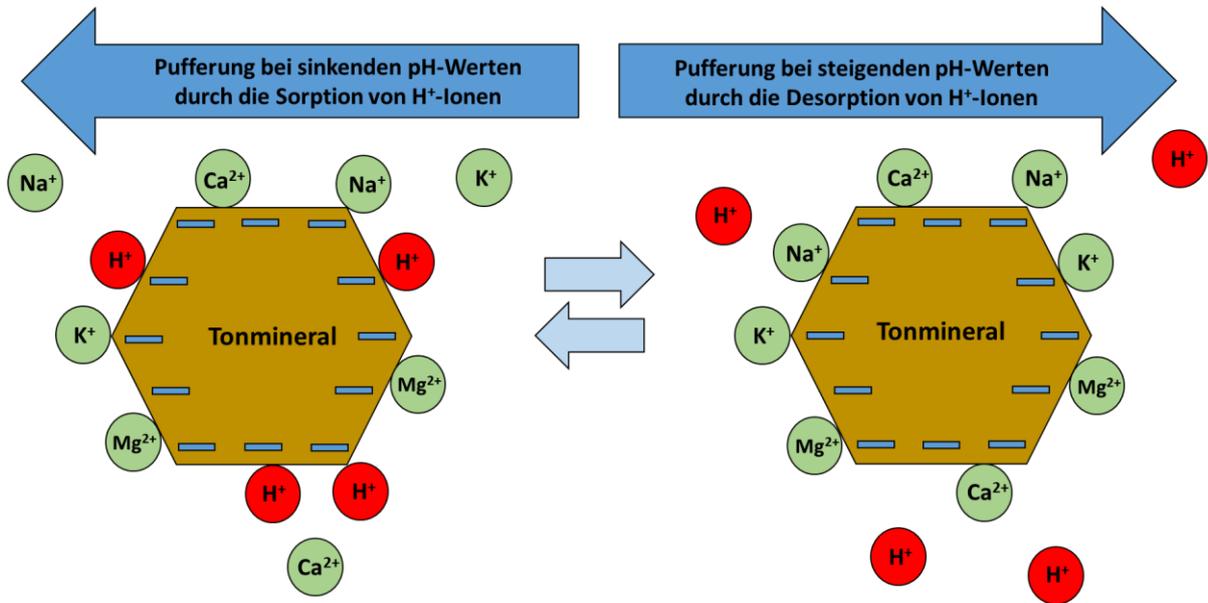


Abbildung 2: Pufferung des pH-Wertes durch permanente negative Oberflächenladungen

Eine ähnliche Wirkung wie durch die permanenten negativen Ladungen ergibt sich durch variable, das bedeutet vom pH-Wert abhängige Ladungen. Eine wichtige Rolle spielen **variable Ladungen** bei **Huminstoffen** und werden dort hauptsächlich von Carboxy[COOH]-, phenolischen Hydroxy[OH]- und Amino[NH₂]-Gruppen gebildet. Bei sinkender Konzentration an gelösten H⁺-Ionen im Substrat geben diese funktionellen Gruppen H⁺-Ionen ab (Deprotonierung) und nehmen sie bei steigender Konzentration an gelösten H⁺-Ionen im Substrat wieder auf (Protonierung). Dadurch kann ein Anstieg bzw. Abfall des pH-Wertes gebremst werden. Abbildung 3 zeigt die pH-Pufferung durch variable negative Ladungen beispielhaft für eine Carboxy-Gruppe. Der pH-Bereich, in dem die Protonierung bzw. Deprotonierung erfolgt, ist bei den verschiedenen funktionellen Gruppen unterschiedlich. Während die Reaktion bei Carboxygruppen im stark bzw. schwach sauren Bereich abläuft, reagieren die phenolischen Hydroxy-Gruppen erst im neutralen bis leicht alkalischen Bereich.

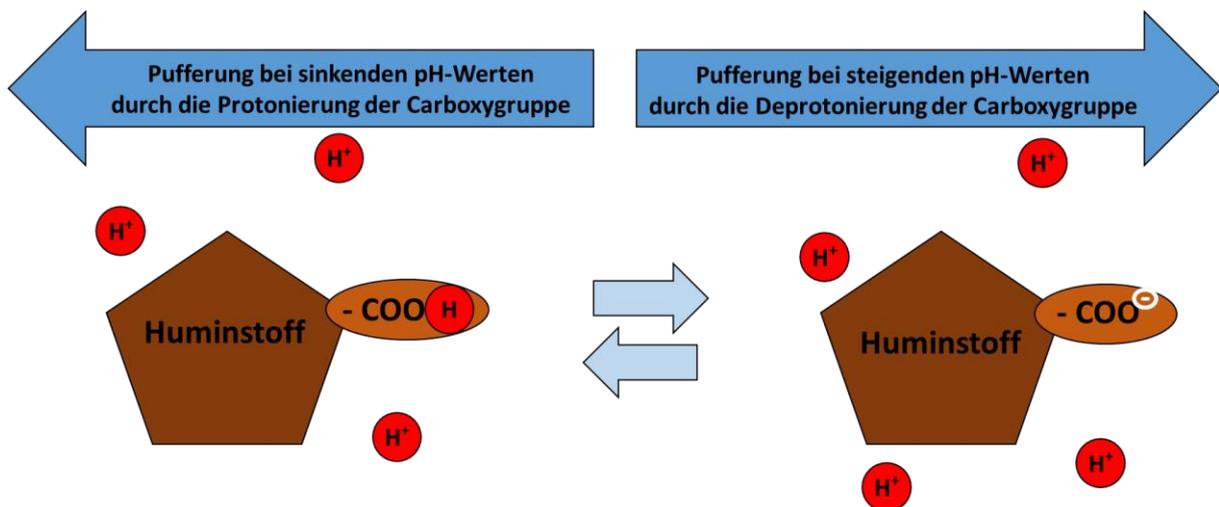


Abbildung 3: Pufferung des pH-Wertes durch die variable Ladung einer Carboxygruppe



Die Pufferung durch permanente bzw. variable Ladungen reicht von etwa pH 3 bis 7 und liegt damit leicht unterhalb des Karbonatpuffers.

Neben der Kationenaustauschkapazität (KAK) kann auch die Anionenaustauschkapazität (AAK), die durch positive Überschussladungen an der Oberfläche von Substratbestandteilen entsteht, den pH-Wert puffern. Allerdings ist die AAK bei den derzeit verwendeten Substratausgangsstoffen sehr viel kleiner als die KAK (sie entsteht z. B. bei Huminsäuren bei sehr tiefen pH-Werten), weswegen die AAK für die pH-Pufferung keine praktische Bedeutung hat.

Weitere Puffersysteme

Es gibt noch eine Reihe weiterer Puffersysteme (z. B. Phosphatpuffer, Pufferung durch Oxide und Hydroxide, Silikatpuffer). Diese haben aber keine praktische Bedeutung für die pH-Regulation in Kultursubstraten, da entweder deren Konzentration zu gering ist oder die Pufferbereiche unterhalb der bei gärtnerischen Kulturen relevanten pH-Bereiche liegen.

Wie Sie den pH-Wert in Ihren Kulturen eigenständig überwachen können, erfahren Sie in der Fachinformation [pH-Messung mittels pH-Elektrode](#).

Weiterführende Literatur:

Scheffer/ Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde; *BLUME, H.-P. et al.*

Wörterbuch der Bodenkunde; *ERHARD, G., ZECH, W.*

Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungsmethoden; *ROWELL, D.L.*

Bodenkunde; *KUNTZE et al.*

Bodenkunde in Stichworten; *SCHROEDER, D.*