

# Bodenversauerung im Gebirge - Ursachen und Konsequenzen für die Almbewirtschaftung

A. BOHNER

## Einleitung

Eine Bodenversauerung führt im Gebirge zu einer deutlichen Veränderung der Stoffzusammensetzung im Boden. Sie hat weitreichende Konsequenzen für den Pflanzenbestand (BOHNER, 1998). Der Erfolg einer Almbewirtschaftung wird wesentlich vom Standort beeinflusst. Neben der Wärme ist vor allem das Stoffangebot im Boden ein wesentlicher Standortsfaktor.

## Ursachen und pedologische Konsequenzen einer Bodenversauerung

Säuren werden im Boden laufend produziert. Beim Abbau der Bestandesabfälle werden vor allem Kohlensäure, Salpetersäure, Schwefelsäure und organische Säuren gebildet. Mit dem Niederschlag werden den Gebirgsböden Säuren (insbesondere Schwefel- und Salpetersäure) zugeführt. Der Boden puffert die intern produzierten und von außen eingetragenen Säuren ab. Ein wesentlicher Puffermechanismus ist die Mineralverwitterung. Dadurch werden Protonen konsumiert, und Nähr- und Schadelemente freigesetzt. Ein weiterer wichtiger Puffermechanismus ist der Austausch basischer Kationen (Austauscherpuffer im Sinne von ULRICH, 1981; Pufferung an variabler Ladung im Sinne von SCHWERTMANN et al., 1987). Carbonatfreie, humusreiche Gebirgsböden puffern Säuren vor allem durch Ca-Desorption und Protonenbindung (BOHNER, 1998). Im Al-Pufferbereich (pH 4.2 - 3.2) werden Protonen durch Auflösung von anorganischen Al-Verbindungen verbraucht (z.B.  $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ \Rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ ). Durch Protolyse wird komplexiertes Al von der organischen Boden-Festphase freigesetzt ( $\text{R-Al} + 3\text{H}^+ \Rightarrow \text{R-H}_3 + \text{Al}^{3+}$ ). Auf Grund dieser Pufferreaktionen wird potentiell phytotoxisches Al mobilisiert. Al-Ionen und Proteine werden im Sorptionskomplex selektiv vor allem auf Kosten von  $\text{Ca}^{2+}$  ge-

bunden. Aus diesen Gründen sinkt im Boden mit zunehmender Bodenversauerung die Ca-Sättigung (Abbildung 1), während die Al-Sättigung steigt (Abbildung 2). Wegen der starken Ca-Desorption nimmt mit sinkendem pH-Wert auch die Alkali-Sättigung leicht zu (Abbildung 3). Der statistische Zusammenhang ist bei der Alkali-Sättigung deswegen nicht besonders hoch, weil die Alkali-Sättigung außer vom pH-Wert auch noch von einer Vielzahl anderer Faktoren abhängt (z. B. Muttergestein, Flugstaub, sea-spray, K-Fixierung). Mg wird in carbonatfreien, humusreichen Gebirgsböden vermutlich erst bei sehr niedriger Ca-Sättigung durch Säurepufferung und Al-Ionenkonkurrenz mobilisiert; daher besteht zwischen dem pH-Wert und der Mg-Sättigung fast kein Zusammenhang (Abbildung 4). Dieser Prozeß - Abnahme der Ca-Sättigung, Anstieg der Alkali-Sättigung - wird von SOLAR (1972)

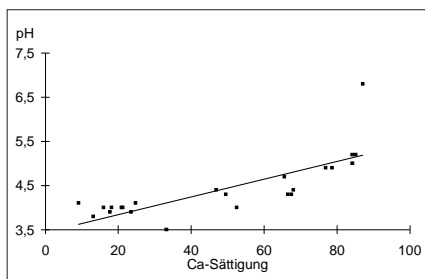


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen dem pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) und der Ca-Sättigung ( $\text{Ca} \% \sum \text{Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn}$  ( $\text{BaCl}_2$ -Auszug),  $r^2 = 0.63$ ;  $n = 24$ )

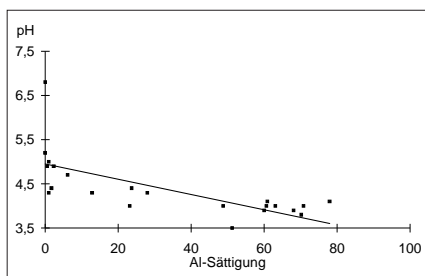


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen dem pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) und der Al-Sättigung ( $\text{Al} \% \sum \text{Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn}$  ( $\text{BaCl}_2$ -Auszug),  $r^2 = 0.52$ ;  $n = 24$ )

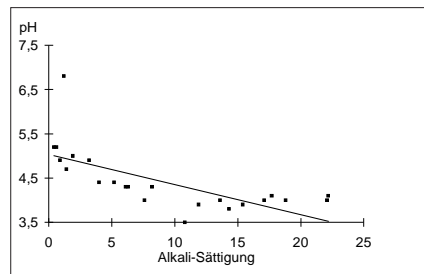


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen dem pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) und der Alkali-Sättigung ( $\text{K+Na} \% \sum \text{Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn}$  ( $\text{BaCl}_2$ -Auszug),  $r^2 = 0.39$ ;  $n = 24$ )

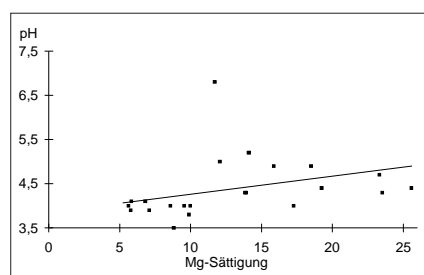


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen dem pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) und der Mg-Sättigung ( $\text{Mg} \% \sum \text{Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn}$  ( $\text{BaCl}_2$ -Auszug),  $r^2 = 0.12$ ;  $n = 24$ )

“alpine Solodierung” genannt. F. Solar (mündlich) begründet das Solodierungsproblem vor allem mit der hohen Zersetzungstabilität der Alkali-Silikate im sauren Bereich, und mit dem Übermaß an Alkali-Silikaten in den Flugstäuben. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß die Gebirgsböden mit dem Niederschlag sehr viel Na erhalten; mit dem Jahresniederschlag können im Gebirge die Na-Entzüge von 2-4 Ernten gedeckt werden (BOHNER, 1998).

Eine alpine Solodierung ist aus bodenkundlicher Sicht nicht wünschenswert. Alkali-Ionen wirken peptisierend auf die Bodenkolloide, wobei die Peptisationswirkung mit sinkender Salzkonzentration in der Bodenlösung steigt (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL et al., 1989). Die Bodenlösung der carbonatfreien Gebirgsböden weist in der Regel eine relativ geringe Ionenstärke und elektrische Leitfähigkeit auf (BOHNER, 1998).

Autor: Mag. Andreas BOHNER, Beintenberg 95, Neu-Feffernitz, A-9710 FEISTRITZ AN DER DRAU

Stark solodierte Gebirgsböden haben daher im Oberboden infolge Peptisation der Bodenkolloide und nachfolgender Sackungsverdichtung häufig ein ungünstiges Plattengefüge (alpiner Gefügekollaps im Sinne von Kubiena). Durch alpine Solodierung wird nicht nur das Bodengefüge, sondern auch der Humus destabilisiert. Mit abnehmender Ca-Sättigung und zunehmender Alkali-Sättigung treten vermehrt wasserlösliche organische Substanzen auf (BOHNER, 1998). Wasserlösliche organische Substanzen mobilisieren Al-Ionen und Schwermetalle durch metallorganische Komplexbildung (BOHNER, 1998).

Die Vegetation hat einen großen Einfluß auf die Art und Menge der im Boden gebildeten organischen und mineralischen Säuren. Gebirgsböden versauern in erster Linie dann, wenn Zwergsträucher (z. B. Heidekraut, Rost-Alpenrose, Heidelbeere, Rauschbeere) infolge Nichtbewirtschaftung aufkommen. Beim Abbau der Zwergstrauch-Streu werden verstärkt organische Säuren gebildet (BOHNER, 1998). Aus der Auflagehumusschicht infiltrieren starke organische Säuren in den Mineralboden. Eine Zwergstrauchverheidung führt daher zu einer Bodenversauerung und Nährstoffverarmung (insb. Ca-Verarmung). Al-Ionen und Schwermetalle werden durch Protolyse und metallorganische Komplexbildung mobilisiert; die Stoffzusammensetzung in der Bodenlösung verschlechtert sich (BOHNER, 1998). In nichtbewirtschafteten "Hochgraswiesenböden" kann es zu einer temporären, relativ hohen Belastung mit Salpetersäure oder organischen Säuren kommen (BOHNER, 1998).

In vergleichbaren "Weide- und Wiesenböden" ist die Säurebelastung wegen den leichter abbaubaren Bestandesabfällen und wegen des geänderten Stoffkreislaufes viel niedriger als in "Zwergstrauchheide- oder Hochgraswiesenböden" (BOHNER, 1998). Durch regelmäßige Beweidung und Mahd wird eine Zwergstrauchverheidung und Hochgraswiesenbildung verhindert. Daher wird im Gebirge durch eine standortgerechte Almbewirtschaftung die Bodenversauerung und Nährstoffverarmung eingebremst, und nicht gefördert, wie gelegentlich behauptet wird.

### Konsequenzen einer Bodenversauerung für den Pflanzenbestand und die Almwirtschaft

Mit zunehmender Bodenversauerung werden Sesquioxide im Boden mobilisiert. Vor allem Al- und Mn-Toxizität ist für die Gebirgspflanzen von Bedeutung. Eine detaillierte Darstellung findet sich bei BOHNER (1998). Auf solodierten Gebirgsböden im Al-Pufferbereich (pH 4.2 - 3.2) können nur calcifuge Arten wachsen, weil sie die unausgewogene Stoffzusammensetzung im Boden (relativer Alkali-Überschuß; hohe  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $H^+$ , Fe- und Al-Ionenkonkurrenz) aushalten. Basiphile Arten und wertvolle Futterpflanzen (z. B. Leguminosen, Alpen-Rispengras) können vor allem wegen der gehemmten Ca-, Mg-, P- und Mo-Aufnahme nicht gedeihen. Der Bürstling (*Nardus stricta*) beispielsweise kommt mit der unausgewogenen Stoffzusammensetzung im Boden gut zurecht. Je nährstoffärmer, saurer, Ca-ärmer und sesquioxidreicher der Gebirgsboden ist, desto stärker tritt der Bürstling auf, sofern der Standort gut belichtet ist (BOHNER, 1998).

Eine einseitige, Kali-betonte Düngung (z. B. Güllendüngung) ist auf solodierten Gebirgsböden nicht ratsam, weil dadurch der relative Alkali-Überschuß im Boden weiter erhöht wird; die Ca- und Mg-Aufnahme der Pflanzen wird zusätzlich erschwert. Auf solidierten Gebirgsböden sollte eine mäßige Frühjahrs-Volldüngung immer nur in Kombination mit Mg-haltigem Kalk erfolgen.

Auf solodierten Gebirgsböden ist gut verrotteter Stallmist der mit Abstand beste Dünger. Entscheidend für die langanhaltende gute Düngerwirkung dürfte die Ca-, P- und N-Anreicherung im Boden sowie der Abbau des Alkali- und Sesquioxid-Überschusses sein (BOHNER, 1998). Wichtig ist, daß die Stallmistdüngung im Frühjahr erfolgt. Der gut verrottete Stallmist sollte so fein wie möglich aufgebracht werden. Dadurch wird im Boden ein temporärer Salpetersäureimpuls (BOHNER, 1998) verhindert, die "Verunkrautungsgefahr" ist relativ gering, und den Pflanzen werden zum Zeitpunkt ihres größten Bedarfs alle wesentlichen Nährelemente zugeführt.

### Zusammenfassung

Gebirgsböden verarmen durch Boden-

versauerung in erster Linie an Ca. Mit der Abnahme der Ca-Sättigung und mit der Zunahme der Al- und Alkali-Sättigung ist ein Bonitätsverlust des Standortes verbunden. Auf solodierten Gebirgsböden können nur calcifuge Arten (z. B. Bürstling) wachsen, weil sie das unausgewogene Stoffangebot im Boden aushalten. Basiphile Arten und "wertvolle" Futterpflanzen können vor allem wegen der gehemmten Ca-, Mg-, P- und Mo-Aufnahme nicht gedeihen. Wegen des relativen Alkali-Überschusses ist auf solodierten Gebirgsböden eine K-betonte Düngung (z. B. Güllendüngung) nicht ratsam. Gut verrotteter Stallmist ist der mit Abstand beste Dünger. Eine Bodenversauerung und Nährstoffverarmung tritt im Gebirge in erster Linie dann auf, wenn Zwergsträucher infolge Nichtbewirtschaftung aufkommen. Durch regelmäßige Beweidung und Mahd wird eine Zwergstrauchverheidung verhindert. Daher wird durch eine standortgerechte Almbewirtschaftung die Bodenversauerung und Nährstoffverarmung eingebremst, und nicht gefördert, wie immer wieder behauptet wird.

### Literatur

- BOHNER, A., 1998: Almwirtschaft und Gebirgs-Ökosysteme. Dissertation. Universität für Bodenkultur Wien.
- SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL et al., 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag. 491 S.
- SCHWERTMANN, U., P. SÜSSER und L. NÄTSCHER, 1987: Protonenpuffersubstanzen in Böden. Zeitschrift Pflanzenernährung, Bodenkunde, 150. 174 - 178.
- SOLAR, F., 1972: Die Böden des Raumes Großglockner - Zell am See. Mitteilungen der österreichischen bodenkundlichen Gesellschaft, 16. 93 - 106.
- ULRICH, B., 1981: Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Zeitschrift Pflanzenernährung, Bodenkunde, 144. 289 - 305.
- WESSELINK, L. G., N. van BREEMEN, J. MULDER und P. H. JANSSEN, 1996: A simple model of soil organic matter complexation to predict the solubility of aluminium in acid forest soils. European Journal of Soil Science, 47. 373 - 384.

### Dank

Ich danke der Nationalparkverwaltung Kärnten und dem Kärntner Wissenschaftsbeirat für die großzügige finanzielle Unterstützung. Ich danke Herrn Univ.Prof. Dr. E. Lichtenegger und Herrn Univ.Do. Dr. F. Solar für die hervorragende Dissertationsbetreuung.