

EIGENSCHAFTEN UND MERKMALE VON ALMBÖDEN

Andreas BOHNER

Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38,
A-8952 Irdning

1. Zusammenfassung

Almböden haben in Österreich zumindest flächenmäßig eine relativ große Bedeutung. Es sind großteils relativ naturnahe Böden. Sie weisen im A-Horizont meist sehr hohe Humusgehalte auf. Damit verbunden sind ein großes Bodenwasserspeichervermögen, eine vorwiegend pH-abhängige Kationenaustauschkapazität und hohe Gesamtgehalte an Stickstoff und Schwefel.

Den großen Stickstoff-Reserven im Humus stehen allerdings nur sehr geringe Mengen an tatsächlich pflanzenverfügbarem Stickstoff gegenüber. Nicht die Stickstoff-Menge im Boden, sondern die niedrigen durchschnittlichen Bodentemperaturen und die kurze Vegetationsperiode sind daher in der Almregion die wichtigsten ertragsbegrenzenden Faktoren.

Stark versauerte Almböden weisen im A-Horizont einen relativen Alkali- und Sesquioxid-Überschuss sowie einen komplementären relativen Erdalkali-Mangel auf. Die daraus resultierenden Konsequenzen für die floristische Zusammensetzung der Vegetation, die Bodenqualität und Almdüngung werden diskutiert.

1.1. Summary

Soils of mountain pastures are widely distributed throughout the Austrian Alps. Most of these soils are characterized by a relatively high degree of naturalness and they are commonly humus-rich in the A horizon.

The humus accumulation is associated with a high water-holding capacity, a markedly pH-dependent cation exchange capacity and a high content of total nitrogen and sulphur. Almost 100% of the total nitrogen is present in the form of organic nitrogen. The large organic pool of nitrogen is not directly available to plants.

Therefore, in mountainous regions not the nitrogen content in the soil, but the low mean soil temperatures and short growing season are the major limiting factors affecting yield and forage quality.

Very acidic topsoils of unfertilized mountain pastures are characterized by a relative excess of alkali and sesquioxid ions and by a complementary lack of earth-alkali ions. Practical implications from these observations for the species composition of the vegetation, soil quality and fertilizer application are discussed.

3.2. Einleitung

Almen und Bergmäher nehmen in Österreich eine Fläche von rund 469.012ha ein (Grüner Bericht 2009). Dies entspricht 6% der Gesamtfläche Österreichs oder 17% der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Almböden haben somit in Österreich zumindest flächenmäßig eine relativ große Bedeutung.

In der Almregion ist in der Regel die Temperatur der limitierende Standortsfaktor (Solar & Lichtenegger 1981). Bei einem weiteren Temperaturanstieg auf Grund des globalen Klimawandels (Kromp-Korb & Formayer 2005) dürfte sich daher die Artenzusammensetzung der Almvegetation allmählich verändern. Dies könnte zu einem höheren landwirtschaftlich nutzbaren Ertrag, zu einem verstärkten Almauftrieb der einzelnen Tiergattungen und zu einer längeren Alpengsperiode führen. Die Produktionsfunktion der Almböden wird daher bei geeigneten sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen vermutlich an Bedeutung gewinnen.

Die Almflächen werden vorwiegend extensiv beweidet und meist nur im unmittelbaren Bereich der Almhütten oder Almställe (Almanger) regelmäßig gedüngt. Lediglich die hüttennahen Flächen, die unmittelbare Umgebung von Viehtränken und der bevorzugte Lagerbereich der Weidetiere sind häufig überweidet.

Almböden können daher großteils als relativ naturnahe Böden betrachtet werden. Sie sind durch eine natürliche Horizontfolge und einen weitgehend standortgemäßen Stoffhaushalt charakterisiert. Über Almböden gibt es – im Vergleich zu Acker- und Waldböden – relativ wenig publizierte Untersuchungen.

In dieser Arbeit wurde daher der Versuch unternommen, anhand der vorliegenden Literatur und eigener Untersuchungsergebnisse einen Überblick über die Eigenschaften und Merkmale von Almböden zu geben. Aus den Untersuchungsergebnissen werden außerdem praxisrelevante Empfehlungen zur optimalen Almdüngung abgeleitet.

3. Eigenschaften und Merkmale von Almböden

3.1. Bodentypen

Ein engräumiger Wechsel der Bodentypen ist charakteristisch für viele Almregionen. Ursache hierfür sind meist kleinräumige Relief- oder geologische Substratunterschiede. Die vorherrschenden Bodentypen in der Almregion sind – nach der Österreichischen Bodensystematik 2000 (Nestroy et al. 2000) – Rendzinen, Kalklehm-Rendzinen, Pararendzinen, Ranker, Braunerden, Kalkbraunlehme und Haftnässe-Pseudogleye (Alpine Pseudogleye). Auch erdige Terra Fuscen und Pseudorendzinen im Sinne von Solar (1964) sind in den Kalkalpen weit verbreitet. Insbesondere bodenskelettarme Braunerden und Kalkbraunlehme sind in kühlen, niederschlagsreichen Almregionen oder schneereichen Lagen häufig krumenpseudovergleyt. Die Krumen-Pseudovergleyung ist makromorphologisch vor allem durch Roströhren im Oberboden erkennbar.

Die Krumenwechselfeuchtigkeit resultiert primär aus einer länger andauernden nivigenen Staunässe; sie kann aber auch Folge einer weidebedingten Verdichtung des Oberbodens sein. Haftnässe-Pseudogleye kommen bevorzugt in der subalpinen und alpinen Höhenstufe vor. Sie zeigen überaus schneereiche Standorte an, daher ist die nivigene Nassbleichung im Oberboden besonders ausgeprägt.

3.2. Humusformen, Bodenstruktur und Bodenwasserhaushalt

Die Almvegetation liefert vorwiegend eine relativ leicht zersetzbare Streu. Deswegen und auf Grund der vergleichsweise stärkeren Bodenerwärmung und der daraus resultierenden höheren Aktivität der Bodenorganismen erfolgt die Streuzersetzung relativ rasch. Daher kommt es bei den Almböden – im Gegensatz zu den Böden unter Zwergstrauchheiden, Latschengebüsch oder Wald – zu keiner bedeutenden Anreicherung von Auflagehumus.

Als Humusformen treten überwiegend Mull, Feucht-Mull, mullartiger Moder, mullartiger Feucht-Moder und Pechmoder auf. Letzterer ist vor allem in der subalpinen und alpinen Stufe der Kalkalpen anzutreffen.

Die Bodenstruktur wird von vielen Faktoren beeinflusst; für Almböden sind vor allem Bodenart, Staunässeeinfluss, Zusammensetzung des Kationenbelages, Aktivität der Bodenorganismen und mechanische Druckbelastung relevant. Im A-Horizont der Almböden überwiegt – je nach Ausprägung der einzelnen Faktoren – die krümelige, körnige oder plattige Bodenstruktur. Ein hoher Schluff- oder Feinsandgehalt, intensive Staunässe, starke Almbeweidung oder ein säurebedingter hoher Alkali-Anteil am Kationenbelag führen sehr häufig zu einer plattigen Struktur im Oberboden.

Der Bodenwasserhaushalt ist unter dem Einfluss des kühlen, niederschlag- und schneereichen Gebirgsklimas meist frisch (gut mit Wasser versorgt) oder krumenwechselfeucht. Die hohen Niederschlagsmengen und niedrigen Lufttemperaturen während des ganzen Jahres können das geringe Wasserspeichervermögen der seichtgründigen, sand- und bodenskelettreichen Almböden teilweise kompensieren, sodass halbtrockene Standorte vor allem in höheren Almregionen und auf der Luvseite der Alpen eher selten sind.

3.3. Stoffhaushalt

Almböden sind im A-Horizont meist sehr humusreich. Die C_{org} -Gehalte von 42 wurzelfreien Bodenproben schwanken in einem weiten Bereich, der Median beträgt 8,5% (Tabelle 1). Bei den untersuchten Almböden besteht zwischen dem Humusgehalt und ihrem pH-Wert keine Beziehung. Sowohl saure als auch neutrale oder alkalische Almböden können im A-Horizont besonders humusreich sein. Mit der Seehöhe (1340 bis 2160m) wurde ebenfalls kein Zusammenhang festgestellt. Almböden enthalten in den obersten 10cm im Mittel etwa 99.000kg C_{org} pro Hektar (Tabelle 2) und sind somit bedeutende Speicher von organischem Kohlenstoff. Für den Humusreichtum im A-Horizont sind mehrere Faktoren verantwortlich.

Die Humusakkumulation ist zunächst einmal eine Folge der langsamen Mineralisierung der organischen Substanz. Ursache hierfür sind die ungünstigen Lebensbedingungen der Bodenorganismen in der Almregion (niedrige durchschnittliche Bodentemperaturen, lang anhaltende Staunässe und damit verbunden Sauerstoffmangel insbesondere im Frühjahr zur Zeit der Schneeschmelze oder während einer längeren Regenperiode, selektiver Nährstoffmangel). Bei geringer Aktivität der Bodenorganismen entstehen infolge mangelnder Vermischung des Bodenmaterials durch Bodentiere nicht nur scharfe und deutliche Horizontgrenzen, auch die Humusanreicherung im A-Horizont wird durch einen geringeren „Verdünnungseffekt“ begünstigt. Hinzu kommt, dass die Almvegetation in der Regel eine sehr große unterirdische Phytomasse aufweist. Sie beträgt 150 bis über 200dt pro Hektar (Bohner 1998).

Dies entspricht einer Kohlenstoff-Speicherung von 6.900 bis über 9.200kg C pro Hektar in der Wurzelmasse oder mindestens 7% der mittleren organischen Kohlenstoff-Vorräte von Almböden in 0-10cm Bodentiefe. Außerdem nimmt die Durchwurzelungstiefe des Bodens von der planaren bis in die alpine Höhenstufe ständig ab und die Durchwurzelung des Oberbodens zu „(Kutschera 1981)“. Deshalb ist in den Almböden in den obersten 5cm häufig ein Wurzelfilz ausgebildet und 80-93% der unterirdischen Phytomasse sind in 0-10cm Bodentiefe anzutreffen (Bohner 1998).

Nachdem über die abgestorbenen Wurzeln und die organischen Ausscheidungen der lebenden Pflanzenwurzeln besonders hohe Kohlenstoff-Mengen in den Almböden gelangen (Hitz et al. 2001, Bohner 2005), bewirkt die starke Konzentrierung der großen unterirdischen Phytomasse auf den Oberboden gleichzeitig auch hohe Humusgehalte im A-Horizont der Almböden (Lichtenegger 1997). Die temperaturbedingte Abnahme des Wurzeltiefanges mit steigender Seehöhe führt außerdem zu einer Verminderung der Ausnützung der Nährstoffvorräte im Unterboden (Lichtenegger 1997) und begünstigt die Nährstoffauswaschung mit dem Sickerwasser.

Tabelle 1: Humus-Kennwerte (A-Horizont, 0-10cm Bodentiefe, wurzelfreies Bodenmaterial) von ungedüngten (schwach gedüngten) Almböden

n = 42	%					
	C _{org}	N _{tot}	S _{tot}	C _{org} : N _{tot}	C _{org} : S _{tot}	N _{tot} : S _{tot}
Minimum	2,71	0,21	0,02	9,57	63,22	4,19
Maximum	19,67	1,63	0,27	20,36	195,75	12,00
Arithmetischer Mittelwert	9,93	0,72	0,09	14,03	114,30	8,23
Median	8,50	0,61	0,08	13,32	110,50	7,86

Tabelle 2: Vorräte an organischem Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel (A-Horizont, 0-10cm Bodentiefe) in ungedüngten (schwach gedüngten) Almböden*

n = 42	kg ha ⁻¹		
	C _{org}	N _{tot}	S _{tot}
Minimum	27100	2100	200
Maximum	196700	16300	2700
Arithmetischer Mittelwert	99300	7200	900
Median	85000	6100	800

* Annahme: Lagerungsdichte = 1 g cm⁻³

Im A-Horizont von Almböden nehmen mit steigendem Humusgehalt sowohl die Wasserspeicherkapazität als auch die Gesamtgehalte an Stickstoff und Schwefel zu (Bohner 2005).

Das Wasserspeichervermögen der Almböden hängt somit entscheidend von deren Gründigkeit, Humusgehalt, Bodenart und Grobskeletgehalt ab. Die Gesamtgehalte an Stickstoff und Schwefel betragen im Mittel 0,72 bzw. 0,09% (Tabelle 1). Die Streuung der Einzelwerte ist allerdings relativ groß.

Ein Stickstoff-Gesamtgehalt von 0,7% entspricht üblichen Werten von Böden unter Wirtschaftsgrünland. Die Vorräte an Stickstoff und Schwefel machen in den obersten 10cm durchschnittlich etwa 7.200kg N_{tot} und 900kg S_{tot} pro Hektar aus (Tabelle 2).

Der Stickstoff liegt im A-Horizont von ungedüngten oder nur sehr schwach gedüngten Almböden beinahe zu 100% als organisch gebundener Stickstoff vor (Bohner 1998). Viele Almböden haben nur einen hohen Gehalt an potenziell mineralisierbarem Stickstoff (Tabelle 3). Den großen Stickstoff-Reserven im Humus stehen somit überaus geringe Mengen an tatsächlich pflanzenverfügbarem (mineralischem) Stickstoff gegenüber.

Nicht die Stickstoff-Menge im Boden, sondern die niedrigen durchschnittlichen Bodentemperaturen und die kurze Vegetationsperiode sind daher in der Almregion die primär ertragsbegrenzenden Faktoren (vgl. Solar & Lichtenegger 1981, Körner 2003). In den ungedüngten oder nur sehr schwach gedüngten Almböden betragen im A-Horizont die C_{org}:N_{tot}, C_{org}:S_{tot} und N_{tot}:S_{tot}-Verhältnisse im Mittel 14, 114 und 8 (Tabelle 1).

Die Schwankungsbreite der einzelnen Quotienten ist allerdings relativ groß. Es besteht eine schwache Tendenz zu engeren C:N- und C:S-Verhältnissen bei höheren pH-Werten (Bohner 2005). Zwischen dem Humusgehalt und den C:N- und C:S-Verhältnissen konnte keine Beziehung festgestellt werden (Bohner 2005). C:N-Quotienten von 12-14 sind typisch für wenig produktive Gebirgsböden (Körner 2003).

Tabelle 3: Ausgewählte Bodenkennwerte (A-Horizont, 0-10cm Bodentiefe) von ungedüngten (schwach gedüngten) Almböden

	CAL-P	mg kg ⁻¹ CAL-K	H ₂ O-P	mg kg ⁻¹ 7d ⁻¹ nachl. N
Minimum	4	25	2	32
Maximum	227	683	64	467
Arithmetischer Mittelwert	29	124	11	226
Median	18	89	7	235
n	139	122	82	80

Im A-Horizont von Almböden mit niedrigem Tongehalt steigt die effektive Kationenaustauschkapazität mit zunehmendem Humusgehalt in Abhängigkeit von der Bodenreaktion mehr oder weniger deutlich an (Abbildung 1).

Allerdings besitzen die Almböden im A-Horizont wegen des hohen Humusgehaltes vorwiegend eine pH-abhängige variable Ladung. Daher ist ihre Kationenaustauschkapazität auch sehr wesentlich von der Bodenreaktion abhängig. Mit sinkendem pH-Wert nimmt die effektive Kationenaustauschkapazität stark ab, weil die variable Ladung der organischen Bodensubstanz zunehmend protoniert wird (Abbildung 1,2).

Daher verarmt der Almboden mit zunehmender Bodenversauerung an austauschbar gebundenen kationischen Nährstoffen (insbesondere Kalzium und Magnesium), weshalb die Standortbonität allmählich sinkt. Der natürliche Prozess der Bodenversauerung und Nährstoffverarmung ist in der Almregion wegen der hohen Niederschlags- und Sickerwassermengen besonders ausgeprägt.

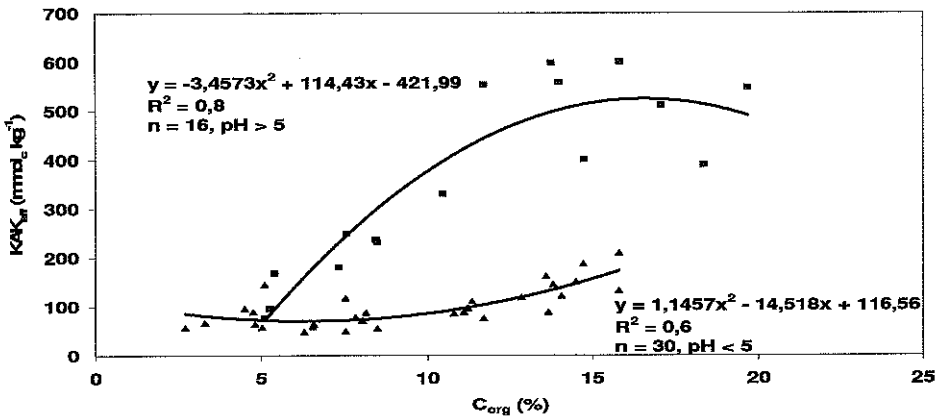


Abbildung 1: Beziehung zwischen C_{org} und effektiver Kationen-austauschkapazität ($BaCl_2$ -Extrakt) für Almböden (A-Horizont, 0-10 cm Bodentiefe) mit pH-Werten ($pH\ CaCl_2$) über 5 und unter 5

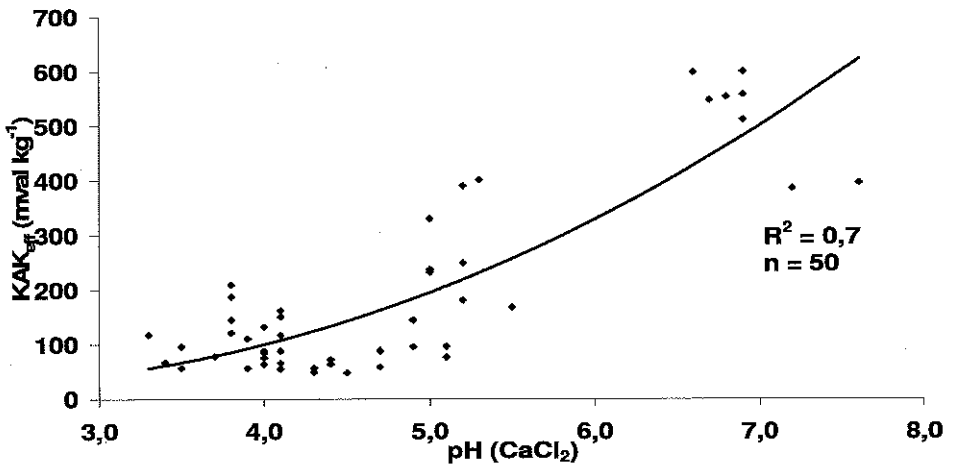


Abbildung 2: Beziehung zwischen pH-Wert und effektiver Kationenaustauschkapazität ($BaCl_2$ -Extrakt) im A-Horizont von Almböden (0-10cm Bodentiefe)

Hohe Humusgehalte im Almboden sind aus almwirtschaftlicher Sicht bewertet eher nachteilig, denn die daraus resultierende große Wasserspeicherkapazität bewirkt eine relativ langsame und geringe Bodenerwärmung sowie eine zeitweise schlechte Bodendurchlüftung. Die Rate der Stickstoff-Mineralisierung ist infolge geringerer mikrobieller Aktivität deutlich reduziert.

Bei geringerem pflanzenverfügbarem Stickstoff-Angebot wird der Graswuchs gehemmt und das Kräuterwachstum gefördert. Deswegen ist die Almvegetation von Natur aus meist ziem-

lich kräuterreich (Ausnahme: stark versauerte Almböden) und höhere Humusgehalte im Almböden wirken aus klimatischen Gründen nicht mehr ertragssteigernd. Die Bonität der Almböden wird maßgeblich von ihren chemischen Eigenschaften bestimmt. In den Abbildungen 3-8 ist die prozentuale Sättigung der Austauschker mit Ca, Mg, K, Mn, Al und Fe in Abhängigkeit vom pH-Wert für den A-Horizont von ungedüngten oder nur sehr schwach gedüngten Almböden dargestellt. Mit sinkendem pH-Wert (pH CaCl_2) nimmt die Ca-Sättigung ab, während die Al-Sättigung insbesondere unterhalb $\text{pH } 4.2$ (Aluminium-Pufferbereich) und die Fe-Sättigung etwa unterhalb $\text{pH } 3.8$ (Aluminium-Eisen-Pufferbereich) stark ansteigen. Auch die K-Sättigung nimmt leicht zu.

Daher verengt sich mit zunehmender Bodenversauerung vor allem das Ca:K- und Ca:Al-Verhältnis am Kationenbelag der Almböden und die Basensättigung sinkt. Magnesium und Mangan hingegen weisen sowohl bei extrem niedrigen als auch bei sehr hohen pH-Werten geringe Anteile am Kationenbelag auf. Ein wesentliches Merkmal der ungedüngten, stark versauerten Almböden ist daher ein relativer Alkali- und Sesquioxid-Überschuss sowie ein komplementärer relativer Erdalkali-Mangel im Oberboden. Diese „Solodierungsmerkmale“ sind im A-Horizont umso deutlicher ausgeprägt, je stärker der Almböden versauert ist. Damit verbunden sind eine Verschlechterung der Bodenstruktur (häufig Plattengefüge im Oberboden) und ein disharmonisches Nährstoffangebot (selektiver Nährstoffmangel) für Pflanzenwurzeln und Bodenorganismen.

Dieser Säure-induzierte Bonitätsverlust des Almbödens macht sich auch in der Almbvegetation bemerkbar. Entsprechend der Bodenreaktion und den damit gekoppelten Bodeneigenschaften existiert eine scharfe Differenzierung der Flora. Auf stark versauerten Almböden im Aluminium- oder Eisen-Pufferbereich ($\text{pH CaCl}_2 < 4.2$) kommen nur ausgesprochen calcifuge Pflanzenarten wie beispielsweise der Bürstling (*Nardus stricta*) vor. Sie ertragen den ausgeprägten Nährstoff- und Säurestress bei stark saurer Bodenreaktion (Bohner 2002).

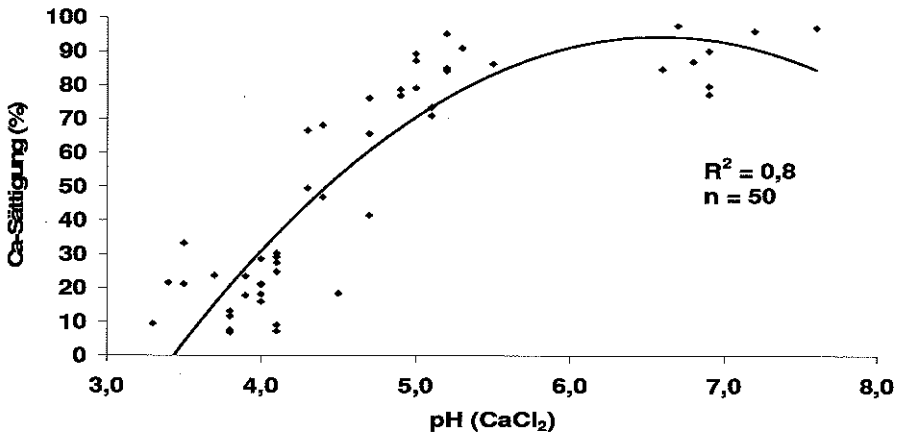


Abbildung 3: Beziehung zwischen pH-Wert und Calcium-Sättigung (BaCl_2 -Extrakt) im A-Horizont von Almböden (0-10cm Bodentiefe)

Sowohl die Gehalte an CAL-löslichem Phosphor und Kalium als auch der Gehalt an wasserlöslichem Phosphor schwanken im A-Horizont von ungedüngten oder nur sehr schwach gedüngten Almböden in weiten Grenzen. Der Median beträgt bei 82 bis 139 untersuchten Bodenproben 18mg CAL-P, 89mg CAL-K und 7 mg H₂O-P pro kg Feinboden (Tabelle 3). Der natürliche Gehalt an CAL-löslichem Phosphor dürfte bei terrestrischen Almböden häufig im Bereich von 4-20mg CAL-P pro kg Feinboden liegen. Allerdings können vor allem stark versauerte, hydromorphe Almböden auch sehr hohe CAL- und wasserlösliche Phosphor-Gehalte aufweisen (Tabelle 3).

Durch protolytische Auflösung von Phosphor-haltigen Verbindungen und unter reduzierenden Bedingungen werden Phosphate in beträchtlichem Ausmaß mobilisiert.

Die mineralogische Zusammensetzung des Ausgangssubstrates der Bodenbildung, ihr Verwitterungsgrad, der Tongehalt und die Bodenreaktion haben einen großen Einfluss auf das bodenbürtige Kalium-Nachlieferungsvermögen. Daher weisen ungedüngte, stark versauerte Almböden aus Glimmer- und/oder Feldspat-reichem Gestein sowie tonreiche Almböden nicht selten einen relativ hohen Gehalt an CAL-löslichem Kalium auf. Hohe CAL-lösliche Kalium-Gehalte im A-Horizont von ungedüngten, extensiv genutzten Almböden können aber auch eine Folge der niedrigen Kalium-Entzüge und der daraus resultierenden Bioakkumulation im Oberboden sein.

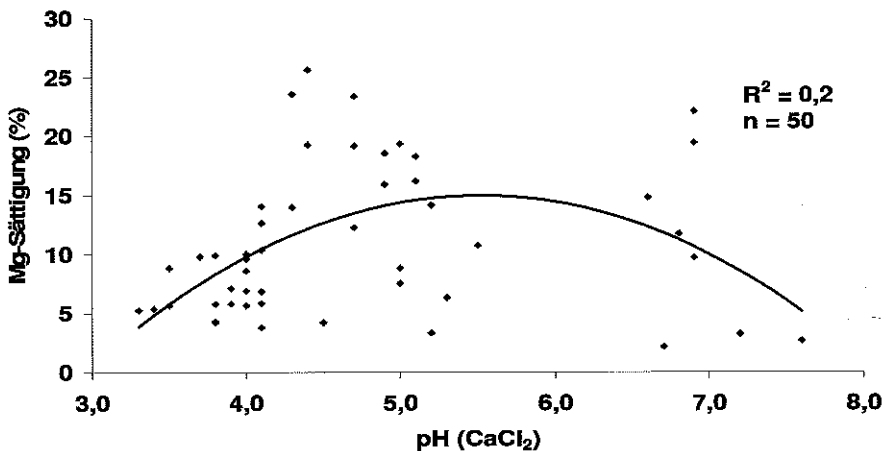


Abbildung 4: Beziehung zwischen pH-Wert und Magnesium-Sättigung (BaCl₂-Extrakt) im A-Horizont von Almböden (0-10cm Bodentiefe)

Der Stoffhaushalt der Almböden wird durch atmosphärischen Stoffeintrag mitbestimmt. Der Eintrag erfolgt in Form von Flugstaub und nasser Deposition. Flugstäube sind im Gebirge ubiquitär (Solar 1964, Franz 1979). Die Sedimentation von rötlich-braunem Saharastaub beispielsweise ist in den Alpen ein ziemlich häufiges Ereignis. Die rezente Flugstaubsedimentation bewirkt eine Mineralstoffzufuhr.

Auf Grund der hohen Niederschlagsmengen im Gebirge kann auch die nasse Deposition für einige Nährstoffe einen wesentlichen Eintragspfad in Almökosysteme darstellen (Bohner

1998). Nur der atmosphärische Stoffeintrag kann die Stabilisierung der Phytomasseproduktion bei starker Bodenversauerung und lang anhaltendem Nährstoffentzug durch Almbeweidung erklären (Solar & Lichtenegger 1981).

4. Praxisrelevante Schlussfolgerungen

Aus almwirtschaftlicher Sicht betrachtet sind stark versauerte Almböden (Böden im Aluminium- oder Eisen-Pufferbereich: pH CaCl₂ < 4.2) ungünstig, denn sie weisen zumindest im Oberboden einen relativen Alkali- und Sesquioxid-Überschuss sowie einen komplementären relativen Erdalkali-Mangel auf.

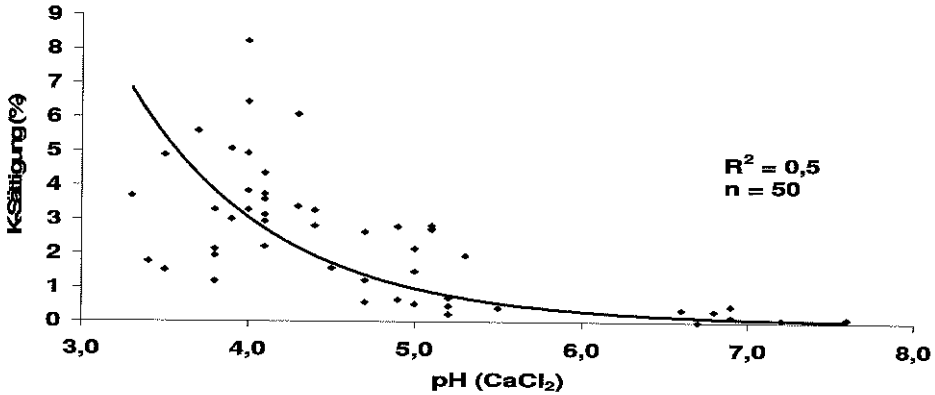


Abbildung 5: Beziehung zwischen pH-Wert und Kalium-Sättigung (BaCl₂-Extrakt) im A-Horizont von Almböden (0-10cm Bodentiefe)

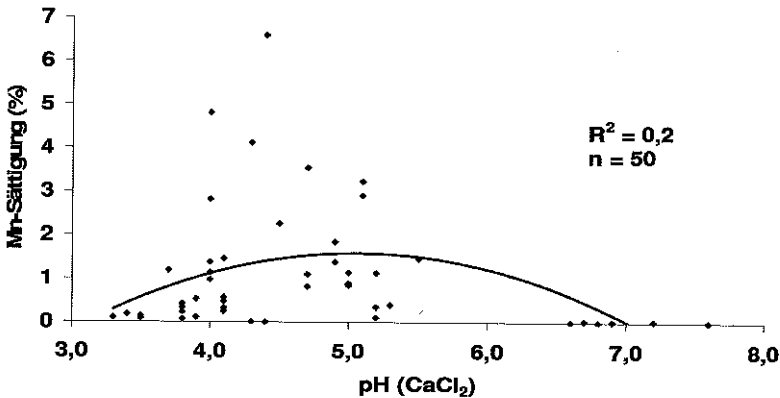


Abbildung 6: Beziehung zwischen pH-Wert und Mangan-Sättigung (BaCl₂-Extrakt) im A-Horizont von Almböden (0-10cm Bodentiefe)

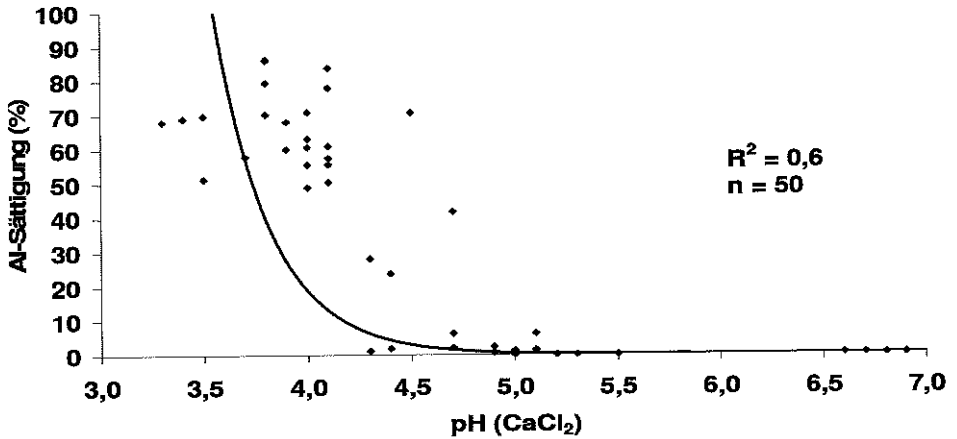


Abbildung 7: Beziehung zwischen pH-Wert und Aluminium-Sättigung (BaCl₂-Extrakt) im A-Horizont von Almböden (0-10cm Bodentiefe)

„Wertvolle“ Futterpflanzen wie beispielsweise Alpen-Rispengras (*Poa alpina*), Gold-Pippau (*Crepis aurea*), Braun-Klee (*Trifolium badium*) oder Rot-Klee (*Trifolium pratense*) fehlen im Pflanzenbestand weitgehend, während vor allem der Bürstling (*Nardus stricta*) bei ausreichenden Lichtverhältnissen einen hohen Deckungsgrad erreichen kann (Bohner 2002).

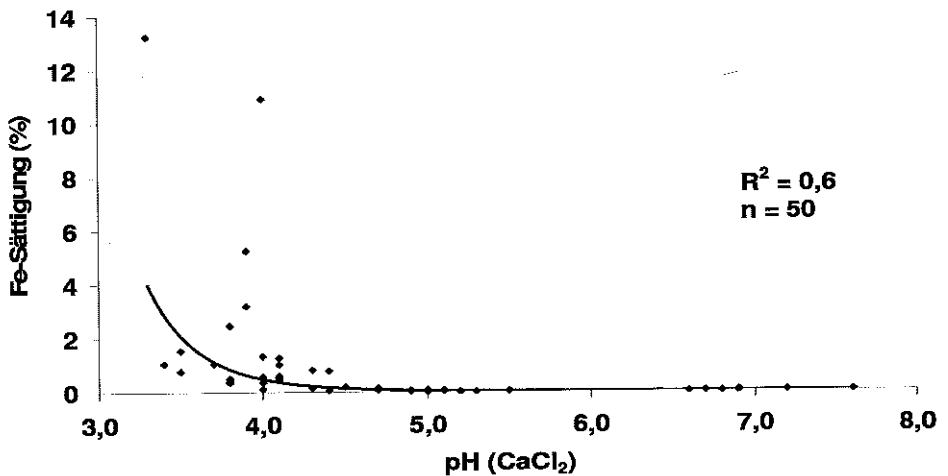


Abbildung 8: Beziehung zwischen pH-Wert und Eisen-Sättigung (BaCl₂-Extrakt) im A-Horizont von Almböden (0-10cm Bodentiefe)

Wenn man ertrags- und kleearme Silikat-Magerrasen auf stärker versauerten Almböden in kleereichere, futterbaulich wertvollere Pflanzenbestände umwandeln will, muss unbedingt Kalk zugeführt werden. Dies ist notwendig, um Säure abzapuffern und den relativen Alkali- und Sesquioxid-Überschuss im Boden abzubauen.

Bei regelmäßiger Kalkzufuhr steigt der pH-Wert (pH CaCl₂) im Oberboden an, die effektive Kationenaustauschkapazität, der Vorrat an austauschbarem Kalzium, die Ca- und Basensättigung nehmen zu. Durch Kalkdüngung (1000kg pro Hektar kohlenaurer Kalk oder kohlenaurer Magnesiumkalk) sollte der pH-Wert im Oberboden allmählich bis in den Silikat-Pufferbereich (pH CaCl₂: 6.2-5.0) angehoben werden. Auf stark versauerten Almböden ist eine Kalium- und Ammonium-betonte Düngung beispielsweise in Form von Rindergülle oder Rinderjauche nicht ratsam.

Dadurch werden der relative Alkali-Überschuss und der komplementäre relative Erdalkali-Mangel im Oberboden weiter erhöht und die Bodenstruktur allmählich destabilisiert. Auf stark versauerten Almböden sind gut verrotteter Stallmist oder Stallmistkompost die mit Abstand besten Dünger.

Durch regelmäßige Düngung mit diesen Wirtschaftsdüngern werden der pH-Wert (pH CaCl₂) und der austauschbare Kalzium-Vorrat im Oberboden allmählich erhöht und der relative Kalium-Überschuss abgebaut.

Dadurch und wegen der gleichzeitigen Zufuhr insbesondere von Stickstoff und Phosphor können Silikat-Magerrasen in ertragreichere und qualitativ wertvollere Pflanzenbestände umgewandelt werden. Entscheidend ist, dass der Wirtschaftsdünger im Frühjahr in geringen Mengen (maximal 10t pro Hektar alle 2 bis 5 Jahre) so fein wie möglich ausgebracht wird.

Der Oberboden sollte bereits abgetrocknet und ausreichend erwärmt sein. Am besten geeignet für eine mäßige Düngung sind schwach geneigte, wärmebegünstigte, südexponierte Hanglagen auf frischen Standorten in der montanen und subalpinen Höhenstufe. Stark wechselfeuchte Standorte, schattige oder besonders schneereiche Lagen sowie ausgeprägte Muldenlagen hingegen sollten wegen der hohen Verunkrautungsgefahr nicht gedüngt werden. Auch Almflächen in der alpinen Höhenstufe (oberhalb der klimatischen Baumgrenze) sind auf Grund der ungünstigen klimatischen Bedingungen nicht düngerwürdig.

3.5. Literaturverzeichnis

- Bohner, A., 1998: Almwirtschaft und Gebirgs-Ökosysteme. Diss. BOKU Wien, 169 und 215 S.
- Bohner, A., 2002: Ökochemische Stresskennwerte im Boden. Mitt. d. Österr. Bodenk. Ges., Heft 66, 149-155.
- Bohner, A., 2005: Organic matter in alpine grassland soils and its importance to site quality. ALVA-Mitteilungen, Heft 3, 91-98.
- Franz, H., 1979: Ökologie der Hochgebirge. Ulmer Verlag, 495 S.
- Grüner Bericht, 2009: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Wien.

- Hitz, Ch., Egli, M. & Fitze, P., 2001: Below-ground and above-ground production of vegetational organic matter along a climosequence in alpine grasslands. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164, 389-397.
- Körner, Ch., 2003: Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer Verlag, 344 S.
- Kromp-Korb, H. & Formayer, H., 2005: Schwarzbuch Klimawandel. Ecowin-Verlag, 222 S.
- Kutschera, L., 1981: Tiefe der Bodendurchwurzelung in Abhängigkeit von Klima und Boden. 3. Sonderheft der Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Führer zur Exkursion durch das Glocknergebiet und die Karnischen Alpen in Kärnten vom 23. bis 26. September 1981, 45-52.
- Lichtenegger, E., 1997: Wurzeln. Bewurzelung von Pflanzen in verschiedenen Lebensräumen. Spezieller Teil, *Stapfia* 49, 55-331.
- Nestroy, O., Danneberg, O.H., Englisch, M., Gess, A., Hager, H., Herzberger, E., Kilian, W., Nelhiber, P., Pecina, E., Pehamberger, A., Schneider, W. & Wagner, J., 2000: Österreichische Bodensystematik 2000. *Mitt. d. Österr. Bodenk. Ges.*, Heft 60, 99 S.
- Solar, F., 1964: Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau. *Mitt. d. Österr. Bodenk. Ges.*, Heft 8, 71 S.
- Solar, F. & Lichtenegger, E., 1981: Ertragsbildung und Ertragsfaktoren in der alpinen Standortcatena. Möglichkeiten und Grenzen intensiver Grünlandwirtschaft. 3. Sonderheft der Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Führer zur Exkursion durch das Glocknergebiet und die Karnischen Alpen in Kärnten vom 23. bis 26. September 1981, 166-182.