©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

# Beitrag zur Ökologie alpiner Kalkschuttstandorte

Von

Heinz ZÖTTL (München)

Eingelangt am 26. November 1951

Die an extremen Standorten herrschenden Vegetationsbedingungen haben schon seit jeher das Interesse der ökologischen Forschung auf sich gezogen. Es nimmt daher nicht wunder, daß auch die der pflanzlichen Besiedlung feindlichen Kare und Schutthalden der Alpen des öfteren Gegenstand solcher Untersuchungen gewesen sind. Umfassende Spezialarbeiten von SCHROETER 1926, JENNY-LIPS 1930, GAMS 1942 und anderen Autoren, sowie pflanzensoziologische Gebietsmonographien (RÜBEL 1912, BRAUN-BLANQUET und JENNY 1926, LÜDI 1928, AICHINGER 1933 u. a. m.) haben unsere Kenntnis von den Standortsverhältnissen auf alpinen Geröllfeldern [1]) in äußerst aufschlußreicher Weise vertieft. Trotzdem fehlen aber bislang vor allem bezüglich Nährstoffgehalt, chemischer Zusammensetzung und Kleinlebewelt des Wurzelsubstrats dieser Standorte genauere Angaben. Es erschien daher angebracht, im Rahmen von soziologisch-ökologischen Untersuchungen der Geröllhaldenvegetation des Wettersteingebirges, über die an anderer Stelle berichtet ist (ZÖTTL 1951 a), sich einmal näher mit den genannten Punkten zu befassen. Nachfolgend seien einige Ergebnisse dieser im Wettersteingebirge (im mittleren Teil der Bayerischen Alpen bei Garmisch-Partenkirchen) ausgeführten Arbeiten geschildert.

## 1. Allgemein-bodenkundliche Verhältnisse

Auf die Darstellung der Entstehung des Felsschutts und der verschiedenen im Untersuchungsgebiet anzutreffenden Haldentypen kann hier verzichtet werden; die Schilderungen bei SCHROETER 1926, QUARLES 1909, PIWOWAR 1903 und JENNY-LIPS 1930 gelten auch hier. Bezüglich der Einteilungsprinzipien und des für Geröllstandorte bezeichnenden Bodenprofils (obere Steinluftschicht — Feinerdeschicht — untere Steinluftschicht) sei der Kürze halber ebenfalls auf die genannten Arbeiten verwiesen.

Hingegen seien zunächst die Ergebnisse von Korngrößenbestimmungen gebracht. Tabelle 1 stellt die Verhältnisse dar, wie sie sich auf

---

[1]) Der Ausdruck Schutt wird hier gleichermaßen wie Geröll gebraucht; davon unterschieden wird Kies oder Schotter, ein durch längeren Wassertransport gerundetes Gesteinsmaterial.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



Grund mehrerer Probeentnahmen auf Schutthalden der Schachengegend in 1800—2000 m Höhe [2]) ergaben. Insgesamt wurden 50 kg Material gesiebt. Blöcke über 20 cm Durchmesser wurden von vornherein ausgeschieden; trotzdem ist aber der gewichtsprozentuale Anteil der gröbsten Fraktion am größten. Die unter 2 mm liegenden Anteile sind nur gering; auf 50 kg Geröll treffen etwas über 6,5 kg Feinerde.

| Korngröße in mm | > 10 | 10—5 | 5—2 | 2—1 | 1—0,5 | < 0,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| % | 41,2 | 27,8 | 17,7 | 5,9 | 2,4 | 5,0 |

Tabelle 1
Korngrößenverteilung des Gesamtgerölls

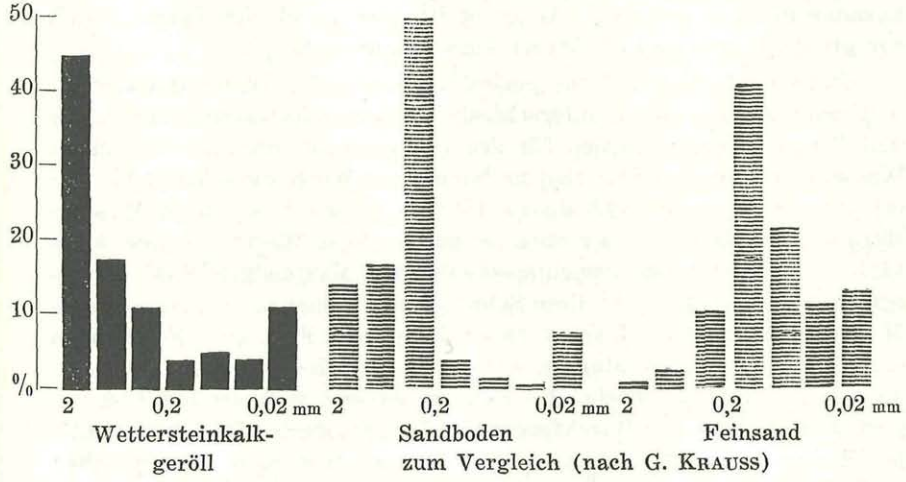


Tabelle 2
Korngrößenverteilung der Feinerde des Wettersteinkalkgerölls

Die Korngrößenverteilung innerhalb der Feinerde (= gesamtes Erdreich, das durch das 2 mm-Sieb geht) ist aus Tabelle 2 zu ersehen. (Material unter 2 mm = 100%!). Die Trennung der einzelnen Fraktionen erfolgte im Spülverfahren. Verwendet wurde der Spülapparat von KOPECKY in der Verbesserung von G. KRAUSS (nähere Beschreibung bei G. KRAUSS 1925). Um eine künstliche Zerreibung zu vermeiden, wurde die Analyse zuerst 24 Stunden gut durchfeuchtet stehen gelassen und dann nur mehr ganz kurz angerieben. Da die Spülung mit Wasser (mit Ammoniakzusatz bis zur neutralen Karbonatlösung) durchgeführt

[2]) Besiedlung Petasitetum paradoxi, bzw. Thlaspeetum rotundifolii; nähere Beschreibung siehe ZÖTTL 1951 a.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at


wurde, ist ein geringer Löslichkeitsverlust an Material wegen seines hohen Kalkgehaltes nicht zu vermeiden. Da jedoch die Feinerde schon am natürlichen Standort der Auswaschung und Auslaugung ausgesetzt ist, kann dieser Fehler durchaus vernachlässigt werden. Da bisher keine Angaben über Korngrößenbestimmung in Geröll vorliegen, ist zum Vergleich in Tabelle 2 die Korngrößenverteilung in ähnlich zusammengesetzten Flachlandböden beigefügt. Wie ersichtlich, ist die Größenverteilung der Feinerde des Kalkschutts im wesentlichen die eines gröberen Sandbodens. Dementsprechend können wir die physikalischen Eigenschaften des Geröllfeinmaterials auch gleich diesen charakterisieren. Einesteils hat eine solche Zusammensetzung vorteilhafte Wirkungen; so ist z. B. eine genügend große Durchlüftung der Feinerde, also ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet, ebenso kann kein dichtes Zusammenbacken erfolgen. Anderenteils wird durch den hohen Anteil der groben Fraktionen die Wasserkapazität vermindert.

Diese ist in der Tat sehr gering. Aus mehreren Wasserkapazitätsbestimmungen von Geröll unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung und Feinerdegehalts wurden für den gewichtsprozentual ausgedrückten Wassergehalt des frischen Bodens immer nur Werte zwischen 3 bis 5% erhalten (gesamter Frischboden = 100%). Auch bei maximaler Wassersättigung ergaben sich nur etwa doppelt so hohe Werte, nämlich 5 bis 11% Wassergehalt (in Gewichtsprozenten des Maximalgewichts). Trotzdem stellt das Wasser für diese Schuttstandorte keinen ausgesprochenen Minimumfaktor dar. Infolge ihrer Lage am Fuß von Felswänden ergießt sich bei jedem starken oder schwachen Regenfall eine Wassermenge über das Geröllfeld, die zwar rasch und zum großen Teil ungenutzt versickert, zur Durchfeuchtung der Feinerdehäufchen im Schuttprofil aber ausreicht. Zudem ist der Verdunstungsverlust ausgesprochen gering.

Da das Feinmaterial, das praktisch ausschließlich für die Wasserhaltung in Frage kommt, nur häufchenartig im Geröll verteilt ist, kann es bei Trockenzeiten nicht zu einem aufsteigenden Wasserstrom kommen wie in einem normalen Boden. Das nur oberflächlich die Gesteinsbrocken benetzende Wasser verdunstet zwar ziemlich schnell, aber die tieferliegende Feinerde kann ihr kapillar gebundenes Wasser nicht durch Nachsaugwirkung an die freie Atmosphäre verlieren. Hinzu kommt die ungemein bedeutungsvolle Schutzwirkung der oberen Steinluftschicht, die die tieferliegende Feinerde wirksam vor der Austrocknung bewahrt.

Bestätigt wird diese Auffassung von der ausreichenden Wasserversorgung der Geröllstandorte durch Untersuchungen über den osmotischen Wert des Zellsaftes alpiner Pflanzen. Hierbei zeigte sich stets, daß die Geröllpflanzen die niedrigsten osmotischen Werte aufweisen (meist 6 bis 12 at), während Rasenpflanzen und Zwergsträucher deut-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



lich höhere Zahlen (meist 10 bis 20 at) liefern (PISEK, SOHM u. CARTELLIERI 1935). Auch ist die verdunstete Wassermenge (auf das Laubfrischgewicht bezogen) von typischen Geröllpflanzen um ein Mehrfaches höher als von alpinen Fels- oder Rasenpflanzen (siehe GAMS 1942).

## 2. Zusammensetzung und Nährstoffgehalt der Schuttfeinerde

Die Feinerde ist das alleinige Nährsubstrat für die im Geröll wachsenden Gefäßpflanzen; die von ihr vorhandene Menge ist der wichtigste Faktor bei der Besiedlung. Nur wo ausreichend Feinerde vorhanden ist, können die phanerogamen Pioniere im Schutt Fuß fassen. Immer wieder kann man beobachten, daß weite Flächen in einem Kar oder auf einer Geröllhalde, die sich oberflächlich betrachtet in gar nichts von benachbarten, besiedelten Stellen unterscheiden, ohne jeden Pflanzenwuchs sind. Erst eingehende Untersuchung auf vorhandene Feinerde macht die Ursache klar; in allen diesen Fällen ist ihr Gehalt so gering, daß er nicht einmal ein Aufkommen der angepaßten Schuttbewohner ermöglicht. Man kann sagen, daß die Dichte pflanzlichen Bewuchses im Felsgeröll direkt proportional der vorhandenen Feinerdemenge ist. Allerdings darf hierbei nicht übersehen werden, daß außer dem Feinerdegehalt auch die Beweglichkeit des Schutts sehr oft eine entscheidende Rolle für die Besiedlungsmöglichkeit spielt. Es gibt unbesiedelte, feinerdereiche Stellen, wo der Schutt durch ständige Umlagerung (regelmäßige Begehung durch Gemsen oder Schafe macht hier auch viel aus) keinem Keimling das Fortkommen ermöglicht und auch vegetatives Vordringen von Arten verhindert (siehe ZÖTTL 1951 b).

Eine Ansiedlung von Kryptogamen kann überall, wo die Bewegung des Gerölls nicht zu lebhaft ist, auf der Oberfläche der Gesteinsbrocken erfolgen. Im Untersuchungsgebiet kommen Flechten aus der Familie der *Verrucariaceae* sowie *Cyanophyceae* der Gattung *Gloeocapsa* vor. Durch das Eindringen dieser Lithophyten wird die Gesteinsoberfläche zunehmend rauher; es bildet sich eine 1 bis 2 mm dicke Kruste, die aus Flechtenthallus, Cyanophyceenzellen und angewittertem Kalk besteht. Auch Laubmoosanflüge von *Pseudoleskea atrovirens, Distichium capillaceum, Syntrichia norvegica* und *Grimmia* sp. gesellen sich hinzu. So kann ganz allmählich eine Anhäufung von organischem Feinstmaterial erfolgen; das Nährsubstrat für die höheren Pflanzen machen diese organischen Stoffe jedoch nur zu einem sehr geringen Teil aus.

Die Frage lautet nun: Woraus besteht die Feinerde und woher kommt sie? Verständlicherweise setzt sie sich zum größten Teil aus feinzerriebenem Gestein, in unserem Falle also aus fast reinem $CaCO_3$ zusammen. Im gesamten Material unter 2 mm Durchmesser wechselt der

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at


Kalkgehalt zwischen 80 und 95% [1]). Die Proben entstammen hierbei den verschiedensten Örtlichkeiten; sie sind an unterschiedlichen Stellen innerhalb des jeweiligen Geröllfeldes entnommen. Daß der Kalkgehalt der Feinerde auch auf engstem Raume in gewissem Maße schwanken kann, zeigt Tabelle 3. Die Proben wurden in sehr beweglichem Moränenschutt am Fuß des Höllentalferners in 2220 m Höhe gesammelt.

Besiedelt wird diese Stelle von einem artenarmen Fragment des Thlaspeetum rotundifolii (siehe ZÖTTL 1951 a).

| Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CaCO_3$ % | 80 | 86 | 87 | 88 | 90 | 90 | 90 | 92 | 93 | 93 |

Tabelle 3
Schwankungen des Kalkgehaltes der Feinerde (allgemein)

| Korngrößendurchmesser < 1 mm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $CaCO_3$ % | 81 | 85 | 90 | 90 | 92 |

| Korngrößendurchmesser < 0,5 mm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $CaCO_3$ % | 90 | 90 | 92 | 94 | 95 |

Tabelle 4
Schwankungen des Kalkgehaltes der Feinerde bei verschiedener Korngröße

Der Kalkgehalt der einzelnen Fraktionen der Feinerde zeigt im wesentlichen den gleichen Prozentsatz. Eine gewisse Anreicherung von Kalziumkarbonat mit abnehmendem Korngrößendurchmesser macht sich allerdings bemerkbar (Tabelle 4).

Die Schwankungen im Kalkgehalt der Gesamtfeinerdeproben von verschiedenen Örtlichkeiten sind vielfach durch wechselnde Zusammensetzung des Ausgangsgesteins bedingt. Auch wird, da der Gehalt der einzelnen Fraktionen etwas wechselt, je nach ihrem Anteil an der Gesamtprobe ein verschieden hoher Prozentsatz hervorgerufen.

Die Bestimmung des Humusgehalts ergab Werte zwischen 1,1 und 3,1% (Mittelwerte aus Proben von 10 verschiedenen Aufnahmen). Das Nährsubstrat ist also fast völlig anorganischer, mineralischer Natur.

[1]) Bestimmung des Gehalts an $CaCO_3$ im PASSON-Apparat; Humusgehalt = Glühverlust (unter Berücksichtigung des Gewichtsverlustes beim Übergang von $CaCO_3$ in CaO).

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



Um den Gehalt des Substrats an für die Pflanzen lebenswichtigen Elementen festzustellen, wurden verschiedene chemische Analysen vorgenommen. Dazu wurden an mehreren Stellen der Geröllhalden am Schachengrund und unterhalb des Frauenalplkopfes (1850 m Höhe) Proben entnommen, die Feinerde herausgesiebt und alles zu einer Gesamtprobe vermischt. Die Besiedlung dieser Entnahmestellen entspricht dem Petasitetum paradoxi. Zur Analyse wurde das Material unter 0,5 mm Korngrößendurchmesser verwendet. Zur Sicherung der eigenen Ergebnisse wurden die gleichen Analysen auch in der gärtnerischen Bodenberatungsstelle an der Staatlichen Lehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau in Weihenstephan bei Freising durchgeführt. Die dort erhaltenen Ergebnisse stimmten in allen Fällen gut mit den eigenen überein. Da Kalzium, Magnesium, Eisen und Aluminium stets schon im Muttergestein in für die Pflanzen ausreichenden Mengen vorhanden sind, kamen im wesentlichen nur Analysen auf Stickstoff, Kalium und Phosphor in Betracht. Natrium und Chlor konnten qualitativ in Spuren nachgewiesen werden und Sulfat ist auf Grund des vereinzelten Vorkommens von Gips ebenfalls vorhanden.

Die Stickstoffbestimmungen wurden nach der Methode von KJELDAHL (z. T. nach der Vorschrift von ULSCH) durchgeführt. Da auch Nitratstickstoff vorhanden war, mußte vorher mit Zink bzw. Eisen in schwefelsaurer Lösung reduziert werden. Phosphor (d. h. Phosphorsäure) wurde nach der Molybdatmethode von LORENTZ als Ammoniumphosphormolybdat gefällt und gravimetrisch bestimmt. Der Kaliumgehalt wurde nach der Überchlorsäuremethode ermittelt (als Kaliumperchlorat gefällt). Zum besseren Aufschluß wurde das Analysenmaterial zuerst jeweils in Salzsäure gelöst. Es wurden folgende Durchschnittswerte der Einzelanalysen gefunden:

| | Gesamtstickstoff (N) | Gesamtkalium (K) | Gesamtphosphorsäure ($P_2O_5$) |
|---|---|---|---|
| Gewichts-% | 0,04 | 0,10 | 0,03 |

Es fällt sofort der z. T. niedrige Gehalt der Geröllfeinerde an wichtigen Nährstoffen auf. Vergleichen wir den Stickstoffgehalt mit der Beurteilungsskala für Ackerböden aus WIEGNER 1938 [1]), so sehen wir allerdings, daß unsere Kalkgeröllfeinerde doch nicht der schlechtesten

---

[1]) Stickstoffgehalt in 100 g Untersuchungsmaterial

| | |
|---|---|
| 20 mg | beschränkt anbaufähig, |
| 20— 30 mg | sehr arm, |
| 30— 60 mg | arm, |
| 60—100 mg | mäßig, |
| 100—200 mg | gut, |
| 200—300 mg | reich, |
| 300 mg | sehr reich. |

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



Güteklasse, sondern der als arm zu bezeichnenden Güteklasse entspricht. Wie auch aus dem durchaus kräftigen Wuchs der Pflanzen zu sehen ist — es wurden nie irgendwelche Erscheinungen festgestellt, die auf mangelnde Versorgung mit Nährstoffen schließen ließen — kommen die Geröllpflanzen durchwegs mit dieser Menge aus, zudem sie ja ein sehr ausgedehntes Wurzelwerk besitzen. Natürlich darf bei den Zahlenangaben nicht übersehen werden, daß es sich hierbei um die gesamten im Boden vorkommenden Mengen handelt, daß von der Pflanze jedoch nicht alles ausgenützt werden kann. In unserem Falle dürfte jedoch der Prozentsatz der von der Pflanze tatsächlich ausgenützten Nährstoffe ein sehr hoher sein, da nur äußerst wenig Stickstoff in für Phanerogamen nicht direkt verwertbarer (komplizierter organischer) Form vorliegt. Der größte Teil liegt in anorganischer Form als Nitrat (bzw. Nitrit) vor, dazu sind noch Ammoniakverbindungen vorhanden. Wegen des schon absolut geringen Prozentsatzes wurde davon abgesehen, genaue Verteilungsprozente anzugeben, die ja doch innerhalb der Fehlergrenze liegen würden. Jedenfalls zeigt sich, daß die Kalkgeröllhalden, was den Stickstoffgehalt anlangt, keine ausgesprochenen Mangelstandorte sind. Zahlen, wie sie SCHANDERL 1947 von äußerst armen Sandböden gibt, liegen mit ihren 0,007 bis 0,016% erheblich niedriger. Mit Böden unter alpinen Zwergsträuchern oder unter Rasengesellschaften läßt sich natürlich kein Vergleich anstellen. Hier liegen die Werte, wie sie LÜDI 1948 oder FREI 1944 geben, meist immer in der als sehr reich bezeichneten Klasse WIEGNERS. Allerdings haben diese Böden alle einen sehr hohen Humusgehalt (zum Teil sind es reine Alpenhumusböden), so daß von den an sich hohen Stickstoffwerten nicht auf gute Ausnutzungsmöglichkeiten geschlossen werden kann, da der Stickstoff dort zum allergrößten Teil im oder am sauren Rohhumus fest gebunden ist. Hingegen finden sich im AC-Profil eines subalpinen Humuskarbonatbodens mit *Trisetum flavescens* nach FREI 1944 Werte, die dem vorliegenden entsprechen. Im $A_2$- bzw. $A_3$-Horizont werden dort 0,05 bzw. 0,07 Gewichts-% Gesamtstickstoff gefunden, im AC-Horizont (der Übergangszone zum Muttergestein, das dort aus Dolomitschutt besteht), sogar nur 0,02%.

Der Kaliumgehalt des Kalkschuttfeinmaterials ist als durchaus ausreichend zu bezeichnen. Bei WIEGNER-PALLMANN 1938 wird eine Menge von über 0,2% $K_2O$ als gut bezeichnet. Böden, wie sie LÜDI 1948 untersucht hat, weisen zwar fast durchweg einen höheren Gehalt auf; jedoch gilt bezüglich der Ausnützbarkeit des Kaliums in diesen sauren Böden das gleiche wie beim Stickstoff.

An Phosphat hingegen sind die untersuchten Proben etwas ärmer. Die mit 0,03% bezifferte Phosphorsäuremenge ist nicht hoch, da für einen guten Boden 0,10% $P_2O_5$ als nötig angesehen werden. Es darf aber auch für diesen Nährstoff gelten, daß er hier zum allergrößten Teil

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



in für die höheren Pflanzen verwertbarer Form vorliegt und daher einen großen Ausnützungskoeffizienten hat. Die Zahlenangaben bei LÜDI 1948 weisen, wie es für gut entwickelte, humusreiche Böden zu erwarten ist, einen Prozentgehalt an $P_2O_5$ von 0,1 bis 0,3 auf.

Wie schon erörtert, stammt der Großteil des im Schutt enthaltenen Feinmaterials aus dem anstehenden Gestein selbst. Dies ist offensichtlich und wird auch durch die gegebenen Analysen ($CaCO_3$-, Humusgehalt) bestätigt. Durch Verwitterung mannigfacher Art und durch die ständig erfolgende Zerkleinerung der Gesteinsbrocken infolge Bewegung wird dauernd Feinerde geliefert. Ihre Zusammensetzung ist zunächst die eines feinen Gesteinsmehles der anstehenden Felsen. Hinzu kommen noch die durch die kryptogamen Besiedler der Felsoberfläche und der größeren Gesteinsbrocken des Trümmermeeres gelieferten Teile, die z. T. organischer Natur sind. Um einen Einblick in das Zustandekommen der oben besprochenen Stoffverteilung im Geröllfeinmaterial zu bekommen, wurden die gleichen Analysen mit den wichtigsten Feinerdeerzeugern durchgeführt. So wurden vom anstehenden Wettersteinkalk des Schachengebietes verschiedene Proben abgeschlagen und auch durch Wassertransport abgeschliffene (also immer verwitterungskrustenfreie) Geröllbrocken entnommen. Im Durchschnitt ergaben sich hierbei folgende Analysenresultate:

| | Gesamtstickstoff (N) | Gesamtkalium (K) | Gesamtphosphorsäure ($P_2O_5$) |
|---|---|---|---|
| Gewichts-% | 0,02 | 0,13 | 0,02 |

Man sieht, daß bereits recht beträchtliche Mengen dieser wichtigen Nährmineralien im Muttergestein enthalten sind. Erstaunlich ist, daß die Kaliummenge sogar höher ist als in der Feinerde des Gerölls. Dieses Ergebnis, das gegen eine Anreicherung durch die Pflanzen in ihrem Nährsubstrat spricht, kann natürlich auf örtlich größere Mengen im Muttergestein bzw. gewisse Schwankungen der Analysenwerte zurückgehen. Aber es wäre auch möglich, daß das Kalium in leicht löslichen Verbindungen vorliegt und somit durch Auswaschung rasch verloren geht. Bei der geringen Pflanzenbesiedlung des Gerölls fällt dann eben die Anreicherung durch die Pflanzen nicht ins Gewicht. Allgemein gesehen kann der Mineralstoffgehalt dieses reinen Kalkfelsens nicht überraschen. Der Wettersteinkalk ist ein Sedimentgestein, das stellenweise fossilführend ist. Somit ist es erklärlich, daß die in den abgestorbenen Lebewesen und im Meeresgrund vorhandenen Mineralsalze sich auch noch im jetzigen Gestein vorfinden. Durch die orogenen Vorgänge, die die Wettersteinkalkketten aufbauten, ist bezüglich dieser Zusammensetzung kaum eine Änderung eingetreten. In den für geologische Zwecke durchgeführten Gesteinsanalysen treten diese im Vergleich zu geologisch be-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



deutsamen Elementen nur sehr geringen Mengen nicht hervor; einige solcher Analysen von Wettersteinkalk seien angeführt, um einen Einblick in die durchschnittliche Zusammensetzung dieses für uns bedeutsamen Ausgansgesteins zu geben (Tabelle 5).

| Gewichtsprozente an | $CaCO_3$ | $MgCO_3$ | $SiO_2$ | $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wettersteinkalk vom Zugspitzengipfel | 97,40 | 1,95 | 0,10 | — | 0,05 | 0,02 |
| Wettersteinkalk von Ruine Falkenstein | 97,27 | 2,45 | — | 0,16 | — | — |
| Wettersteinkalk | 98,78 | 1,01 | 0,13 | 0,08 | — | — |

Tabelle 5

Analysen von Wettersteinkalk (nach LOSCH 1944 aus verschiedenen Arbeiten)

Zum zweiten beteiligen sich die Erd- und Humusanhäufungen von Pflanzenstandorten der Felswände usw. an dem Zustandekommen der endgültigen Zusammensetzung des Geröllfeinmaterials. In dieser Beziehung sind die Schutthalden besser gestellt als die meisten Felsstandorte; denn durch die Regenfälle wird immer wieder etwas Erde aus den Pflanzenpolstern der überstehenden Felswand abgewaschen und kommt so den Geröllhalden zugute. Während sich in Felsspalten und Vertiefungen — den einzigen Stellen, die für eine Besiedlung durch Phanerogamen in Frage kommen — im wesentlichen nur Humusanreicherungen durch die absterbenden Teile der Pflanze selbst bilden können, kommt für die Geröllstandorte in nicht geringem Maße eine solche Einschwemmung von wichtigen Bodenbestandteilen in Betracht.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist in der äolischen Zufuhr zu sehen. Ihr mengenmäßiger Anteil ist bisher vielfach nicht beachtet oder unterschätzt worden. In den Wintermonaten werden erstaunliche Mengen aller möglichen Dinge auf der Schneedecke abgelagert. Hierbei wirkt sich die gegenüber der Umgebung längere Schneebedeckung der Schutthalden günstig aus. Wenn im Frühjahr viele andere Stellen im Gelände schon schneefrei sind, wird von ihnen durch den Wind, insbesondere durch Föhnstürme viel weggeblasen, in die Höhe getragen und schließlich mit fallenden Niederschlägen auf der weichen Schneedecke, die einen ausgezeichneten Staubfänger darstellt, abgelagert. Apert dann im Frühsommer oder später der Firnschnee ab, so ist der ganze unter ihm zum Vorschein kommende Felsschutt mit einem tiefschwarzen Schlamm bedeckt. Ähnlich ist diese Erscheinung bei dem nur im Hochsommer schneefreien Schneetälchenboden zu sehen. Dieser Schmutzschlamm

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



bleibt jedoch nicht lange liegen, sondern wird bald durch den Regen ins Geröll hineingespült und ist für den Betrachter verschwunden. Untersucht man Firnablagerungen im Frühsommer, so findet man meistens eine direkte Schmutzbänderung, die aus mannigfaltigen Resten besteht. Hauptsächlich sind die Bestandteile organischer Natur; es finden sich Blatt-, Stengel- und Zweigreste, mitunter kleine Rasenstückchen, Bruchstücke von Moosen und Flechten; auch tierischer Detritus ist häufig vorhanden. Dazwischen liegen kleinere und größere Gesteinsbröckchen, die von den Wänden herab auf den Schnee gefallen sind. Diese gröberen Bestandteile sind eingehüllt von einer äußerst feinen, im trockenen Zustande mehlig-schwarzen Schlammasse, die aus Flugstaub und schon feinst verwesten Teilchen besteht. Die Menge dieser Schneeinlagerungen wechselt stark; genaue allgemeine Zahlen lassen sich kaum geben. Auffällig ist ein starker Verwesungs- und Fäulnisgeruch des frischen Schlammbreies. Bei warmer Lagerung läßt sich auch eine geringe Gasentwicklung feststellen. Das Gas besteht zum größten Teil aus Ammoniak. Auch in schon sehr verdünnten Schlammaufschwemmungen war mit Neßler Reagens eine kräftige Fällung zu erreichen. Es findet eben auch bei den niedrigen Temperaturen im Schnee eine allmähliche Verwesung des Organischen statt, die natürlich bei günstigen Temperaturen mit größerer Intensität abläuft. Im übrigen ist für die Zeit, die das Material auf der Schneedecke lagert, kein allgemeiner Stillstand der Abbauvorgänge anzunehmen. Die rasch schwarz werdende Farbe dieser absterbenden Teile ist wohl auf kräftige Oxydationsvorgänge zurückzuführen, die durch die starke Strahlung auf der Schneedecke begünstigt werden.

Wegen der großen Bedeutung dieses Schneesedimentes war es von Interesse, genaue Zahlenangaben über seine Zusammensetzung zu erhalten. Für die Untersuchungen wurden nur Proben unter 0,5 mm Korngröße verwendet, um alle gröberen Bestandteile auszuschließen, deren Mitverwertung nur zu einer starken Schwankung der Ergebnisse geführt hätte. Der Humusgehalt (= Glühverlust) lag zwischen 23 und 25%. Der Glührückstand hatte eine Farbe, die von hell-ocker bis graubraun wechselte, zeigt also einen gewissen Eisengehalt an. Bei Mitberücksichtigung des Grobmaterials ergeben sich natürlich höhere Werte; so spricht SCHROETER 1926 von bis zu 65% organischen Bestandteilen dieser Schneeablagerungen. Auch Humus in kolloidaler Form ist vorhanden (Extraktion mit Ammoniak nach LÜDI 1948). Allerdings ist seine Menge nicht groß; die Humifizierung ist also noch nicht weit fortgeschritten. Der Kalkgehalt der unter 0,5 mm großen Proben schwankt zwischen 38 und 50%. Er beträgt im Durchschnitt 46% $CaCO_3$. In Analysen, die auch Material $< 1$ mm berücksichtigen, liegt der Kalkgehalt zwischen 46 und 57%. Er fällt deshalb höher aus, weil die feinen Kalkgesteins-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



bröckchen in dieser Fraktion bereits einen größeren Anteil ausmachen. Auf den ersten Blick erscheinen diese Kalkmengen hoch; sie werden aber verständlich, wenn man bedenkt, daß der niedergeschlagene Flugstaub in den Kalkalpen zum Großteil aus Kalk besteht. Zum Vergleich können nur Zahlen aus der Arbeit von BRAUN-BLANQUET und JENNY 1926 herangezogen werden; es ist dies die einzige vegetationskundliche Arbeit, in der die große Bedeutung dieser äolischen Sedimentation auch zahlenmäßig belegt wird. Der Kalkgehalt des dort in Regentotalisatoren aufgefangenen Flugstaubs beträgt 16,5 bzw. 37%, liegt also ziemlich unter unseren Ergebnissen, obwohl es sich auch dort um Gelände aus Kalkgestein handelt.

Die in diesem Schneedünger enthaltenen Nährstoffe sind:

| | Gesamtstickstoff (N) | Gesamtkalium (K) | Gesamtphosphorsäure ($P_2O_5$) |
|---|---|---|---|
| Gewichts-% | 1,72 | 0,20 | 0,11 |

Die hohen Werte aller drei Bestandteile berechtigen tatsächlich zu der Bezeichnung Schneedünger. Besonders beachtlich ist der sehr hohe Stickstoffgehalt. Zudem handelt es sich um nicht zu unterschätzende Mengen, die alljährlich abgelagert werden. Ist doch zur Aperzeit der Boden vielfach einige Millimeter bis Zentimeter dick mit diesem Schlamm bedeckt. BRAUN-BLANQUET und JENNY 1926 haben bei ihren Untersuchungen sogar 1,40—1,85 kg jährlichen Flugstaubniederschlag pro Quadratmeter festgestellt!

Zu diesen winterlichen Ablagerungen kommt an manchen Stellen eine bemerkenswerte Düngung durch Schafe und Gemsen. Hauptsächlich Lagerplätze und häufig begangene Wechsel, die sich auch auf Schuttfeldern finden, werden so unmittelbar mit tierischen Exkrementen gedüngt. Sie stellen eine örtliche Bereicherung der Nährstoffe dar und bestimmen an entsprechenden Orten maßgeblich die Zusammensetzung der Schuttfeinerde.

### 3. Mikrobiologische Untersuchungen

Da quantitativ-bakteriologische Untersuchungen der Böden solch abgelegener Standorte mit ziemlicher Ungenauigkeit behaftet sind, wurden nur Versuche zur Feststellung freilebender, stickstoffbindender Bakterien unternommen. Besonders wurden Abimpfungen auf für *Azotobacter chroococcum* geeignete Nährböden vorgenommen.

Es wurde hierfür ein fester Nährboden auf Agar-Agar-Grundlage mit folgender Zusammensetzung verwendet:

| | |
|---|---|
| 1000 ccm Leitungswasser | 0,2 g $MgSO_4$ |
| 20 g Mannit | 5 g $CaCo_3$ |
| 0,2 g $K_2HPO_4$ | 15 g Agar-Agar. |

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



Dieser Nährboden wurde unter den üblichen Kautelen in Proberöhrchen abgefüllt, diese zweimal sterilisiert und dann zur Abimpfung an Ort und Stelle im Schachengebiet verwendet.

Einmal wurden die Proberöhrchen erwärmt und in sterile Petrischalen ausgegossen; auf die erstarrte dünne Nährbodenschicht wurden dann frisch vom Standort entnommene und kurz mit sterilem Wasser abgewaschene Wurzeln und feines Wurzelwerk ausgelegt. Auf diese Weise war den im engeren Wurzelbereich festhaftenden Lebewesen Gelegenheit gegeben, auf den Nährboden überzugehen und Kolonien zu bilden. Von folgenden Arten wurden (mindestens je drei) Abimpfungen gemacht: *Papaver Sendtneri, Rumex scutatus, Silene alpina, Moehringia ciliata, Viola biflora* und *Thlaspi rotundifolium*. Die Standorte waren im Kar unterhalb Frauenalplspitze und Frauenalplkopf, am Schachengrund (1870 m Höhe) und im Gamskar unterhalb der Dreitorspitzwand (2350 m) gelegen. Besiedlung der Entnahmestellen: Petasitetum paradoxi, bzw. Thlaspeetum rotundifolii.

Bei einer zweiten Versuchsreihe wurde die Feinerde aus dem Wurzelbereich der Pflanzen entnommen, in sterilem Wasser im Verhältnis 1 g Boden : 10 ccm Wasser aufgeschwemmt und eine Stunde stehen gelassen. Einige Tropfen dieser Aufschwemmung ($^1/_{10}$—$^3/_{10}$ ccm) wurden in gerade noch flüssigen, handwarmen Nährboden abpipettiert, das Ganze gut durch Drehen durchmischt und in sterile Petrischalen ausgegossen. Sowohl von unbesiedeltem Schutt wie auch aus dem Wurzelbereich von *Papaver Sendtneri, Rumex scutatus, Silene alpina, Moehringia ciliata, Viola biflora* und *Thlaspi rotundifolium* wurden Abimpfungen vorgenommen.

Schließlich wurde noch auf Nährboden in Petrischalen Schuttfeinerde verschiedener Standorte gesiebt oder in dünner Schicht darübergebröckelt.

Die gesamten Petrischalen kamen nach einigen Tagen nach München ins Botanische Institut und wurden dort im Brutschrank bei geeigneter Temperatur (27 bis 30°) aufbewahrt. Die auftretenden Kolonien wurden entweder direkt untersucht oder es wurden von verdächtigen Stellen Ausstrichpräparate nach Färbung mit Methylenblau mikroskopiert. Es konnten jedoch auch nach einer mehrere Wochen andauernden Bebrütungszeit weder die für *Azotobacter* typischen Kolonien noch *Azotobacter* im Mikroskop beobachtet werden. Eine nähere Bestimmung anderer aufgetretener Kolonien war nicht möglich.

Es kann hieraus noch nicht unbedingt auf das Fehlen von frei lebenden, aëroben, stickstoffbindenden Bakterien wie *Azotobacter chroococcum* geschlossen werden; auf Grund eines negativen Befundes kann ja in der Bakteriologie das Fehlen nicht als bewiesen gelten. Jedoch bleibt zu bedenken, daß Kontrollversuche, die mit Münchner Gartenerde, die

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



mit *Azotobacter* geimpft war, durchgeführt wurden, auf dem gleichen Nährboden und nach denselben Methoden in allen Fällen positive Ergebnisse lieferten. Die Untersuchungsmethodik dürfte somit geeignet gewesen sein, um etwaiges Vorkommen sicher festzustellen. Es ist daher schon anzunehmen, daß sich *Azotobacter* in diesen alpinen Kalkschuttfluren des Untersuchungsgebietes nicht findet. An der $p_H$-Reaktion des Bodens kann dies indes nicht liegen, denn *Azotobacter* gedeiht bei neutraler bis alkalischer Reaktion sehr gut.

Auch in den Untersuchungen von DÜGGELI 1925, die sich mit dem Bakteriengehalt zentralalpiner Böden beschäftigen, wurden in keiner der Proben, die aus alpinen Rasen (mit *Carex curvula*, aber auch *Festuca violacea* oder *Leontopodium alpinum*) oder spärlichen Vegetationsvorposten (*Dryas octopetala, Salix reticulata* oder *Sesleria disticha*) stammten, aërobe stickstoffbindende Bakterien nachgewiesen. Die Reaktion der von DÜGGELI untersuchten Böden war schwach sauer oder neutral; auch kalkhaltige Proben (*Dryas octopetala*!), die unseren Verhältnissen nahekommen, enthielten keine Bakterien dieser Gruppe. Lediglich in landwirtschaftlich genutzten Böden der tieferen Lagen waren solche vertreten. Diese Ergebnisse von DÜGGELI decken sich also mit vorliegenden Befunden und zeigen, daß ein Stickstoffzuschuß von dieser Seite wohl nicht in Frage kommt.

Was andere bakterielle Vorgänge anlangt, so dürften sie, wie zum Beispiel der bakterielle Abbau von organischer Substanz, Fäulnis oder ähnliches, zwar weniger intensiv ablaufen, aber doch jedenfalls stattfinden. Wie die weiter oben erwähnten Befunde zeigen, kann der Abbau durchaus bis zur Ammonifikation gehen. Zudem ist eine alkalische Reaktion des Substrats für das Bakterienwachstum an und für sich günstig.

Erwähnt seien noch Befunde, die bei der mikroskopischen Untersuchung des Wurzelwerkes verschiedener Geröllpflanzen gemacht wurden. Es wurden bei *Viola biflora, Silene alpina, Sedum atratum, Doronicum grandiflorum, Hutchinsia alpina* und anderen Schuttpflanzen dünne Myzelfäden von brauner bis durchscheinend hellgelber Farbe entdeckt, die den Wurzeln teilweise außen lose anlagen. Die dickeren, älteren Teile waren dunkler gefärbt, die jüngsten Verzweigungen ziemlich hell. Vielfach waren lange Teile querwandlos, in der Regel fanden sich aber senkrecht zur Längswand stehende, dünne Querwände. Die Myzelien waren sowohl unmittelbar unter der Bodenoberfläche wie auch noch in 10 bis 20 cm Tiefe vorhanden. Zumeist durchzogen sie in mehr oder weniger starker Verflechtung das Wurzelwerk der höheren Pflanzen. Da der Verdacht auf etwaige Mykorrhizabildungen bestand, wurden die Wurzeln genau (auch an Hand von Schnitten) auf derartige Symbioseerscheinungen untersucht. Bei keiner der Pflanzen konnte aber das Vorkommen einer solchen Verpilzung nachgewiesen werden. Es handelte sich immer nur um

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



ein rein äußerliches Durcheinanderschlingen der Myzelfäden und der Pflanzenwurzeln; niemals wurde ein Eindringen in die Wurzeln oder ein Myzelfilz um die Wurzel, der eine ektotrophe Mykorrhiza vermuten ließe, beobachtet. Was die systematische Stellung anlangt, so dürfte es sich um Basidiomyceten-Myzelfäden (wahrscheinlich Holobasidiomyceten) handeln. Denn in einigen wenigen Fällen konnten die ersten Entwicklungsstadien der Schnallenbildung an den Fäden festgestellt werden; Basidienbildung wurde nicht gesehen. Die Annahme, daß es sich um ein Basidiomyceten-Myzel handelt, wird durch die Auffindung von gleich aussehenden Myzelfäden bei *Dryas octopetala*, bei der nach SCHROETER 1926 eine ektotrophe Basidiomyceten-Mykorrhiza festgestellt wurde, gestützt. Mykorrhizabildungen bei den untersuchten Schuttpflanzen kommen aber jedenfalls nicht vor.

Ebensowenig wurden irgendwelche Bakterienknöllchen an den Wurzeln gefunden. Papilionaceen der Rasengesellschaften gleicher Höhenlage, wie *Lotus corniculatus* oder *Anthyllis vulneraria* var. *alpestris* hatten jedoch die normalen braunrosa bis braun gefärbten Knöllchen von wechselnder Größe an den Wurzeln. (Interessanterweise sind unter den Arten der Schuttgesellschaften keine Leguminosen vertreten!)

Noch eine zweite Gruppe von Fäden fand sich ab und zu im nur einige Zentimeter unter der Erdoberfläche befindlichen Wurzelwerk von *Sedum atratum, Hutchinsia alpina, Arabis alpina* und anderen Arten. Diese dünnen Fäden waren meist von schwach gelbgrüner bis grünlicher Farbe und trugen ebenso gefärbte kugelig-runde „Knospen". Zum Teil waren die Fäden auch braun gefärbt. Stets waren sie durch schief zur Längswand gestellte Querwände gut abgeteilt und reich verzweigt. Auf Grund der schiefen Querwände und der deutlichen Zweiteilung in chlorophyllhaltige und braune Teile ohne Chlorophyll sind sie zweifellos als Protonemata von Laubmoosen anzusprechen. Die rundlichen Knospen deuten ebenfalls darauf hin.

## Zusammenfassung

Als Ergänzung zu bereits vorliegenden ökologisch-soziologischen Studien über den Lebenshaushalt von Kalkfelsschuttstandorten in den Alpen wurden im Wettersteingebirge (Bayrische Kalkalpen) Untersuchungen über einige bislang nicht behandelte Fragen durchgeführt.

Bestimmungen der Korngrößenverteilung von Kalkgeröllfeinmaterial ergaben zusammen mit Wasserkapazitätsuntersuchungen, daß der Wasserhaushalt von Kalkgeröllhalden am ehesten mit dem von groben Sandböden zu vergleichen ist. Infolge der reichlichen Wasserversorgung und des großen Verdunstungsschutzes gestalten sich die Verhältnisse jedoch trotzdem günstig.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



Die Frage nach der Entstehung und Zusammensetzung des Feinschuttes, der das ausschlaggebende Nährsubstrat für die höheren Pflanzen darstellt, konnte dahingehend beantwortet werden, daß er naturgemäß überwiegend aus Kalkkarbonat besteht und durchaus genügende Mengen aller wichtigen Nährstoffe darbietet. Einmal enthält schon das Ausgangsmaterial, von dem ebenfalls Analysen gegeben werden, ausreichende Mengen, vor allem findet zum anderen aber auf den Schutthalden eine in ihrem Ausmaße und ihrer Bedeutung bisher meist unterschätzte Einschwemmung und Auflagerung von organischen Stoffen statt, die die chemischen Bodenverhältnisse dieser Standorte überaus günstig beeinflußt. Analysen dieses besonders beim Wegschmelzen des Schnees sichtbar werdenden „Düngeschlammes" zeigen seinen hohen Nährstoffgehalt.

Untersuchungen über das Vorkommen von stickstoffbindenden Bakterien ergaben durchweg negative Befunde. Hingegen wurden in der Wurzelzone der Schuttpflanzen teilweise Basidiomyzeten-Myzelien (jedoch keine Mykorrhiza!) und Protonemata von Laubmoosen festgestellt.

## Schrifttum


AICHINGER E. 1933. Vegetationskunde der Karawanken. Pflanzensoziologie, 2. Jena.

BRAUN-BLANQUET J. und JENNY H. 1926. Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. Denkschr. Schweiz. naturf. Ges. 63 (2).

DÜGGELI M. 1925. Studien über die Bakterienflora alpiner Böden. Veröff. geobot. Inst. RÜBEL Zürich 3: 204. (Festschrift Carl SCHRÖTER.)

FREI E. 1944. Morphologische, chemische und kolloidchemische Untersuchungen subalpiner Weide- und Waldböden der Rendzina- und der Podsolserie. Ber. Schweiz. bot. Ges. 54: 267.

GAMS H. 1942. Pflanzengesellschaften der Alpen. III. Die Besiedlung des Felsschutts. Jahrb. Ver. Schutz Alpenpfl. u. Tiere 14: 16.

JENNY-LIPS H. 1930. Vegetationsbedingungen und Pflanzengesellschaften auf Felsschutt. Beih. bot. Zbl. II, 46: 119.

KRAUSS G. 1925. Die Vervollkommnung des Spül- und Sedimentationsverfahrens. Der Kulturtechniker, 28 (1).

LOSCH I. 1944. Alpenpflanzen und Gesteinsunterlage in den Bayerischen Alpen. Diss. Naturw. Fak. Univ. München.

LÜDI W. 1928. Der Assoziationsbegriff in der Pflanzensoziologie, erläutert am Beispiel der Pflanzengesellschaften des Tanzbodengebietes im Lauterbrunnental. Bibl. bot. 96 (1).

— 1948. Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt. Veröff. geobot. Inst. RÜBEL, Zürich, 23.

PISEK A., SOHM H. und CARTELLIERI E. 1935. Untersuchungen über den osmotischen Wert und Wassergehalt von Pflanzen und Pflanzengesellschaften der alpinen Stufe. Beih. bot. Zbl./B, 52: 634.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



PIWOWAR A. 1903. Über die Maximalböschung trockener Schuttkegel und Schutthalden. Diss. Univ. Zürich.

QUARLES v. UFFORD L. H. 1909. Etude écologique de la flore des pierres. Lausanne.

RÜBEL E. 1912. Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. ENGLERS bot. Jb. 47: 1.

SCHANDERL H. 1947. Botanische Bakteriologie und Stickstoffhaushalt der Pflanzen auf neuer Grundlage. Stuttgart.

SCHROETER C. 1926. Das Pflanzenleben der Alpen. 2. Aufl. Zürich.

WIEGNER G. 1929. Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung. 5. Aufl. Dresden—Leipzig.

— und PALLMANN H. 1938. Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum. 2. Aufl. Berlin.

ZÖTTL H. 1951 a. Die Vegetationsentwicklung auf Felsschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. Jahrb. Ver. Schutz Alpenfl. u. -tiere, 16: 10.

— 1951 b. Experimentelle Untersuchungen über die Ausbreitungsfähigkeit alpiner Pflanzen. Phyton, 3 (1—2): 121.

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1952

Band/Volume: 4_1_3

Autor(en)/Author(s): Zöttl Heinz

Artikel/Article: Beitrag zur Ökologie alpiner Kalkschuttstandorte. 160-175