

Ueber die Erosion der Pflanzen in den Kalkgebirgen.

Dr. Max Eckert, Universität Leipzig.

Die Felsarten sind die Mütter aller Bodenarten und sind durch ihre chemischen Bestandteile die Spenderinnen aller mineralischen Pflanzennahrung. Fels und Pflanze drücken ein enges und eigenartiges Verhältnis zu einander aus. Wer das Verhalten der Gesteine zu der Pflanzenwelt gründlich kennen lernen will, muss selbst andauernd im Haushalte der Natur beobachten. Nur zahlreiche Beobachtungen lassen den Verwandlungsprozess der Felsarten in Erdschutt erkennen und die mannigfaltigen Einwirkungen des Pflanzenreichs auf die Fortbildung, Verbesserung und zuletzt auch Verschlechterung des Erdbodens. Die Thätigkeit, die auf die Zerstörung des Festen auf der Erde hinausgeht, heisst in der physikalischen Geographie Erosion, insofern man darunter den vereinigten Einfluss einer rein mechanischen Wirkung, d. h. einzig aus der Schwere hervorgehenden, und einer chemischen oder molekularen zu verstehen hat; dabei kann eine Wirkung auf Kosten der andern grösser oder kleiner sein. So lehren uns die Erosionsformen des Felsenschuttes, mehr die mechanische Zertrümmerung für ihre Bildung ins Auge zu fassen; diejenigen aber des Erdschuttes oder Erdbodens weisen neben der mechanischen Verwitterung des Gesteinsschuttes mehr auf dessen chemische Zersetzung hin. Durch alle diese Vorgänge werden den Pflanzen Lagerungsgebäude und Magazine für ihre Existenzen geschaffen. Sie begnügen sich aber nicht blos damit, die ihnen dargebotenen Bodengebäude zu bewohnen, sondern legen selbst Hand an, sich ein solches zu bauen.

Der innere Bau der Erdrinde und die Einwirkung der Atmosphäre auf sie sind die grossen Faktoren, die das Antlitz der Erde

formen. Zu ihnen gesellen sich die Wirkungen des organischen Lebens. Gewiss hat man diese Faktoren tüchtig studiert, aber in gar vielen Hauptpunkten gehen die Ansichten noch auseinander; darum ist es heute am Platze, eine Einzelercheinung möglichst vollständig und möglichst tief zu durchforschen, um einen Baustein zur Lösung der grossen Grundfragen, mit denen sich die physikalische Geographie der Gebirge beschäftigt, zu liefern. So ist in den Verwitterungsformen der Kalkgebirge der Detailforschung ein weites Feld geöffnet, und das genaue Studium dieser Erscheinungen wirft interessante Lichtstrahlen auf die Erosionsthätigkeit des Wassers, der mechanischen und chemischen Verwitterungsvorgänge, der Pflanzen und ihrer Zersetzungs-Produkte, der Säuren, die im Humusboden wirken, deren Ursprung zum grössten Teile der Pflanze zuzuerkennen ist. Wohl kennt man die Pflanze auch als Erosionskraft, erwähnt sie auch gelegentlich in der Eigenschaft als solche, — erwähnt sie aber nur, ohne sich wirklich über diesen Verwitterungsfaktor grössere Rechenschaft zu geben, ohne seinem auf das Grosse und Gewaltige hinizielenden Wirken tiefer nachzudenken.

Wenn am Kopfe dieser Zeilen steht: „Ueber die Pflanzenerosion in den Kalkgebirgen“, so soll damit nicht gesagt werden, dass die hier näher behandelte erodierende Wirkung der Pflanzen nur den Kalkgebirgen eigentümlich ist, im Gegenteil, jeder aufmerksame Naturbeobachter wird finden, dass die hier entwickelten Grundsätze auch auf Gebirge anderer Formation passen. Das Kalkgebirge, besonders die Kalkalpen hat sich der Verfasser gewählt, weil er diese in vielen Streifzügen kennen gelernt hat und da neben anderem auf die Wirkungerscheinungen der Pflanzen und ihrer Zersetzungsprodukte achtete. — Von den eroberungssüchtigen Zügen des Pflanzenreiches auf der Erdoberfläche bleiben auch die Kalkfelsen nicht verschont. Selbst auf scheinbar frischen Felsflächen bilden sich Pflanzenkolonien, Pflanzenstaaten, sobald jene nur einige Zeit von Feuchtigkeitswellen der Atmosphäre umspült werden.

Die Pflanze bürgt in sich eine mechanische wie chemische Kraft. Die mechanische offenbart sie sowohl als Landbeschützerin wie als

Landzerstörerin. Sie schützt das Land gegen die Fluten des Wassers und des Windes. Am Fusse von Felsmeeren, so an Schutt-Ablagerungen senden sie ihre Wurzeln in die herabgespülte Erdkruste. Auf solche Weise wird das Geröllmeer immer mehr von ihr eingenommen, zugleich dem Menschen den Weg zeigend, den er einschlagen muss, um die Bewaldung der kahlen Berge wieder herbeizuführen. In den Gebirgen, besonders in ihren höheren Regionen kommt die schützende Thätigkeit der Pflanzen weniger zur Geltung als die zerstörende, überhaupt kann allgemein hin behauptet werden, dass letztere eine viel grössere und reichgestaltigere ist denn die erste. Alle Pflanzen, ob Flechte, ob Alge, ob Moos, ob Blütenpflanze, ob Strauch oder Baum, üben eine mechanische Kraft auf das Gestein aus. Für die Herausbildung vieler Erosionsformen im Hochgebirge ist die mechanische Kraftleistung der kleinsten Pflänzchen von Bedeutung. Die winzigen Hyphenfäden der Krustenflechten dringen in die feinen Ritze des Kalksteins ein. Sie durchwuchern die Kalksteinoberfläche; diese wird dabei durch den obwaltenden seitlichen Druck zersprengt und gelockert. Fernerhin werden die gesprengten Kalksteinteilchen abgehoben, indem die Hyphenfäden gleich Hebeln wirken. Bei scharfem Hinschauen beobachtet man, dass dort, wo die Lichenen am kräftigsten wachsen, sich ganz winzige, lose Teilchen des Kalksteins vorfinden, die entweder durch den Wind als Staub oder vom Regenwasser aufgelöst oder als Reibeteilchen entführt werden. Welche Summe von Kraft in der Pflanzenwurzel aufgespeichert ist, zeigen die interessanten Messungen W. Pfeffers, der in seiner Abhandlung „Druck- und Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen“ (des XX. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften No. III 1893) durch zahlreiche Experimente den Längsdruck, Querdruck, den zeitlichen Verlauf der Druckentwicklung und a. m. in den Wurzeln durch bestimmte Zahlen, die kaum das blosse Beobachten draussen in der Natur ahnen lässt, fixiert hat.

Eine starke mechanische Thätigkeit entfalten die Rhizoiden der Moose, die ebenfalls zahlreich in den Kalkgebirgen vertreten sind. Grössere Pflanzen können durch die Sprengungskraft ihrer Wurzeln

den Kalkstein so bearbeiten, dass er mitunter in plattenförmige und würfelige Massen abgesondert wird. Die zersprengende Kraft der Wurzel erhöht sich noch bei ihrem Absterben, indem ihre Thätigkeit, Wasser aufzunehmen, bei ihrem Verwesungsprozess beträchtlich verstärkt wird.

Weit erfolgreicher als die mechanische Kraftleistung der Pflanzen spielt in dem Verwitterungsprozess des Kalkgebirges die chemische die Rolle. Die Lichenen sind sämtlich Luftpflanzen; von allen Pflanzen sind sie am meisten auf das atmosphärische Wasser angewiesen und können innerhalb einer Woche mehr denn 50% Wasser ihres Volumens aus der Atmosphäre aufnehmen, flüssiges Wasser in noch kürzerem Zeitraume. Dies Aufnehmen geschieht besonders reichlich im Frühling und Herbst, während in trockener Jahreszeit die Flechten ihr Wasser verlieren; darum werden sie mit unter die hygroskopischen Pflanzen gerechnet.

Auf und an den emporstarrenden Kalkfelsen beobachtet man feine Grübchen. Diese können unmöglich durch auffallende Regentropfen oder Schnee allein entstanden sein, sondern vor allem durch die Flechten. Jedes Grübchen entspricht der Grösse einer Flechte. Diese hat den Kalkstein ausgenagt oder besser gesagt: angeätzt. Die Grübchenbildung lässt sich so erklären: Die Hyphen scheiden Kohlensäure aus, die den kohlensauren Kalk auflöst und in doppelkohlensauren Kalk umwandelt. Letzteres Verwandlungsprodukt ist in Wasser löslich; ein Teil davon dient der Lichene als Nahrung, der andere wird durch das Regenwasser in tiefere Regionen transportiert. Die chemische Thätigkeit der Lichenen ist eng mit der mechanischen verknüpft. Die gleichen Vorgänge lassen sich wie auf dem Kalkstein auch auf dem Dolomit wahrnehmen. Die Lichenen sind eben weithin ausgebreitet. Sie bilden ein förmliches Gekruste auf der Oberfläche des Kalksteins oder Dolomits.

Die Mannigfaltigkeit der Wirkungsweise der Flechten wächst dadurch, dass sie den Kalkstein in einen guten Wärmestrahler umwandeln. Allgemein ist bekannt, dass sich ein Gestein von festem, gleichmässigem Gefüge und heller Farbe sehr langsam erwärmt und

sehr langsam seine Wärme wieder abgibt, dass sich infolgedessen der Gesteinskörper bei steigender Wärme gleichmässig ausdehnt und bei fallender gleichmässig zusammenzieht; eine weitere Folge davon ist wieder, dass an der Oberfläche keine Risse entstehen, wenigstens ganz selten. Ein solcher Gesteinskörper ist nun der reine Kalkstein mit seinem dichten Gefüge und seiner lichten Farbe. So würde es denn geschehen, dass die Kalksteinfelsen Jahrtausende länger dem Wärmewechsel trotzen könnten, und die Dunstwellen der Atmosphäre, die die Kalksteinriffe und -Klippen umspülen, würden keine genügenden Haftpunkte an den Felsmauern finden.

Was nun das Riesenheer der Atmosphäriken kaum vermag, das bringen die kleinsten aller Zwerge im Haushalte der Natur zu wege, deren Aufgabe ist, die Gesteine anzuätzen, zu zerkrümeln und Bedingungen für die Existenz höherer Organismen zu schaffen. Indem die Lichenen kleine Grübchen an den Kalksteinwänden herausarbeiten, wird die einst glatte Oberfläche in eine rauhe umgewandelt, also aus dem Kalkstein ein guter Wärmestrahler gemacht. Die Fähigkeit eines besseren Wärmestrahlers erhöht sich noch dadurch, dass durch die Lichenen das Grauweiss des Kalksteins durch eine andere Färbung ersetzt wird. Hervortretend ist ein Schwarzgrau, untermischt mit Grün, Roth, Braun, Gelb und Blau, das dem Kalkfelsen die eigentümliche Färbung — ein Marmor- und Sprenkelmuster — verleiht. Von nahem sieht es aus, als ob bunter Staub an die Felsen angeweht sei, der aber so fest haftet, dass es einem kaum gelingt, ihn mit dem Messer von dem Kalkstein abzuheben. — Weil nun der Kalkstein durch all diese Wirkungen in einen bessern Wärmeleiter umgewandelt ist, wird er sich am Tage leichter erwärmen und des Nachts schneller abkühlen, wird demnach eher sprüchtig und rissig werden; mithin werden auf diese Weise die Verwitterungsvorgänge in den Kalkgebirgen beschleunigt.

Die Flechten sind sehr abhängig von den Feuchtigkeits- und Beleuchtungsverhältnissen; wo diese am besten vereint sind, ist zugleich die Daseinsbedingung der Lichenen eine der günstigsten. Darum gedeihen sie am üppigsten auf der Wetterseite der Kalkfelsen. Selbst

eine einzelne, senkrecht stehende Kalksteinplatte kann uns davon überzeugen.

Während sie nach dem Firste zu und auf diesem am reichsten von den Flechten angeätzt ist, ist diese Fähigkeit nach der Tiefe zu eine geringere und die Kalksteinoberfläche dann vielfach nicht so rauh wie die am Grat sich hinziehende; die Wetterseite kann unter Umständen, so wenn sie den Unbilden der Witterung in ihrer ganzen Ausdehnung preisgegeben ist, bis zur Basis der Kalksteinplatte rauh sein, d. h. bis zu der Grenze, an der der Kalkstein aus dem Humus, dem Boden anstehend wird. All diese Betrachtungen ergeben, dass die Flechten im Haushalte der Natur von nicht zu unterschätzender Bedeutung sind. Ihre Hauptaufgabe ist, dafür zu sorgen, dass die Erdoberfläche urbar werde. Ihre Modifikationseinflüsse für die Verwitterungsformen des Kalksteins lassen sich dahin zusammenfassen, dass sie den Kalkstein sehr lange feucht halten, dass sie Kohlensäure zur Zersetzung des Kalksteins ausscheiden, dass sie durch die Minierarbeit ihrer Hyphenfäden die Oberfläche des Kalksteins zersprengen, und dass sie den Kalkstein in einen guten Wärmestrahler umwandeln.

In die Kalksteingebirge dringt eine grosse Anzahl von Lichenen vor, wie *Parmelia*, *Gyalolechia*, *Aspicilia*, *Hymenelia*, *Biatora*, *Siegertia*, *Lecidea*, *Opegrapha*, *Verrucaria*, *Synechoblastus*, *Umbilicaria* u. a. m., also die Familien der Schurf- oder Krätzflechten, der Blatter-, Krusten-, Wandflechten u. s. w.

Bei einer Wanderung durch die Kalkgebirge treten einem am wenigsten die Algen entgegen. Infolge ihrer Lebensbedingungen sind sie in den höheren Regionen spärlicher vertreten und beteiligen sich nur schwer, selten an dem Verwitterungsprozess des Kalksteins; umso reger ist daran die Beteiligung der Moose. Da sie eine ganz ähnliche Wirkung wie die Flechten haben, können wir uns betreffs dieses Punktes kurz fassen. Entfernt man ein Moospolster von seiner Unterlage, so sieht man deutlich, wie diese angegriffen und mitunter etwas ausgehöhlt ist. Die flache Höhlung kann mit der Zeit sich zu einem Loche vertiefen, das zuweilen einige cm tief in den Felsen wie eing bohrt erscheint.

In Verbindung mit der Huminsäure besteht im wesentlichen die Hauptaufgabe der Moospolster darin, das Gestein aus- und abzurunden. Dies konnten wir vorzüglich bei eingehenderen Untersuchungen von Karrenfeldern, jenen eigentümlichen Kalksteinoberflächenerscheinungen wie auf der Silbern in der Schweiz, auf dem Hohen Ifen, dem Steinernen Meer, dem Dachstein u. a. m. studieren, und wir selber haben bei strengster Achtgebung nicht eine gut ausgearbeitete Karrenrinne, d. h. Kalksteinrinne gefunden — und mochte ein solch Karrenfeld beim ersten Anblick noch so öde und wüst erscheinen —, wo nicht Humus und Moos zerstreut oder meistens ganz den Boden der Rinne bedeckend sich darbot. Es ist wie gesagt der grösste Irrtum, zu glauben, dass ein Karrenfeld nichts als eine trostlose, vegetationsbefreite Steinwüste sei; der Humus und die Pflanzenbedeckung sind hier wie kaum wo anders für eine Formenmodellierung mit massgebend. Selbst bei einer Zersplitterung des Kalksteins in wagerechte Platten finden sich Humusansammlungen und Moospolster tief versteckt, oft kaum sichtbar im Hintergrunde der horizontalen Spalten und Klüfte.

Jedes Moospolster gleicht einem Schwamme, der sehr viel Wasser aufnimmt, lange behält und ganz langsam wieder abgibt. Die Moospolster erlangen in der Tiefe ihre grösste Dichtigkeit, also auf dem Boden der Kalksteinfurche oder Spalte; nimmt's da Wunder, wenn in der Tiefe die meiste Feuchtigkeit festgehalten wird. Darum hier die grösste Abfressung, darum öfter die Abrundung der Furchenboden, darum die nicht seltene Erscheinung, dass die Risse, die die Kalkstein-Platten von einander trennen, in der Tiefe kommunizieren. Die Kalksteinplatten können manchmal von auffällig schnell wechselnder Stärke sein; oft werden Stellen derselben so dünn, dass sie durchbrechen und rundlichte Löcher zeigen.

Die vortreffliche Eigenschaft des Moores, die Feuchtigkeit fest zu halten, lässt sich nach einem Schneefall gut beobachten. Eine horizontale Kalksteinoberfläche z. B., die an irgend einem Ritz oder in einer flachen Aushöhlung ein Moospolster sitzen hat und daneben vielleicht eine solche Aushöhlung, wo sich kein Moospolster befindet,

ist beschneit worden. Die Sonne leckt den Schnee bald weg, erst auf den erhöhten Teilen des Kalksteins, dann in der Aushöhlung und auf dem Moospolster. Richten wir nur unser Augenmerk auf die flache Höhlung mit Moos und die ohne Moos. Der Schnee der letztern kann schon nach ein paar Stunden verdunstet sein, ohne jegliche Feuchtigkeitsspuren auf dem Kalkstein zu hinterlassen. Hat der Schnee längere Zeit gelegen und ist mehr kompakter geworden, so trocknet — wie paradox diese Ausdrucksweise für den Schnee klingen mag, so bezeichnet sie doch den Vorgang am besten — der Schnee förmlich zusammen, hauptsächlich von der Seite her, wo er das Gestein nicht mehr mit Feuchtigkeit benetzt. Das kann leicht an jedem Firnflecke beobachtet werden, dass das Gestein unter dem Rande der Firndecke bis auf einen oder mehrere Decimeter trocken liegt und zwischen ihm und der Schneebedeckung ein Hohlraum, dessen Eingang offen ist, dessen Deckenwölbung und Hintergrund durch eine Eiskruste und dessen Boden durch trockenes Gestein gebildet wird, anzutreffen ist.

Wesentlich anders verhält sich das Moospolster. Nicht allein, dass es den Schnee nicht so schnell wie die blosse Gesteinsfläche verdunsten lässt, sondern, dass es den Schnee in sich aufzusaugen sucht, macht es zu einem trefflichen Wasserreservoir. Trocknet der Schneefleck mehr von der Seite ein und lässt das Gestein bereits unter seinem Rand trocken, so offenbart das Moospolster eine Eigentümlichkeit, die wohl auch hin und wieder bei schnell schmelzendem Schnee gesehen wird, die aber betreffs der Zeit ihres Sichtbarseins derjenigen des Moores gegenüber als zu flüchtig bezeichnet werden muss. Das Eigene besteht darin, nicht nur auf längere Zeit den Stein auf der eigenen Flächenausbreitung, sondern sehr weit darüber hinaus zu befeuchten. Dies Befeuchten findet nach allen Himmelsrichtungen statt, und das Moospolster ist dann sozusagen von einem Feuchtigkeitsband umschlungen, dessen Grenze sich auf dem trockenen Stein markiert zeigt. Wir können hier gradezu von einem Feuchtigkeits- oder Befeuchtungshorizont reden. Die Gestalt des Feuchtigkeitshorizontes hängt mit der vom Moos bedeckten Fläche zusammen. Dieser Feuchtigkeitshorizont ist eine variable Grösse. Nach vorher-

gegangener starker Feuchtigkeitsaufnahme des Moores kann seine Entfernung 6 bis 10 cm vom Moosrand aus betragen. Ragt der Kalkstein aus dem Humusboden heraus, so geht die Feuchtigkeitsgrenze in die Höhe; zwischen 5 und 7 cm schwankte die von uns gemessene grösste Höhe. Auf die letztere Erscheinung ist es hinzuleiten, dass manchmal — nicht gar oft — die Kalksteinseiten an der Berührungsstelle mit der horizontalen Humuslage, die von Moospolstern überzogen ist, eine leichte Auskehlung zeigen. Der Feuchtigkeitsring eines Moospolsters wird bei anhaltender trockener Witterung immer kleiner, um zuletzt ganz zu verschwinden. Ein Zeitmass dafür zu finden ist eine sehr schwierige Aufgabe, da eine ganze Menge Faktoren, wie Grösse und Dichte des Moospolsters, Stärke und Dauer der Befuchtung mit hineinspielen. Nur im Vergleich mit einem andern Feuchtigkeitsreservoir lässt sich ein Exempel der ungefähren Befuchtungsdauer statuieren.

Auf ein handtellergrosses Moospolster einer horizontalen Kalksteinplatte legten wir eine Handvoll Schnee, eine ebenso grosse Schneemenge in einiger Entfernung auf den nackten Stein. Dies geschah zur Mittagsstunde. Am andern Tage um dieselbe Zeit war von dem Schnee auf dem nackten Stein keine Spur mehr da, weder eine kleine Ansammlung geschmolzenen Schneewassers noch eine Befuchtung des Kalksteins war vorhanden. Dagegen hatte sich das Moospolster mit einem Feuchtigkeitshorizont umgeben, der erst am vierten Tage auf den Moosrand zusammengeschrumpft war; und wenn nun der Horizont der sichtbaren Gesteinsbefuchtung verschwunden war, so war doch im Moospolster noch auf viel längere Zeit, als die Dauer des angrenzenden Feuchtigkeitsrandes währte, Feuchtigkeit aufgespeichert. Die Tage der Beobachtungen waren frei von Niederschlägen, nur in kühleren Nächten thaute es etwas. Mag für die Verdunstung des Schnees grade der günstigste Umstand gewaltet haben, so giebt trotzdem dieses Experiment Grund genug, dem Moospolster eine grössere Einwirkung auf manche Verwitterungsformen des Kalksteins als dem schmelzenden Schnee zuzuschreiben. Dazu gesellen sich noch die Momente, die wir schon bei den Flechten dargelegt haben. In dreierlei Hinsicht steht das Moos als Modifikations-

faktor von Kalksteinverwitterungsprodukten über dem Schnee: Erstens in der Dauer der Befeuchtung, zweitens in der Bildung grösserer Auflösungsflüssigkeiten und drittens in der mechanischen Kraftleistung seiner Saugzellen. Der Vorzug des Schnees gegenüber dem Moose besteht lediglich darin, dass er grössere Flächen bedecken kann, was eben sehr von der Jahreszeit und der Orographie des Gebirges abhängig ist.

Spalten sind in einer Gebirgswand nichts Seltenes, oft bemerkt man auch eine Menge schön ausgearbeiteter Rinnen an den Kalksteinwänden herablaufen. Der Boden dieser ziemlich steilen Rinnen ist meistens vom Moos besetzt. Die Moospolsterschicht verlässt kaum eine Rinne, selbst wenn sie noch $57-60^{\circ}$ geneigt ist; ist sie durch einen heftigen Regenguss auch mitunter herausgespült, so sitzt sie dann immerhin noch oben und unten an der Rinne fest. Ist der oben befindliche, mit Moos und sonstigen Pflanzen bedeckte Humusboden von Feuchtigkeit geschwängert, so wird die Rinne oft tagelang feucht gehalten. Die Nässe der Vegetationspolster fliesst langsam ab. Die Befeuchtungsgrenze hebt sich deutlich durch ihre Färbung von dem übrigen Gestein ab. Es erweckt den Anschein, als wenn ein Wasserstrom gleichstark durch die Rinne geflossen sei, denn auf meterlanger Erstreckung sind die zwei Feuchtigkeitsgrenzen unten an der Rinne soweit wie oben am Anfang von einander entfernt. Ein stärkerer Feuchtigkeitsglanz in der Mitte der Rinne sagt uns, dass hier ein Feuchtigkeitsmaximum statthat. Mit der Zeit gewinnen die Rinnen durch die auflösende Thätigkeit des von den Moospolstern freigegebenen Wassers ein schönes Ebenmass der Abrundung. Sie können sich bei einer Breite von 2—30 cm und einer Länge von 1—10 m nach der Tiefe ziehen. Solche schön gerundete Formen enden unten wieder — mit wenigen Ausnahmen — im Humus, in dem sie sich noch bis 40 und 50 cm fortsetzen können. Wir beobachteten sie in ausgedehntem Masse auf der oberen Wildalm des Steinernen Meeres, am best entwickelsten aber an den tiefern Ostgehängen des Gjaidkopfes und der Hirschwiese beim Anstieg vom Königssee nach Trischübel.

Von den Arten und Familien, die in den Kalkregionen der Alpen vorwiegend zu finden sind, müssen hervorgehoben werden: *Grimmia*,

Mnium, Orthothecium, Isothecium, Oligotrichum, Zieria, Leptobryum, Tetraplodon, Distichium, Stylostegium, Anvectangium, Frullania, Reboulia, Seligeria, Batramiaceae.

Wie die Flechten und Moose wirken auch die Blütenpflanzen auf das unterliegende Kalkgestein verändernd ein. Experimentell lässt sich nachweisen, wie selbst eine polierte Marmorplatte von den Wurzeln angegriffen wird. Man breite auf eine solche Platte eine Schicht Sand aus, in welcher Pflanzensamen zum Keimen gebracht werden; vertikal nach unten wachsend, berühren die Wurzeln des Keimlings bald die Marmorplatte, wo sie sich umbiegen und sich horizontal ausbreiten, dabei aber der Platte die Politur rauben und ihr eine rauhe Oberflächenbeschaffenheit geben. Diesen Einfluss der Wurzeln nimmt man gar bald mit unbewaffnetem Auge wahr. Ist im Gebirge ein Kalkfels oder eine Kalkplatte ganz vom Humus zugedeckt worden, oder liegen Kalksteinfragmente im Humusboden, so schmiegen sich die Wurzeln der Blütenpflanzen an die Oberfläche der Gesteinsmasse und ätzen sie an. Durch die Wirkung des sauren Saftes, der die Zellwandungen der Wurzelzellen erfüllt, werden einzelne Teilchen des kohlen-sauren Kalkes aufgelöst. Bei dem Absterben der Wurzeln ist dieser Einfluss noch erhöht, und man kann an der Oberfläche des Kalksteins, der unter Blütenpflanzen im Humus begraben lag, deutlich erkennen, wie die Wurzeln den Stein angeätzt haben. Manchmal sieht eine solche von Erde und Pflanzen befreite Gesteinsoberfläche aus wie ein weicher Lehmboden, über den Regenwürmer gekrochen sind und in allerhand sich kreuzenden Furchen und Rinnen ihre Spuren hinterlassen haben. Die eben skizzierte Thätigkeit muss neben der Spülthätigkeit des fließenden und stürzenden Wassers für das Abtragen und Abrunden der Kalkfelsen, besonders der Kalksteinfragmente verantwortlich gemacht werden.

Trotzdem, dass die Blütenpflanzen zur Bildung und Zerstörung der Verwitterungsformen des Kalksteins beitragen, bringt ihnen dieser die beste Freundschaft entgegen, sobald er selbst nicht zu sehr den Stürmen und Wettern ausgesetzt ist. In seinen zahlreichen und mannigfaltigen Spalten, Rinnen und Becken gedeihen viele Pflanzen besser

als auf anderem Terrain. Von den Blütenpflanzen seien nur die wichtigsten Familien hervorgehoben, die ausgezeichnete Vertreter in die Kalkgebirge bis in Höhenregionen von 1500 bis 2300 m hinauf senden: Alsinaceae, Campanulaceae, Compositae, Cruciferae, Ericaceae, Gentianaceae, Geraniaceae, Globulariaceae, Lapiatae, Onagraceae, Orchidaceae, Papilionaceae, Plantaginaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Ranunculaceae, Saxifragaceae, Scrophulariaceae, Silenaceae, Thymelaeaceae, Umbelliferae, Valerianaceae. Diese Reihe ist leicht zu erweitern und zu vervollständigen; von uns wurden an geschützten Orten der nördlichen Kalkalpen in einem Sommer allein gegen zweihundert Phanerogamen bestimmt und zwar solche, die sich durch schönere und grössere entwickelte Formen von ihresgleichen, die allen Witterungseinflüssen zugänglich waren, auszeichneten.

Die Beziehungen der Pflanzen zu dem Kalkstein ergeben, dass wir es mit ganz wichtigen Erosionsfaktoren bei der Verwitterung der Kalkgebirge zu thun haben. Die Thätigkeit der Pflanzenwelt ist eine so mannigfaltige und eine so energische bei der Kalksteinverwitterung, zugleich eine für sich so eigenartige, spezialisierte, dass wir ihr einen besonderen Namen beilegen und sie „Phyterosion“*) (τὸ φυτὸν die Pflanze) nennen möchten.

Sehen wir die Pflanzen daraufhin an, ob ihr Leben unbedingt abhängig ist von dem Kalkboden, so lassen sie sich unterscheiden in: Kalkwärme liebende und Kalknahrung begehrende. Die ersteren sind solche, die auch auf andern Fels- und Bodenarten gedeihen, sobald ihnen die gleiche Feuchtigkeits- und Wärmemenge wie in den Kalkgebirgen zu teil wird; die zweiten sind solche, die zu ihrem Gedeihen eine bestimmte Menge von Kalksalzen gebrauchen. Dass sie da gern

*) Wenn ich auch kein Freund bin, neue Namen und dazu noch fremde irgend welchen Erscheinungen beizulegen, so glaube ich doch diese Bezeichnung zu rechtfertigen, wenn ich auf das Wirken der Pflanzenwelt, wie es bei der Karrenbildung z. B. statthat, hinweise. Es ist eben ein so bestimmtes, in vieler Beziehung ein so spezifisch eigentümliches, nämlich einmal phytochemisch, andermal phytomechanisch, dass es sich wesentlich von andern Erosionsfaktoren abhebt und weit eher einen eigenen Namen verdient als z. B. die Aushöhlungsthätigkeit des strudelnden Wassers, welch' einfache mechanische Thätigkeit neuerdings „Evorsion“ genannt worden ist.

auf kalkhaltigem Boden wachsen, ist natürlich, damit ist aber nicht ihr Gedeihen auf den aus Kalkstein entstandenen Boden beschränkt, sondern überhaupt auf jedem Boden zu bemerken, der Mineralreste umschliesst, die bei ihrer Zersetzung vorwiegend kohlen-sauren Kalk in ziemlicher Menge dem Erdboden übergeben. Dies hat statt bei allen gemengten Felsarten, die aus Kalkfeldspaten und Augit bestehen, z. B. bei Diabas und Basalt, oder auch manchem Granit, Melaphyr und Porphyry; es ist sogar bei dem mit zerriebenen Conchylien-kalkschalen untermengten Dünensande beobachtet worden. Viele der kalk-begehrenden Pflanzen können sich auf jedem Boden ansiedeln, wenn dieser ihnen nur die gehörige Menge kohlen-sauren Kalkes liefert, andere dieser Pflanzen begehren nicht allein den kohlen-sauren Kalk zu ihrer Nahrung sondern auch das von dem Kalkboden darreichbare Maass von Wärme und Feuchtigkeit. Die meisten Arten der eigent-lichen Kalkpflanzen liefern die Familien der Labiatae, Papilionaceae und Rosaceae.

Bei der Betrachtung des Verhältnisses der Pflanzen zu den Kalk-gebirgen konnten wir nicht umhin, auch des Humus zu gedenken. Unter Humus versteht man die bei der Vermoderung oder Verwesung von Pflanzen- und Tierstoffen gebildeten braunen bis schwarzen, erd-ähnlichen, nicht krystallisierbaren Produkte, die in mehr oder minder dicker Schicht den Boden der Wälder und Wiesen bedecken und auf den Schneefeldern und in Felsrissen der höchsten Berge und fast überall in den Runsen und Spalten der Kalkfelsen anzutreffen sind. Der Humus an sich ist ein Uebergangsprodukt in dem Oxydations-prozess der Cellulose, der schliesslich mit den Endprodukten Wasser und Kohlensäure abschliesst. Der chemische Vorgang ist dabei ein sehr verwickelter und noch nicht recht gelöst; auch die verschiedenen sogenannten Humussäuren, deren reine Darstellung bis jetzt noch nicht gelungen ist, können nicht als chemische Individuen betrachtet werden. Der Nachweis des Vorhandenseins einer Säure, der Humin-säure, ist bis jetzt erst sicher gelungen. Durch sie wirkt der Humus-boden auf den Kalkstein, von dem er nur ganz feine Schichten auf-zulösen scheint, — am ehesten vielleicht die kleinen Ecken und Kanten der Grübchen, die von den Flechten und Moosen herrühren; denn

unter dem Humus findet man niemals solche rauhe und zackige Kalksteinformen wie über demselben. Verschiedene Kalksteinteile, die wir bis Metertiefe aus dem Humusboden blosslegten, beweisen das eben Gesagte zur Evidenz. Auch fehlt dem Kalkstein unter der Oberfläche des Humusbodens das Gekruste, mit dem der Kalkstein, der über die Humusdecke hinausragt, behaftet ist; und wird ersterer ausgegraben, so erfreut er das Auge mit seiner glatten und hellen Oberfläche, wenn er nicht zu sehr von den Einwirkungen der Pflanzenwurzeln gelitten hat. — Ein klassisches Beobachtungsfeld dieses Phänomens ist das Plateau des Hinter-Kaisers (Kaisergebirge bei Kufstein); hier liegen in dem fetten und dichten Humus glatte und abgerundete Kalksteinfragmente, sogenannte Karrensteine, während dicht daneben in unmittelbarer Nachbarschaft die rauhesten und schärfsten Kalksteinplatten zum Himmel ragen.

Die Thätigkeit der Humussäuren geht Hand in Hand mit der von uns bezeichneten „Pflanzenerosion“. In der Kombination dieser Kräfte haben wir mit den Schlüssel zur Lösung einiger Erosionsformen der Schrattenfelder gefunden, das sind Verwitterungsgebiete in den Kalkgebirgen, wo die Karren auftreten, und diese haben wir nach eigenen Untersuchungen hingestellt als eine in verhältnissmässig reinem Kalkstein vorkommende typische Oberflächenerscheinung, die sich in Furchen und dazwischenliegenden Firsten äussert und wesentlich an die Klüftungsfähigkeit des Kalksteins wie an die Wirkung der Atmosphärenteilchen und der Pflanzen gebunden ist (vergl. hierüber des Verfassers Abhandlung: Das Karrenproblem. Die Geschichte seiner Lösung. Zeitschrift f. Naturwiss. f. Sachsen u. Thüringen; herausgeg. v. G. Brandes. Halle 1895 Bd. 67). Bei der Lösung des Karrenproblems war der Punkt bis jetzt noch unentschieden: warum kommen runde und zugeschärfte Formen neben einander vor, warum kommen erstere nur auf tiefern Stufen vor? — Nun ist es eine leicht zu beobachtende Thatsache, dass sich die Karren oder Schratten mit runden Firsten stets als die niedrigeren an Höhe gegenüber denen mit zugeschärften Gräten zeigen. Sie mögen in früheren Erdperioden auch einmal zugeschärft gewesen sein, aber in dem Kampf mit dem Humus

und der Pflanzenerosion an sich unterlagen sie auf den niedern Terrainstufen sämtlich, was zuletzt bei günstigen Verhältnissen auch mit denen auf den höhern Stufen geschehen wird, die jetzt noch in ihrer vollkommenen Karrengestalt prangen. Da man grosse in Humus begrabene Karrenfelder in tiefern Lagen gefunden hat, lässt es die Annahme ziemlich gewiss scheinen, dass früher einmal die Vegetationsgrenze viel tiefer lag und andere klimatische Verhältnisse herrschten wie heutigestags. Nach dem sporadischen Vorkommen von Karrengestalten hat man sich dabei nicht zu richten. Hinwiederum kann es vorkommen, dass der Humus mit seiner Pflanzenwelt von dem Kalkstein, den begrabenen Karren durch Sturm und Regen oder durch die Schmelzwasser eines tiefergehenden Gletschers weggeschwemmt wird, dass dann auf lange Zeit hinaus eine Neuansetzung von Humus ausgeschlossen ist; dann zerklüften die breiten, freigelegten Firsten, Kalksteinrücken wieder, es bilden sich neue Firne, die mit der Zeit ebenso sich wieder zuschärfen können, wie es ursprünglich der Fall war. Die Neubildung der Karren endet zuletzt wieder in niedrige runde Karrenhöcker, begraben vom Humus und seinen Pflanzen, und wir haben dann wiederum eine Niveauverschiebung oder Niveauveränderung des Gebirgsterrains. Und so erkennen wir überhaupt in der Verwitterungsthätigkeit der Pflanzen und der Humussäuren einen Erosionsprozess mit der Tendenz der Niveauverschiebung auf niedere Stufen.

Es ist unleugbar, mitunter schon bewiesen, dass die Zone der Einhüllung eines Gebirges durch Schutt und Pflanzenwelt dauernd wächst; die Kappe des nackten kahlen Felsens, der sich durch schroffe, unvermittelte Linien charakterisiert, ist einer fortwährenden Verminderung unterworfen, und die Zunahme derjenigen landschaftlichen Formen, die sich durch flachere Böschungen, schön geschwungne, zusammenhängende Kurven auszeichnen, ist eine stete. Dass bei all diesen Vorgängen neben der Pflanzenerosion namentlich auch andern Kräften Rechnung getragen werden muss, ist selbstverständlich; wir wollten nur vor allem gezeigt haben, dass in der Verwitterungsgeschichte unserer Erdfeste das Pflanzenreich eine wichtigere Rolle spielt, als man gemeinhin glaubt.

Die Folge und Art der Wirkungen der Pflanzenwelt in den Kalkgebirgen bringen ein Kolonisationssystem zum Ausdruck, wie für die Besiedelung eines fremden Gebietes kein besseres wieder zu finden ist. Dies Kolonisationssystem hat bei der Inkrafttretung seiner Faktoren ein weises Gepräge und eine Art historischen Charakter. Während einer ersten Periode dringen als Kolonisten in das Kalkgebirge Flechten und Moose. Ist der Kalkfels für sie nicht mehr brauchbar und genug für die folgenden Kolonisten vorbereitet, so ziehen in der zweiten Periode anfangs genügsame Gräser und flachwurzelnnde Blütenpflanzen ein, dann aber weniger genügsame Gräser und Kräuter. Sie bilden die Trifte, das sind die gemischten Pflanzenstaaten der Stauden und Gräser. Ist durch diese der Boden brauchbarer und zugleich vermehrt worden, so siedeln sich in der dritten Periode erst Sträucher an und dann Einzelbäume. Haben diese beiden den Grund ihres Staates genug vervollkommnet, und erlauben es dazu die Witterungsverhältnisse, dann kann die vierte und letzte Periode der Kolonisation beginnen, in der die Wälder herrschen, oder der Mensch den Boden — bei der durch alle möglichen Erosionskräfte erfolgten Verebnung des Gebirgsterrains — zum Bebauen seiner Feldfrüchte benutzen kann.

All unsere Darlegungen erhellen, dass in den Kalkgebirgen, die auf den oberflächlichen Beschauer den Eindruck einer Landschaft des Oeden und Leblosen machen, durch die Pflanzenerosion und ihren verbündeten Kräften eine gewaltige Arbeit für eine ferne Zukunft verrichtet wird. Das Niveau der Kalkgebirgsoberfläche rückt immer tiefer, die Kalkfelsen verwittern zu Gesteinsschutt, die Trümmer verschwinden im Humus, der graue Ton des Felsens macht dem fröhlichen Grün einer üppigen Vegetation mehr und mehr Platz und späte Geschlechter werden hier wohnen, wo wir dem grausen Steingewirre jetzt entfliehen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Görlitz](#)

Jahr/Year: 1898

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Eckert Max

Artikel/Article: [Ueber die Erosion der Pflanzen in den Kalkgebirgen 209-224](#)