

# Alpenverglühen

Blitzeinschläge sprengen Felsen, Mikroorganismen lassen  
das Gestein verwittern. Der Klimawandel hinterlässt tiefe Spuren.

Über das Leben und Sterben der Berge

› *Wissen, Seite 34*





# Durch den Stein ein Riss

Nicht nur der Skitourismus setzt den Bergen zu. An den aufgeworfenen Gesteinsfalten der Erdkruste nagern auch die Kräfte der Natur, der Zahn der Zeit und die Folgen des menschengemachten Klimawandels, die das Eis zum Schmelzen bringen und das Gebirge schwächen

VON WALTER SCHMIDT  
Oft ruft der Berg bloß, doch manchmal kommt er auch. Vor drei Jahren er, im Schweizer Kanton Tessin in der Nacht zum 15. Mai stürzten dort in der Gemeinde Premo mehr als 300 000 Kubikmeter Fels zu Tal. In drei Schüben riss die Trümmer eine gewaltige Wunde in den Bergwald.

Zuvor hatte sich der Fels bereits drei Tage lang bis zu vier Zentimeter pro Stunde talwärts bewegt, und die Katastrophe angekündigt – die allerdings ein beschämender Ausrutscher der Alpen im Vergleich zum Bergsturz von Randa blieb. Am 18. April 1991 hatten im hinteren Martortal des Kanton Valais gleich mehr als 12 Millionen Kubikmeter Gestein ihren Halt in der Bergflanke verloren. Als die zum Teil haushohen Felsen rund 600 Meter tief zu Tal donnerten, begruben sie 33 Gebäude und mehrere Tiere an sich. Menschen kamen nicht zu Schaden. Doch zusammen mit zwei kurz darauf folgenden Bergstürzen bewegten sich bei Randa binnen weniger Wochen etwa 23 Millionen Kubikmeter Fels – mehr als genug, um 13 Mal die ägyptische Cheops-Pyramide zu füllen.

Wenn in den Alpen jetzt die Skifahrer talwärts weheln, denken sie wohl eher nicht daran, mit welcher Zügelkraft und Gewalt die Natur dem Dachgesschoss ihres Kontinents seit Millionen von Jahren zusetzt. Seltener geht es dabei so spektakulär zu wie bei Berg- oder kleineren Felsstürzen, meist jedoch wie in einer untrübigen Werkstatt: Es wird gehobelt und gefräst, gehackt und geschliffen, geschnitten und geglättet – und sogar mit Säuren geätzt. Die Zöhne der Erosion zermürben am Ende auch die härteste Gesteine, so dass aus Ehrfurcht einflößenden Hochgebirgen lediglich hügelige Landschaften werden. So erging es in Deutschland zum Beispiel dem Frankenthal, dem Riethegebirge und der Elbe.

Den Ostalpen zum Beispiel setzt schon jetzt die Sonne zu. Die Berge hier bestehen in einem großen Teil aus Gneisen, und genau das ihr Problem. Zwar sind die 500 Millionen Jahre alten, tief in der Erdkruste gebildeten Gesteine recht hart. Doch ihre grobkörnige Substanz aus trübem Feldspat, hellem Quarz und dunklen Glimmer ist ziemlich serabiel gegenüber Hitze. Und das Sonnenlicht heizt dem Mineral tüchtig ein – mal etwas mehr, mal etwas weniger, aber dauerhaft und unerbittlich.



Für die Gneis-Felsen ist das geduldige Zerstörungswerk der Sonne der Anfang von Ende. Denn die dunkleren und helleren Minerale des etwa 500 Millionen Jahre alten Gesteins nehmen die Sommerwärme unterschiedlich stark auf und dehnen sich infolgedessen auch verschieden weit aus. Das Gefüge der Mineralien lockert sich. Allmählich öffnen sich haarfeine Spalten zwischen den Gesteinskörnern. Regen oder Schmelzwasser kann eindringen. Frost es wenig später, macht sich der nächste Mechanismus der Erosion ans Werk: die Frostspaltung. Denn wenn Wasser gefriert, nimmt sein Volumen um bis zu neun Prozent zu. Bei minus fünf Grad Celsius dehnt Eis auf die Wände der Gesteinsklüfte dabei einen Druck von mehr als 500 Kilo je Quadratmeter aus. Man mal, nämlich bei minus 20 Grad Celsius, können es 2,1 Tonnen sein.

Der Frost ist umso wirkungsvoller, je häufiger das Eis in den Poren und Klüften der Felsen tau und wieder gefriert. Dies geschieht am häufigsten im Höhen von etwa 1800 Metern über dem Meeresspiegel gegenüber Hitze. Und das Sonnenlicht heizt dem Mineral tüchtig ein – mal etwas mehr, mal etwas weniger, aber dauerhaft und unerbittlich.

sam, weil das Tauwasser meistens fehlt. Trotzdem arbeitet die Kälte auch dort beharrlich am Fels. Am Niedergang der Gebirge sind aber noch weitere Prozesse beteiligt. Wenn der Regen etwa Kohlendioxid aus der Luft wehlt, zerfällt das gasförmige Wasser vor allem Felsen aus Kalk oder Dolomit. Für wasserlösliche Gesteine wie Gips braucht Regen nicht einmal sauer zu sein. Baumwurzeln bohren sich in Felspalten und lösen Steine aus dem Verbund. Hilft serospaltung tauchen Fels (siehe Kartell). Und Gneise, die einst in großer Tiefe unter hohen Druck erstarrten, können an der Oberfläche schalenartig abplatzen, sobald die Erosion sie von darüberliegendem Gestein befreit hat.

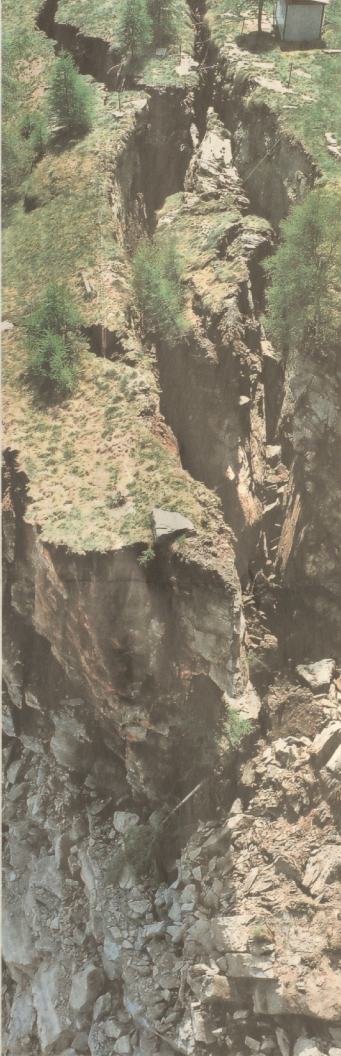
Mit am stärksten geförmt aber wird ein Hochgebirge durch fließendes Wasser und das brutale Ungesamt der Gletscher. Wenn Berge sich noch heben, sind nicht nur ihre Gipfel und Grate schneefrei. Die typischen Täler noch junger Gebirge sind Kerbtäler, indem die Erosion nach unten viel stärker wirkt als nach den Seiten. Um mit dem sich hebenden Untergrund Schritt zu halten, müssen Gebirgszüge sich senkrecht in den Fels ätzen, und das braucht einen Großteil ihrer Kraft. Außerdem spielen sie den Schutz aus

zermürbtem Gestein fort, der von den Talhängen stetig nachrückt. Sobald Gebirge hoch genug aufragen, sammelt sich in der Dauterfrozzone Eis, vor allem an den achtigen Nordflanken der Gipfelregion. Ab einer gewissen Menge wird das Eis durch sein Gewicht nach unten gedrückt. So kriecht der Gletscher die Karstflank hin ab. Dabei reißt das Eis Gesteinsbrocken, an denen es festgefroren ist, aus der Bergwand. Vor allem aber schürft die talwärts dringenden Gletscherrinnen die bis dahin noch schmalen Korbelläer zu bauchigen Troglätern mit breiter Talsohle und steilen Hängen zu beiden Seiten aus – fast wie bei dem Buchstaben U. Die im Gletscher mitgeschleppten Gesteinsbrocken, wirken wie Hobel, die den Fels unterhalb des Gletschers glatt schürfen. Am Gletschergund beschleunigen zudem Schmelzwasserströme den angrenzenden Fels auch hier hief scharfkantige Steine, die migerrissen wurden.

Das die Seiten der U-förmigen Talwännen so steil sind, war nicht weiter bemerkenswert, solange die Gletscher die Trogläter aufrüllten. Das Eis stemmte sich gegen die Wände. Doch ab vor etwa 10 000 Jahren die jüngste Kaltzeit, das Würm-Glacial, zu Ende

ging und die Gletscher in Hochgebirge zurückwichen, verschwand auch der stabilisierende Stütze. Dass die eisige Stütze fehlt, macht Steinachlag und Bergrutsche deutlich wahrscheinlicher. „Bei diesen Tälern stimmt aus statischer Sicht einiges nicht mehr“, sagt der Geomorphologe Michael Kraublatzer von der Technischen Universität München. Vielerorts sind die Talflanken unter beträchtlicher Spannung und drängen nach dem erlindernden Ausgleich.

Doch bevor ein Felssturz losbricht, muss sich erst einmal eine sogenannte Abacherbin in der Bergwand gebildet haben. Sie entsteht immer dann, wenn sich natürliche Spalten im Gestein allmählich vergrößern und zusammenwachsen. Mit diesem „kritischen Pfad“, wie Kraublatzer ihn nennt, ist der spätere Rutschweg des Felssturzes im Gestein schon vorversucht. Gerade noch stabiler Fels steht entlang der Acherbahn dabei zunächst unter einer stetigen Zugspannung – bis plötzlich die Trogläter abgeräumt sind, und die Druckfestigkeit sagt Kraublatzer. Je schneller die Erdwärme also, desto schwächer die Berge. Und das kommt eben nicht nur. Er wird vom Menschen auch gerufen.



300 000 Kubikmeter Fels stürzten im schweizerischen Prevoza vor drei Jahren in die Tiefe. Und dabei wird es wohl nicht bleiben. Schon seit dem 17. Jahrhundert sind hier massive Bergstürze dokumentiert. Vor dem jüngsten waren erst 2002 etwa 100 000 Kubikmeter. Stein den Hang hinabgerollt. Als Wohnort ist der unruhige Berg deshalb wohl wenig attraktiv. In Prevoza leben nur gut 600 Menschen.

Hefige Regenfälle, wie sie der Klimawandel immer häufiger mit sich bringt, werden auf andere Weise helfen, die Alpen abzutragen: Nicht nur. Indem Gebirgsflüsse anschwellen und mehr Erosionskraft entwickeln oder indem auf durchtauchten Untergrund mehr Erdwärme die Hänge hinabgleiten. Michael Kraublatzer verweist auf Stetsbach im Kanton Valais. Wetterstein-Massiv zum Beispiel fallen Kraublatzer zufolge bei heftigem Niederschlag „20 000 bis 40 000 Kubikmeter“ mal so viele Steine pro Stunde aus den Felswänden wie in Zeiten ohne Starkregen. „Das liegt daran, dass die Verwitterung im Wetterstein-Kalk sehr aktiv ist. So kann man jeden zweiten Stein aus der Wand ziehen.“ Wenn dann heftiger Regen auf das stark zerstückelte Gestein prasselt, werde viel Verwitterungsschutz von den Felsenissen gespült.

Und noch etwas bewirkt der Klimawandel: Die Felsen der Hochlagen bilden an Festgestein ein, weil das sonst stets gefrorene Eis in ihren Ritzen als Kleber verloren geht. Ein getauter Fels „verliert etwa 30 bis 40 Prozent an Zug- und Druckfestigkeit“, sagt Kraublatzer. Je schneller die Erdwärme also, desto schwächer die Berge. Und das kommt eben nicht nur. Er wird vom Menschen auch gerufen.



Mal die Cheops-Pyramide mit Steinen aufrücken, dann im Wallis den Berg hinabstürzen. Das war ungerade die Größenordnung des bislang gewaltigsten Bergsturzes, der Anfang der neunziger in der Schweiz losbrach. Zwar verschonten die Gesteinsmassen den Ort Randa. Doch staute sich durch das Geröll ein Fluss und bedrohte die wenigen Hundert Einwohner.

## 600

Meter sind für einen Bergwanderer keine Herausforderung – für eine kleine Mücke allerdings schon. Trotzdem gelang es einigen Organismen, diese Strecke zurückzulegen, und zwar in den Fels hinein. Die winzigen Lebewesen zerkleinern das Berg auf diese Weise von innen. Flechten und Moose tun an der Oberfläche ein Darin. Wie so oft teilt die Treibkraft, Hunger.

### Verwittert im Gewitter

Man würde meinen, dass ein kapitaler Stromschlag so einem Berg wenig anhaben kann. Tatsächlich aber sind Blitze ganz außerordentlich kräftige Stromstöße – vor allem auf Berggipfen, und dort, wo es zu warm für Gesteinszerporendes Eis und keine Pflanzenbedeckung die Felsen schützt. Die Johannesburger Geografen Jasper Knight und Stefan Grab haben an vulkanischem Basaltgestein in den fast 3000 Meter hohen, süd-afrikanischen Drakensbergen herausgefunden, dass Blitze das Gestein mindestens zwei Meter tief erreichten, zwanzig Meter schwere Felsen bewegen und Gesteinsstrümmen fast zwanzig Meter weit durch die Gegend schleudern können. Was auf den ersten Blick also aussieht wie das typische karntige Ergebnis der längst bekannten Frostspaltung, kann auch Blitzschlag sein.

Oft lässt sich sogar beweisen, dass Blitze an solchen Spaltungen eingedrungen sind. Denn die zu 30 000 Grad Celsius heißen Entladungen des Gewitters stellenweise aufschmelzen lassen, bevor es kurz darauf wieder erstarrt. Dabei richten sich die Minerale des Gesteins nach dem Magnetfeld der Erde aus, das heute anders orientiert ist als vor vierhundert Millionen Jahren, zu jener Zeit, in der vulkanisches Ergussgestein aus der Erde trat und erstmals erkalte.

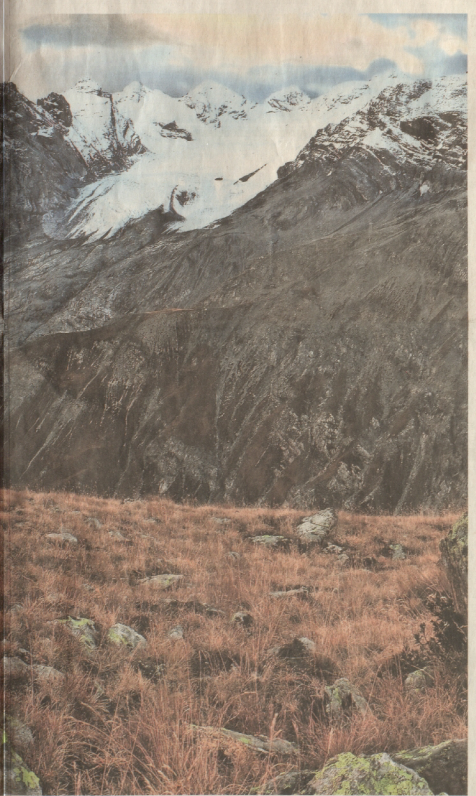
Schwerer ist der Nachweis, wenn die Energie der Blitze auf nicht-vulkanisches Gestein trifft, etwa auf Kalk- oder Sandsteinfelsen. Die Minerale dieser Felsen waren zu jener Zeit in eine zähe, flüssige Gesteinschmelze eingewoben, die unter Einfluss des Erdmagnetfeldes erstarrte. Der Schlag trifft sie also mit Macht, aber oftmals unentdeckt.

### Steter Hunger höhlt den Fels

Biologische Verwitterung? Selbst Geografie-Studenten haben ihr Not mit der Vorstellung, dass winzige Flechten und Mikroorganismen substanzlos auf Felsen der Berge beitragen. Eher trauen sie solche Kräfte Pflanzenwurzeln zu, die sich in Gesteinsklüfte drängen und die Ritze erweitern, wenn sie die Klüfte zulegen – so wie sie dann ja auch mühelos Gehwegplatten in die Höhe stemmen können, oder umstürzende Baumstämme. Die winzigen fleckigen Gesteinsbrocken mit ihren Wurzelstücken vollends aus dem Verbund reißen und am Berg damit talwärts befördern.

Doch wenn Experten wie Thomas Scholten von biologischer Verwitterung sprechen, meinen sie damit nicht nur das Werk der großen Pflanzen. Flechten und Flechten sind die ersten, die Gesteine im Inneren verwittern lassen, sagt der Tübinger Geomorphologe. „Flechten ernähren sich von Substanzen, die sie aus den Mi-

neralen im Gestein herauslösen; das hatte auch die Forschung lange Zeit viel zu wenig im Blick.“ Dabei kann die Wirkung dieser Prozesse enorm sein. Etliche Mikroorganismen etwa leben nicht nur auf, sondern auch im Gesteinskörper. An winzigen Rissen entlang arbeiten sie sich vorwärts, immer weiter und schließlich „viel tiefer, als wir lange Zeit gedacht haben, nämlich oft und gerne zehn oder zwanzig Meter, mit Erzeffanden bis in 600 Meter Tiefe.“ Dort löst das Leben mithilfe organischer Säuren diverse Nährstoffe aus dem Mineralverbund des Gesteins, ähnlich wie es auch Pflanzenwurzeln, Alpen oder Moose tun. Durch den Appetit der Organismen wird die Kristallstruktur der befallenen Gesteine geschwächt. Ganz zerfallen wird der Stein so nicht. Doch die Biokorrosion erleichtert es den übrigen Kräften der Erosion, das Gestein anzugreifen und es vollends zu zermürben.

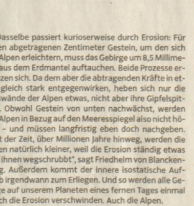


Die Zentralalpen heben sich noch immer – im Jahr um bis zu 1,3 Millimeter bezogen auf einen Fixpunkt bei Aarburg in der Schweiz. „Das haben sehr genaue Messungen durch Schweizer Geodäten ergeben“, sagt der Geomechaniker Friedhelm von Blanckenburg vom Deutschen Geoforschungszentrum in Potsdam. Enttäuschend daran ist, dass eben jener zentrale Teil des europäischen Gebirges gar keinen Schutz mehr durch die Bewegung der Kontinentalplatten erfährt. Anders als die Ostalpen, die vom nordostwärts dringenden Afrika in die Höhe gedrückt werden und schon deshalb weiter an Höhe gewinnen. Dazu kommt, während Alpen wachsen, werden sie nach aktueller Datenlage eigentlich auch um den gleichen Betrag wieder abgeschwemmt. Was also heißt dann zumindest die Zentralalpen und vermutlich auch die Westalpen mit ihren vielen Viertausendern noch immer?

### Das ewige Auf und Ab der Alpen

Verantwortlich dafür ist offenbar der Dichte-Unterschied zwischen dem relativ starren Erdmantel und der leichteren Erdkruste, aus welcher die Kontinente samt ihrer Gebirge bestehen. Als der Afrikanische Kontinent vor etwa 55 Millionen Jahren begann, sich in Europa hineinzuwachen, verdrückte sich an der Stelle der heutigen Alpen der Erdmantel. Dabei wurde sie nicht nur in den Alpen aufgefaltet, sondern teils auch nach unten in den Erdmantel gedrückt – bis zu 60 Kilometer tief. Da ein Kubikmeter Erdmantel um etwa 15 Prozent schwerer ist als ein Kubikmeter Erdkruste, hat das den gleichen Effekt, wie wenn man einen Luftballon unter Wasser drückt. Er drängt nach oben, um das Gleichgewicht der Isostasie wiederherzustellen. Genau das tun auch große Teile der Alpen. Sie heben sich nach immer, obwohl Afrika sie – mit der atlantischen Platte als Bannpfeiler – nicht mehr in die Höhe quetscht.

Dasselbe passiert kurioserweise durch Erosion: Für jeden abgetragenen Zentimeter Gestein, um den sich die Alpen erheben, muss das Gebirge um 8,3 Millimeter aus dem Erdmantel aufbauchen. Beide Prozesse ergänzen sich. Da dem aber die abtragenden Kräfte in etwa gleich stark entgegengewirkt, haben sich nur die Felshänge der Alpen etwas, nicht aber ihre Gipfelhöhen, erhöht. Obwohl Gestein von unten nachwächst, werden die Alpen in Bezug auf den Meeresspiegel also nicht höher – und müssen langfristig eben doch nachgeben. „Mit der Zeit, über Millionen Jahre hinweg, werden die Alpen natürlich kleiner, weil die Erosion ständig etwas von ihnen wegschubt“, sagt Friedhelm von Blanckenburg. Außerdem kommt der inneren Isostasie der Auftrieb irgendwann zum Erliegen. Und so werden sie Gebirge auf unserem Planeten eines fernes Tages einmal durch die Erosion verschwinden. Auch die Alpen.



## 13

Mal die Cheops-Pyramide mit Steinen aufrücken, dann im Wallis den Berg hinabstürzen. Das war ungerade die Größenordnung des bislang gewaltigsten Bergsturzes, der Anfang der neunziger in der Schweiz losbrach. Zwar verschonten die Gesteinsmassen den Ort Randa. Doch staute sich durch das Geröll ein Fluss und bedrohte die wenigen Hundert Einwohner.