

Dazu gehört das wahrscheinlich glazial-isostatisch bedingte Aufsteigen Skandinavians, das seit dem Ende der Würmvergletscherung anhält und bewirkt, dass in den letzten 100 Jahren die Mittelwasserstände im Hafen von Stockholm um rund 45 cm, im Norden des Bottnischen Meerbusens sogar um rund 1 m gesunken sind.

Kontinuierlich denken wir uns auch eine Granitintrusion oder den Vormarsch einer Migmatitfront.

Allein, auch kontinuierliche Vorgänge haben einst beginnen müssen und werden einmal endigen, sind also zeitlich limitiert. Aber nicht nur in dieser Beziehung hat die Kontinuität ihre Grenzen. Wir haben nämlich auch zu prüfen, innerhalb welcher Grössenordnung der Zeit ein Prozess tatsächlich einigermassen kontinuierlich verläuft.

Die Kontinuität klimabedingter Prozesse geht verloren, sobald wir eine Zeitdauer überprüfen, die grösser ist als die Periode der Klimawechsel, denn dann erscheinen solche Vorgänge ebenso periodisch wie die Klimaschwankungen selber. Die Kriechbewegung eines Schieferhanges in den Alpen ist beispielsweise kontinuierlich in der Grössenordnung zwischen 1 und 10 000 Jahren. Bei längeren Zeitspannen treten Eiszeiten dazwischen und unterbinden aus klimatischen Gründen die Bewegung, oder der kriechende Körper wird durch Erosion entfernt, oder aber durch die Kriechbewegung wird das Gefälle so ausgeglichen, dass die Bewegung schliesslich zum Stillstand kommt.

Andererseits können exogene Prozesse sich als periodische entpuppen, sobald wir sie in so kurzen Intervallen erfassen, dass sich dabei die Wirkung der Jahreszeiten abbildet. Die Möglichkeit besteht durchaus, dass während der winterlichen Frostperiode auf die Oberfläche beschränkte Rutschbewegungen «einfrieren» und erst mit der Schneeschmelze im Frühsommer wieder reaktiviert werden. Je tiefgründiger eine solche Kriech- oder Rutschbewegung ist, um so kontinuierlicher ist sie; kann durch Kontrollmessungen eine starke jahreszeitliche Periodizität in der Bewegung festgestellt werden, so ist das ein Symptom für un tiefe, oberflächennahe Bewegungsbahnen.

Kontrollieren wir eine geologische Veränderung zeitlich in zu grossen Abständen, so kann dabei eine Kontinuität vorgetäuscht werden, wo tatsächlich eine Periodizität vorliegt, beispielsweise bei Bewegungen, die wir aus praktischen Gründen nur einmal pro Jahr nachmessen und dann noch meist zur selben Jahreszeit, wie das aus praktischen oder finanziellen Gründen bei Kriechbewegungen, Rutschungen, Blockströmen usw. im Hochgebirge üblicherweise der Fall ist.

Derselbe geologische Vorgang kann somit kontinuierlich, periodisch oder aperiodisch erscheinen, je nachdem, in welcher zeitlichen Grössenordnung wir ihn betrachten.

Das sei nochmals am Beispiel der kontinuierlich scheinenden Sedimentation im Meer dargelegt. Bei gleichen Sedimentationsverhältnissen entsteht durch kontinuierliche Sedimentation ein homogenes, praktisch ungeschichtetes Sediment. Verändert sich aber einer der massgebenden Faktoren, etwa der Chemismus des Wassers oder seine Temperatur, die Materialzufuhr von der Küste

oder die Meeresströmungen, so entsteht eine Schichtgrenze, denn jede Schichtgrenze entspricht einer Veränderung der Sedimentationsbedingungen. Das bisherige Sediment kann durch ein anderes abgelöst werden, oder die Sedimentation wird überhaupt unterbrochen, möglicherweise gar durch eine submarine Erosionsphase ersetzt. Das ist das Ende oder mindestens ein Hiatus in der Kontinuität des betreffenden Sedimentationsprozesses.

Aber auch in der andern Richtung, beim Betrachten kurzer Zeitspannen, hat die Kontinuität eine Grenze, bedingt durch den Rhythmus der niederfallenden Sedimentkörner auf ihre Unterlage, handle es sich um Flussgerölle vor einem Delta, um Sandkörner nahe der Küste oder auch nur um Kalzitplättchen in der Hochsee. Fällt alle Stunden oder alle Wochen oder alle Schaltjahre einmal ein Sedimentkorn an der gleichen Stelle zu Boden, dann wird der kontinuierlich scheinende Sedimentationsvorgang zu einem diskontinuierlichen, der sich in aperiodisch sich folgende Quanten auflöst.

Der niedrig organisierte, einzellige Schlammbewohner wird einen solchen Sedimentregen als ähnlich aperiodisch empfinden wie der moderne Mensch in Kalifornien die Erdbebenstöße und ruckweisen Krustenverstellungen zwischen der Sierra Nevada und der pazifischen Küste empfindet. Es sei denn, es würde sich bei letzterem zufällig um einen Geologen handeln.

## II. Abklingende Prozesse

Neben kontinuierlich gleichbleibenden kennen wir auch kontinuierlich abklingende Prozesse, in vollendetster Form im Zerfall radioaktiver Mineralien. Bei ihnen ist dieser Vorgang dermassen mathematisch exakt, dass ihre Zerfallsgeschwindigkeit bis heute weitaus die sicherste absolute Altersdatierung geologischer Körper ermöglicht.

Die *S e t z u n g* einer frischen Sedimentoberfläche, bedingt durch die Kompression des Liegenden, ist ein aktuogeologisches Beispiel eines ähnlich verlaufenden Prozesses (Abb. 1). Junge aquatische Sedimente sind ja reich an wassergefüllten Poren; unter dem Druck der hangenden Schichten wird das Porenvolumen und damit der Wassergehalt des Sedimentes kontinuierlich reduziert, sein Raumgewicht entsprechend erhöht.

Dieser Prozess der Konsolidation und der beginnenden Diagenese wird örtlich beschleunigt, wenn künstliche Aufschüttungen, Dämme oder Gebäude, eine zusätzliche Belastung ihres Untergrundes verursachen. Im Rheindurchstich bei Diepoldsau im St.-Galler Rheintal liegen beide Flusssdämme streckenweise auf Torf, welcher erfahrungsgemäss für Belastungen besonders empfindlich ist und grosse, bautechnisch stets unwillkommene Setzungen verursacht. Tatsächlich setzen sich die beiden Dämme bei Diepoldsau seit 1915 um den Betrag von 1 bis 1,2 m in einem kontinuierlich abklingenden Setzungsvorgang, der durch jährlich vorgenommene Kontrollmessungen der Rheinbauleitung St. Gallen seit der Erstellung der Dämme verfolgt wurde. Die Bewegung hält in abklingendem Sinne noch weiter an und liefert ein Kurvenbild, das der theoretisch zu fordernden Exponentialfunktion weitgehend entspricht (Abb. 2).

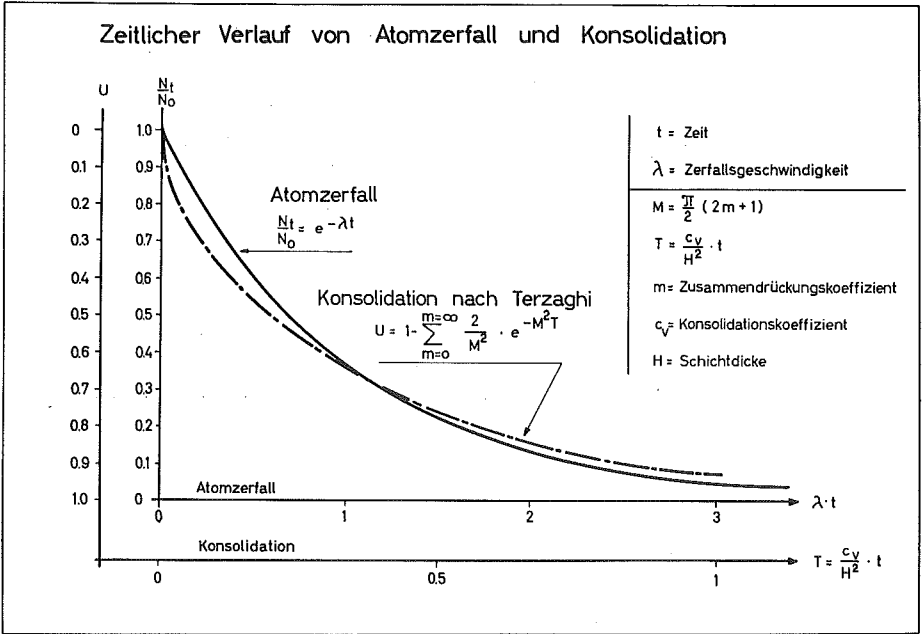


Abb. 1 Darstellung des Zerfalls radioaktiver Mineralien und der Konsolidationssetzung von Sedimenten (nach TERZAGHI) in Funktion der Zeit.

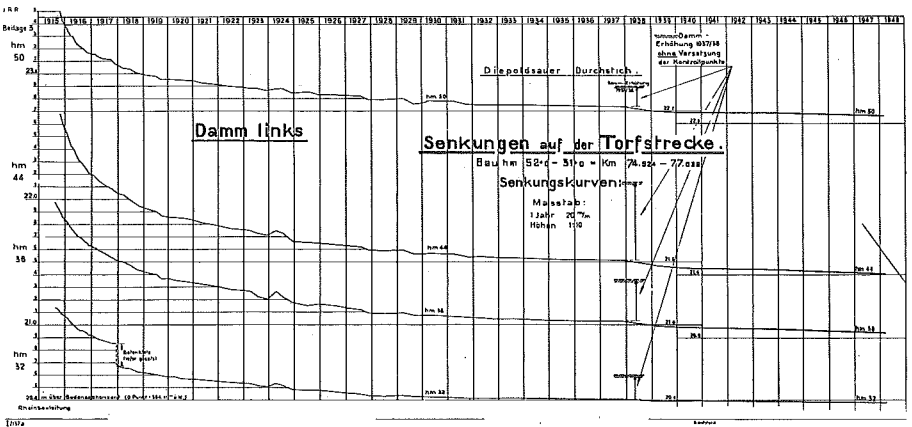


Abb. 2 Setzungskurven der Kronen der Rheindämme längs der Torfstrecke bei Diepoldsau, Kt. St. Gallen, von 1915—1948. (Aus: Jahresbericht der Gemeinsamen Rheinkommission auf das 54. Baujahr, Rorschach 1949.)

Was die Rheindämme bei Diepoldsau örtlich begrenzt und zeitlich gerafft demonstrieren, das vollzieht sich über grosse Flächen, aber in langsamerem Tempo in allen jungen Alluvialgebieten der Erde, an unseren Seeufern wie auch in den Flachländern längs der Nordseeküste. Am tausendjährigen Kampf der Friesen gegen das Meer ist diese diagenetische Setzung der feinen, meist organische Bestandteile enthaltenden Alluvionen mitverantwortlich.

### III. Periodische Prozesse

#### a) Jahresperiode

Wenden wir uns nun den periodischen Prozessen zu!

Je mehr wir uns vom Äquator entfernen, um so ausgeprägter erscheint bei fast allen exogenen Vorgängen der Einfluss der jahreszeitlichen Niederschlags- und Temperaturschwankungen. Im Tropengebiet fehlt er weitgehend; umgekehrt ist er besonders extrem im nivalen Klimabereich, wo im Winter unter der Schneedecke die geologischen Vorgänge fast ganz ruhen, dagegen während der Schneeschmelze und in der kurzen schneefreien Sommerzeit in um so konzentrierterer Form sich abwickeln. Das gilt für die Solifluktion, die Frostverwitterung, für fluviale Erosion und Akkumulation und viele andere exogene Vorgänge.

Am Beispiel der Abflusskurven der Massa mit einem Einzugsgebiet, das zu 71,2 Prozent vergletschert ist, und dem Doubs ohne Gletscher im Einzugsgebiet, lässt sich der Unterschied zwischen streng periodischem, jahreszeitlich bedingtem Hochwasser bei der Massa und weitgehend aperiodischen, kurzen Hochwasserspitzen beim Doubs schön demonstrieren (Abb. 3).

Den periodischen Hochwassern der Gletscherflüsse entsprechen in den Seen Sedimente mit ausgesprochener Jahresschichtung, indem die Hochwasserperiode des Sommers eine grobkörnige, relativ dicke Sommerschicht zur Ablagerung bringt, während im Winter eine feinkörnigere, viel dünnere Sedimentlage deponiert wird, die dafür reicher an organischem Material ist. Das führt zu den bekannten Jahreswarven, die wir vom heutigen Grund unserer Seen kennen und die in Schweden und Finnland die absolute Chronologie des Postglazials aufzustellen ermöglichten.

#### b) Tagesperiode

Macht sich bei geologischen Vorgängen auch die Tagesperiode bemerkbar? Im Meere nicht, wohl aber auf dem Festlande, und zwar besonders in der Wüste, wo die Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht 50 bis 60° Celsius erreichen können.

Sie ist aber ferner auch im andern Extrem, im nivalen Bereich, wirksam, besonders wenn die Temperaturkurve täglich die 0°-Grenze überschreitet. Wir kennen die ausgeprägten täglichen Schwankungen von Gletscherbächen in der

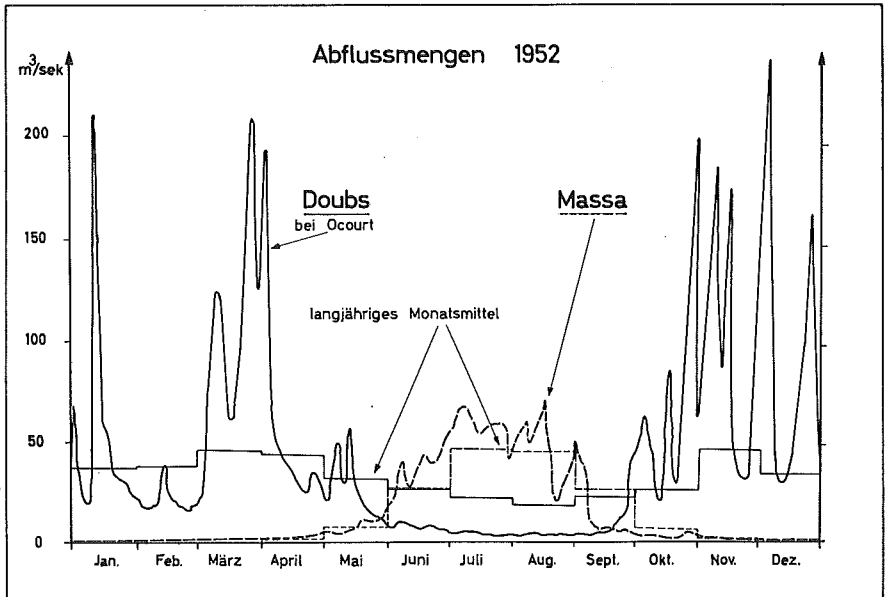


Abb. 3 Tägliche Abflussmengen 1952 und langjährige Monatsmittel des Doubs bei Ocourt ( $E = 1314 \text{ km}^2$ ) und der Massa bei Massaboden ( $E = 205 \text{ km}^2$ ). (Aus: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz 1952.)

Abflussmenge und besonders in der Schlammführung, die in Sedimentationsbecken, welche nicht allzuweit von Gletschern entfernt sind, zu Tageswarven führen müssen. Die Tagesperiode lässt sich allerdings nur bei kurzen Gewässern erkennen, wo sich der Abfluss naher und ferner Teile der Einzugsgebiete noch nicht zu kompensieren vermag. Wo Flüsse mit stark vergletschertem Einzugsgebiet in die Alpenrandseen einmünden, wie zum Beispiel die Rhone in den Genfersee mit 17 Prozent Vergletscherung, ist eine Tagesperiode noch gut zu verspüren, beim Rhein in den Bodensee mit nur 2 Prozent Vergletscherung im Einzugsgebiet ist sie dagegen nicht mehr zu erkennen.

Gibt es noch kürzere Perioden? Diese Frage stellen, heisst sich als Binnenländer zu erkennen geben!

### c) Gezeitenperiode

Die Küsten der Weltmeere erleben zweimal täglich eine Hebung und Senkung des Meeresspiegels, die Gezeiten. An Flachküsten werden breite Ufersäume bei Niedrigwasser trockengelegt, bei Hochwasser überflutet. In Buchten und zwischen der Küste vorgelagerten Inseln bilden sich dabei Gezeitenströme mit starker Erosionskraft, die viermal pro Tag ihre Strömungsrichtung wechseln.

Korrelat zu dieser Erosionswirkung der Gezeitenströme kann aber auch ein Sediment mit Gezeitenrhythmus entstehen, indem sich im Schlick des Wattenmeeres eigentliche Gezeitenwarven entwickeln.

Die Gezeitenperiode dauert rund 12 Stunden 25 Minuten. Die tatsächlichen Wasserstände lassen sich mittels der harmonischen Analyse aufgliedern, einerseits in eine Anzahl periodischer, reiner Sinusschwingungen, welche die astronomisch genau voraussagbaren Halbtagstiden mit täglicher Ungleichheit und halbmonatlicher Schwebung bewirken, und andererseits in einen völlig aperiodischen Rest, der auf Luftdruck und insbesondere Windwirkung zurückgeführt werden kann (Abb. 4).

#### d) Orogene Perioden

Wie Aufschmelzung und Auskristallisation oder subkrustale Magmabewegungen, so lassen sich auch die orogenen Krustenverschiebungen vorderhand in zeitlicher Beziehung nur schwer aktuogeologisch erfassen. Ihre Analyse auf rein historisch-geologischer und tektonischer Grundlage, durch die Auswertung von Diskordanzen, von Schichtlücken, von Lagerungsstörungen und von morphologischen Symptomen ist auch heute noch zuverlässiger.

Als Zeiten intensiver gebirgsbildender Vorgänge haben sicher zu gelten das Silur mit der kaledonischen, das Karbon mit der herzynischen, die Oberkreide und das Tertiär mit der weltumspannenden alpinen Orogenese. Dazwischen lagen trägere, ruhigere Zeiten mit nur epirogenen oder lokal geosynklinalen Verstellungen der Erdkruste.

Diese alte Gliederung, die sich hauptsächlich auf die Verhältnisse in Europa stützt, deutet auf einen orogenen Rhythmus mit inkonstanter, sehr langer Periode von rund 200 Millionen Jahren hin. Aber innerhalb einer solchen orogenen Zeit dürfen wir doch keine Kontinuität der Dislokationen annehmen. Vielmehr lassen sich in allen bisher genauer erforschten Gebirgen und ihren Vorlandsedimenten – für die Alpen ist das die Molasse – einzelne orogene Teilphasen erkennen, während welchen die Bewegungen akzentuiert, die Geschwindigkeiten besonders gross gewesen sein mussten. Zwischen solchen betonten Bewegungsphasen lagen wieder Zeiten relativer Ruhe.

### IV. Aperiodische Prozesse

Bergstürze im Hochgebirge, Wasserausbrüche aus Gletschern, Uferrutschungen an Seen treten für uns kurzlebige Menschen zeitlich in völlig ungesetzmässigen, aperiodischen Intervallen auf. Sie stellen sich damit in schroffen Gegensatz zu den von Menschen viel eher überblickbaren und auch eher voraussagbaren periodischen oder kontinuierlichen Vorgängen.

Neben exogenen sind auch einzelne endogene Vorgänge aperiodisch, wie Erdbeben als spontane Energieäusserung unseres Planeten oder wie vulkanische Tätigkeit. Als Ausnahmen kennen wir allerdings auch periodische Eruptionen,

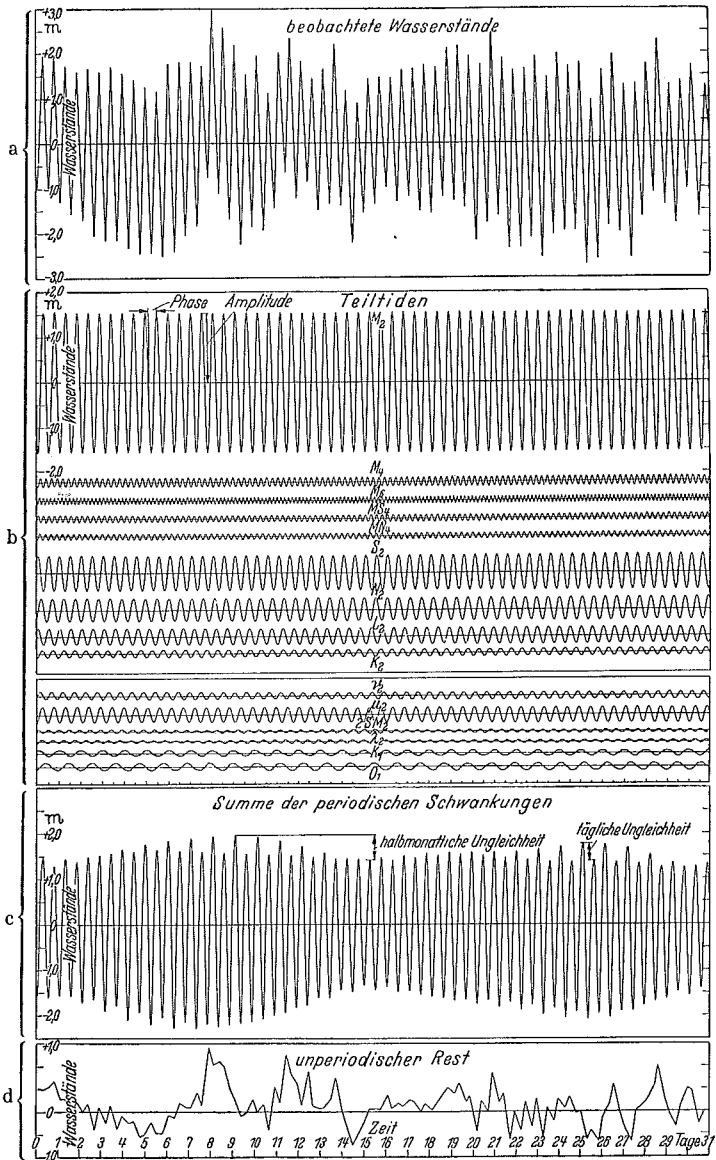


Abb. 4 Harmonische Analyse von beobachteten Wasserständen der Nordsee, zur Gezeiten-  
vorhersage gebraucht. a = Beobachtete Wasserstände. b = Harmonische Teiltiden. c = Deren  
Summe. d = Unperiodischer Rest, hauptsächlich durch Windstau verursacht.

(Nach E. SCHULTZE in: H. THORADE, Ebbe und Flut.)

wie etwa beim Stromboli im Mittelmeer oder bei einigen Geysiren im Yellowstonepark oder in Island.

Es ist eine der Aufgaben der modernen Vulkanologie, einer gewissen gesetzmässigen Periodizität von Eruptionen oder Erdbeben auf die Spur zu kommen, um so zukünftige Eruptionen etwas leichter voraussagen zu können.

## V. Überlagerung mehrerer Bewegungen

Wenn wir bisher in unseren Gedankengängen nur einzelne geologische Prozesse betrachteten, so entspricht das einer gewissen analysierenden, zerlegenden Tendenz des menschlichen Geistes, nicht aber der Natur. Die Natur ist vielfältig und duldet es durchaus, dass sich am selben Ort und zur selben Zeit verschiedene Vorgänge abspielen, deren Wirkungen sich überlagern, sich summieren oder gegenseitig aufheben.

In Holland und Norddeutschland ist das Problem der *K ü s t e n s e n k u n g* von grosser Tragweite, in seinen geologischen Ursachen aber noch stark umstritten. Am Pegel von Cuxhaven beträgt der Anstieg des Meeresspiegels in den letzten 75 Jahren im Mittel 3 mm/Jahr, wesentlich mehr, als glazial-eustatisch erklärt werden könnte. Krustenbewegungen kommen wohl noch hinzu, die Frage ist nur, ob glazial-isostatisch bedingte als Ausgleich zu jenen von Fennoskandien oder aber echt tektonisch-epirogenetische. Als weitere Komponente gesellt sich noch die rein diagenetische Konsolidationssetzung der jungen Alluvionen mit ihren teils mächtigen Torfhorizonten hinzu.

Alle diese Bewegungen sind in der Grössenordnung von 100 Jahren kontinuierliche, aber so langsame, dass ihre *S u m m e* wohl registriert, aber noch kaum mit Sicherheit in ihre theoretisch möglichen *E i n z e l k o m p o n e n t e n* aufgelöst werden kann. Selbst ihre Summe liegt dann, wenn sie alljährlich kontrolliert wird, nur wenig ausserhalb der Messgenauigkeit und fremder Störungseinflüsse. Das langjährige Mittel aber, das allgemein die Senkungs- oder Hebungstendenz eines Objektes sicherer angibt, ist zeitlich wieder zu wenig analytisch, zu summarisch, um charakteristische Feinheiten in Funktion der Zeit der einen oder anderen Teilkomponente sicher erkennen zu lassen.

Eine ähnlich verwirrende Superposition von drei Einzelfaktoren, diesmal periodischen, führte zur sogenannten «*S t r a h l u n g s k u r v e*» von MILANKOVITICH, dem Lieblingsthema der Paläoklimatologen in den vergangenen drei Jahrzehnten, sollte mit ihrer Hilfe doch die Ursache der Eiszeiten erkannt und die absolute Chronologie des Quartärs aufgestellt werden können. Es handelt sich dabei um die Änderung der Ekliptikschiefe, um die Wanderung des Perihels und um die Änderung in der Exzentrizität der Erdbahn.

Die Strahlungskurve ist ein lehrreiches Beispiel dafür, wie aktualistische Veränderungen der Erdbahnelemente in ihrer Superposition auf eine gefährlich lange Zeit zurück extrapoliert wurden, obschon deren einzelne Perioden und Amplituden teilweise noch recht ungenau bekannt sind, weil eben die Be-



obachtungszeit für sie noch zu kurz war. Und bei der geologischen Interpretation dieser Kurve wurde ihr ein Wert beigemessen, der mit dem *logischen Zwang* geologischer Aufschlüsse und den darauf gegründeten geologischen Schlussfolgerungen ganz einfach nicht übereinstimmte.

## VI. Geschwindigkeiten geologischer Prozesse

Wenn wir bisher versuchten, die verschiedensten geologischen Prozesse nach ihrem zeitlichen Ablauf zu gliedern in kontinuierliche, in periodische, in aperiodische, so haben wir doch auch das Bedürfnis, über die Geschwindigkeiten etwas auszusagen, das heisst über die Veränderung pro Zeiteinheit. Damit schneiden wir einen etwas problematischen Gegenstand an, denn was soll als Geschwindigkeit eines geologischen Prozesses gelten?

Bei kontinuierlichen Vorgängen ist der Begriff der Geschwindigkeit eindeutig. Aber sie ist dann meist dermassen klein, dass sie sich aktuogeologisch kaum erfassen, nicht oder mindestens nicht genau messen lässt. Wir erinnern uns bei dieser Gelegenheit an die gleichmässige Sedimentation des Globigerinenschlammes im Atlantik, von welchem nach KUENEN in postglazialer Zeit rund 1,2 cm in 1000 Jahren oder 0,012 mm/Jahr deponiert wurden.

Bei periodischen Prozessen dagegen gibt es bereits eine momentane Geschwindigkeit, die periodisch an- und abschwilt und gelegentlich auf Null zurückgeht, und eine mittlere, welche die Einzelperioden ausgleicht. Wir denken da beispielsweise an die Erniedrigung der Erdoberfläche durch Kalkauslaugung, die in den Alpen grössenordnungsmässig 0,03 mm/Jahr beträgt und an der Erdoberfläche selbst nicht messbar ist, sondern nur aus dem Kalkgehalt der Flüsse rechnerisch abgeleitet werden kann. Aber in unserem Klimabereich zeigt diese Auslaugung eine starke jahreszeitlich bedingte Periodizität, indem im Sommer die grössere Wasserführung auch eine verstärkte Auslaugung verursacht. Im bündnerischen Rheingebiet war 1952 das Verhältnis des minimalen zum maximalen Monatsmittel wie 1:5 (Abb. 5).

Aperiodische Vorgänge schliesslich sind bezüglich ihrer Geschwindigkeit noch schwieriger zu erfassen. Die Geschwindigkeit pro Ereignis ist meist noch einigermassen definierbar und auch bestimmbar. Aber was soll als Mittel genommen werden?

Der Bergsturz von Elm dauerte vom Abbruch bis zum völligen Stillstand der Bergsturzmassen rund 30 Sekunden. Als Ereignis lässt sich hier ohne weiteres eine Geschwindigkeit des bewegten Gesteins ausrechnen. Aber auf den Abbauprozess der Alpen, der im mittleren Tertiär, also vor rund 40 Millionen Jahren, begann und in den kommenden 40 Millionen Jahren noch nicht abgeschlossen sein wird, lassen sich diese 30 Sekunden der Katastrophe von Elm nicht ohne weiteres übertragen.

Während Jahrhunderttausenden war die Bewegung am Tschingelberg hinter Elm gleich Null. Dann, am 11. September 1881, um 17 Uhr 36, schnellte sie

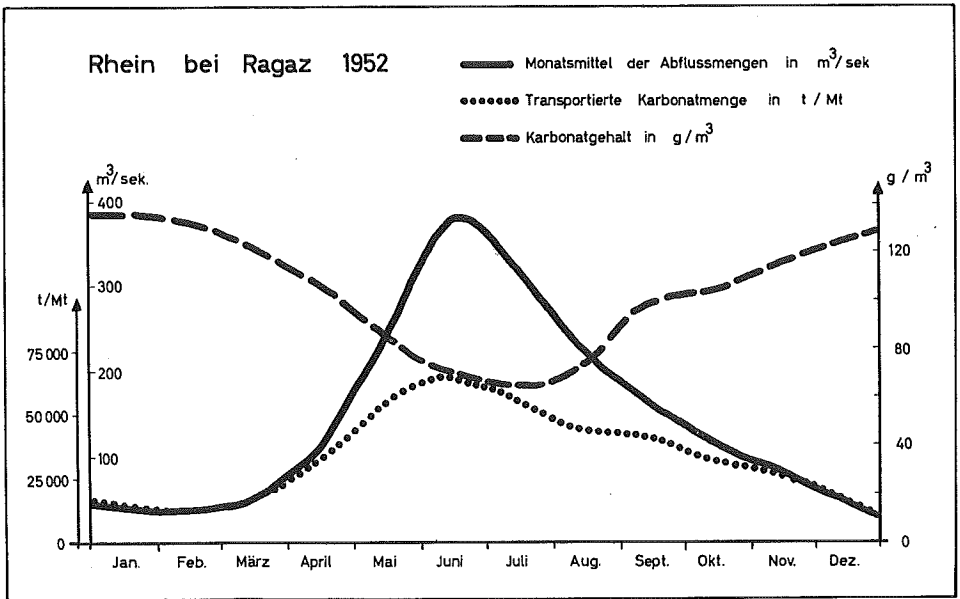


Abb. 5 Monatsmittel 1952 von Abfluss, Karbonatgehalt und transportierter gelöster Karbonatmenge des Rheins bei Ragaz, mit ausgeprägter jahreszeitlicher Periode. (Nach Karbonatbestimmungen des Verfassers.)

plötzlich für einige Augenblicke auf 20 bis 30 m/s hinauf und beträgt seither wieder Null.

In der Frühe des 18. April 1906 wurde die Bevölkerung San Franziskos durch schwere Erdbeben aus dem Schläfe gerüttelt, die die blühende Weltstadt fast ganz zerstörten. Sie dauerten rund  $3\frac{1}{2}$  Minuten, die Nachbeben nicht eingerechnet. Längs der gefürchteten San-Andreas-Linie, einer aktiven Erdbebenlinie von rund 800 km Länge, waren in diesen Minuten seitliche Blattverschiebungen von 2 bis 4,5 m eingetreten. Von anderen Verwerfungslinien sind auch vertikale Verstellungen von mehreren Metern bekannt, die sich ebenfalls im Verlaufe von Minuten bildeten.

Der Geologe hat das Bedürfnis, auch für solche kurz dauernden Einzelereignisse Mittelwerte zu bilden, damit die geologische Wirkung solcher Ereignisse quantitativ mit anderen Vorgängen verglichen werden kann.

Völlig aperiodische Einzelereignisse, die an derselben Stelle unter Umständen überhaupt nie mehr eintreten, wie zum Beispiel Bergstürze, lassen sich in ihrer Wirkung, in ihren Massenverlagerungen, ihren Energieveränderungen extrapolieren, indem man einen Mittelwert nicht nur bezüglich der Zeit, sondern auch des Areals bildet. Summieren wir zum Beispiel alle Berg-

stürze des Alpengebietes während des 19. Jahrhunderts, dann gesellen sich zum Bergsturz von Elm jener von Goldau, von Bodio im Tessin, von Brienz in Graubünden, von Airolo, um nur einige grössere schweizerische zu nennen. Solche Summen lassen sich dann auf ein Jahr als Zeiteinheit und einen Quadratkilometer als Flächeninhalt umrechnen und auf diese Weise als Element des grossen Abtragungsprozesses eines Hochgebirges erst mit der Wirkung anderer geologischer Ereignisse quantitativ vergleichen.

Aber solche Mittelwerte sind von stark akademischer Bedeutung; die Praxis, die Technik will nicht nur Mittelwerte, sie will vielmehr konkrete, reale Einzeldaten, Extremwerte. Die Geschiebemenge einer extremen Hochwasserspitze interessiert den Ingenieur meist mehr als ein Jahresmittel, und doch kommen wir für die geologische Erfassung von Prozessen ohne Mittelwerte ganz einfach nicht aus.

Lässt sich für Geschwindigkeiten *exogener* Vorgänge meistens jene für ein langjähriges Mittel, für eine Periode oder einen Einzelprozess zeitlich und örtlich einigermaßen genau angeben, so kann das von *endogenen* Vorgängen in der Regel kaum mehr behauptet werden.

Geschwindigkeiten vertikaler Krustenbewegungen sind bis heute nur in glücklichen Ausnahmefällen direkt gemessen worden, beispielsweise für die kontinuierliche Hebung in Skandinavien, für aperiodisch ruckweise Verstellungen in Kalifornien und Japan und andern Erdbebengebieten. Geschwindigkeiten horizontaler Verschiebungen lassen sich ebenfalls vorwiegend im Zusammenhang mit Erdbeben direkt messen. Bei allen übrigen epirogenen wie orogenen Krustenverstellungen sind wir vorderhand noch auf die rein geologische Interpretation von Bewegungsanzeichen angewiesen, wobei wir erfahrungsgemäss als Ergebnis nur Summen über sehr lange Zeiträume erhalten.

Bereits wurde die seit etwa 10 000 Jahren anhaltende Hebung Fennoskandiens erwähnt mit Vertikalbewegungen von etwa 10 mm/Jahr. In ähnlicher Grössenordnung müssen die Geschwindigkeiten horizontal gerichteter Deckenüberschiebungen liegen, wie wir sie für die Alpen annehmen, die bei Überschiebungsbeträgen von rund 50 km in 5 Millionen Jahren ebenfalls Mittelwerte von etwa 10 mm/Jahr erreicht haben müssen, welche Werte kurzfristig wohl noch überschritten worden sind.

Noch grössere Geschwindigkeiten verlangen die eigentlichen Kontinentaldriften: wenn vorausgesetzt wird, dass sich Südamerika und Afrika seit der Auflösung des alten Gondwanakontinentes um rund 5000 km in 200 Millionen Jahren voneinander entfernt haben, so entspricht das einer mittleren Driftgeschwindigkeit von rund 25 mm/Jahr.

Die genannten Zahlen sind extreme Mittelwerte. Vertikalbewegungen über längere Zeitdauer sind langsamer, in orogenen Phasen liegen sie zwischen 1 und 0,1 mm/Jahr, in epirogenen sind sie nochmals um eine Zehnerpotenz geringer.

Das sind Schätzungen mittlerer Geschwindigkeiten von Krustenbewegungen. Wie weit es sich aber dabei um diskontinuierliche handelt, in welchen Grenzen die Geschwindigkeit schwankt, wissen wir kaum. Vertikale Bewegungen lassen

sich übrigens wesentlich exakter erkennen als horizontale, weil sie sich in der Sedimentation beziehungsweise Erosion abzeichnen. Sie sind denn auch seit weit über 100 Jahren unumstritten anerkannt, wogegen die Lehre von den grossen Kontinentalverschiebungen neben Befürwortern auch weiterhin noch Gegner unter den führenden Geologen besitzt.

## VII. Zusammenfassung

Kontinuierliche Vorgänge in der Geologie sind häufig, aber sie dauern nur eine begrenzte Zeit und sind auch dann nur für eine begrenzte Grössenordnung der Zeit tatsächlich kontinuierlich. Ihre Kontinuität ist damit in zweifacher Hinsicht beschränkt.

Periodische Prozesse mit konstanter Periode: Gezeiten, Tagesperiode, Jahresperiode, verdanken ihre Periodizität astronomischen Ursachen. In der Geologie finden wir sie fast ausschliesslich bei den exogenen Vorgängen.

Periodische Prozesse mit inkonstanter Periode nehmen in der Erdgeschichte einen grossen Raum ein; sie sind kennzeichnend für die weltumspannenden epirogenen wie orogenen Krustenbewegungen und deren Auswirkungen als Transgressionen und Regressionen, als Sedimentations- und Erosionsphasen im exogenen Kreislauf der Stoffe.

Aperiodische Vorgänge finden wir schliesslich dort, wo wir ein eng begrenztes Gebiet über eine eng begrenzte Zeit untersuchen. Verzichten wir aber auf die örtliche Enge und überblicken wir auch eine längere Zeitspanne, dann ordnen sich solche aperiodische Prozesse, die wir anthropozentrisch oft als Naturkatastrophe empfinden, in einen gesetzmässigen Ablauf ein, der fast stets ebenfalls einen gewissen periodischen Charakter zeigt.

Einmalig ist in der Geologie eigentlich nichts. Einmalig war nur die Schöpfung.

## Literaturverzeichnis

- BUBNOFF, S. VON (1954): Grundprobleme der Geologie. Akademie-Verlag Berlin.
- CLOSS, H. (1947): Gespräch mit der Erde. R. Piper & Co., Verlag, München.
- Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (1952): Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz.
- Gemeinsame Rheinkommission (1949): Jahresbericht für das 54. Baujahr. Rorschach 1949.
- GOGARTEN, E. (1909): Messungen der Schlammführung von Gletscherbächen. Z. f. Glkunde, 3. Bd.
- HÄNTZSCHEL, W. (1936): Die Schichtungs-Formen rezenter Flachmeer-Ablagerungen im Jade-Gebiet. Senckenbergiana, Bd. 18, Nr. 5/6.
- HÜLSEMANN, J. (1955): Grossrippeln und Schrägschichtungsgefüge im Nordsee-Watt und in der Molasse. Senckenbergiana Lethaea, Bd. 36, 1955.
- KLEBELSBERG, R. VON (1948): Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie. Wien.
- KORN, H. (1938): Schichtung und absolute Zeit. N. Jb. f. Min. usw. Beilageband 74, Abt. A.

- KUENEN, PH. H. (1950): *Marine Geology*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- NIPKOW, F. (1920): Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsetzes im Zürichsee. *Zeitschr. f. Hydrologie*, Aarau.
- RITTMANN, A. (1936): *Vulkane und ihre Tätigkeit*. Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart.
- SCHINDEWOLF, O. (1950): *Der Zeitfaktor in Geologie und Paläontologie*. Stuttgart.
- SCHMIDT-THOMÉ, P. (1955): Zur Frage quartärer Krustenbewegungen im Alpen- und Voralpengebiet des Isartalbereichs. *Geolog. Rundschau*, Bd. 43, Heft 1.
- STAUB, R. (1934): *Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie*. Denkschriften der Schweiz. Natf. Ges., Bd. 69, Abh. 1.
- (1945): *Die Gebirgsbildung im Rahmen der Erdgeschichte*. Verhandlungen der SNG, Sils 1944.
- TERZAGHI, K., and PECK, R. B. (1948): *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- THORADE, H. (1941): *Ebbe und Flut*. Verlag Julius Springer, Berlin.
- TRASK, P. D. (1939): *Recent marine Sediments*. London.
- TRÜMPY, R. (1949): *Der Lias der Glarner Alpen*. Denkschr. Schweiz. Natf. Ges., Bd. 79, Abh. 1.
- UMBGROVE, J. H. F. (1947): *The Pulse of the Earth*. Verlag Martinus Nijhoff, The Hague.
- WAGNER, G. (1950): *Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte*.