

**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae  
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft  
**Band:** 65 (1972)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Elemente einer Anthropogeologie  
**Autor:** Jäckli, Heinrich  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-164072>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Elemente einer Anthropogeologie

Von HEINRICH JÄCKLI, Zürich

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Beziehungen zwischen Mensch und geologischem Geschehen, kurz als Anthropogeologie bezeichnet, lassen sich in folgende Elemente gliedern: Nutzung mineralischer Rohstoffe; Anpassung an die geologischen Gegebenheiten; aktive Einflussnahme auf geologische Gegebenheiten und Vorgänge. Zu den letzteren gehören neben den bewussten Veränderungen und den zwar nicht gewollten, aber immerhin tolerierten Eingriffen jene menschlichen Massnahmen, die ungewollte und vom Menschen nicht mehr beherrschte geologische Wirkungen zeitigen.

Da solche menschlichen Eingriffe früher fehlten, dürfen die heutigen Vorgänge, soweit sie vom Menschen beeinflusst werden, nicht vorbehaltlos auf Vergangenheit und Zukunft extrapoliert werden, wie das nach den Regeln des Aktualismus für reine Naturvorgänge der Fall wäre.

## RÉSUMÉ

Les relations entre l'homme et les phénomènes géologiques – ou Anthropogéologie – peuvent être groupées de la manière suivante: utilisation de matières premières minérales, adaptation aux conditions géologiques existantes, interventions actives dans des données et processus géologiques. Dans cette dernière catégorie se rangent, outre les modifications sciemment introduites par l'homme et les modifications involontaires mais néanmoins considérées comme tolérables, les interventions entraînant des conséquences géologiques imprévues qui échappent au contrôle de l'homme.

Dans le passé, de telles interventions humaines n'existaient pas. C'est la raison pour laquelle on ne peut pas extrapoler sans réserve dans le passé et l'avenir les processus géologiques actuels, si ceux-ci sont influencés par l'homme. Dans ce dernier cas, les règles de l'actualisme, valables lorsqu'il s'agit de processus purement naturels, ne sont applicables qu'avec restriction.

## ABSTRACT

The relationships between man and geological processes, called anthropogeology, can be classified as follows: Exploitation of mineral deposits, adaptation to the geological environment, active influence upon geological environments and geological processes. The third point not only includes such geological processes introduced and sustained by purpose, or tolerated as a consequence of human activity, but also all geological effects, which are not intended and beyond control of man, but are the result of his intervention into the geological environment.

Until recent time human influence on geological processes was inexistant. Geological processes of the present time, as far as they are influenced by man, are therefore not subject to the principle of actualisme, as this is the case for purely natural phenomena. This means that such processes cannot be extrapolated without restriction, neither into the past nor the future.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung . . . . .	2
I. Nutzung mineralischer Rohstoffe . . . . .	2
II. Anpassung an die geologischen Gegebenheiten . . . . .	5
A. Statische Elemente: Baugrundverhältnisse . . . . .	5

	Seite
B. Dynamische Elemente . . . . .	5
1. Gebiete aktiver Sedimentation oder Erosion . . . . .	5
2. Aktive Vulkan- und Erdbebengebiete . . . . .	6
C. Hydrogeologische Elemente . . . . .	6
III. Aktive Einflussnahmen auf geologische Gegebenheiten und Vorgänge . . . . .	6
A. Bewusste Veränderungen . . . . .	6
1. Flussumleitungen . . . . .	6
a. Alte Eingriffe . . . . .	6
b. Der Kanderdurchstrich . . . . .	7
c. Das «Linthwerk» . . . . .	7
d. Die «Juragewässerkorrektion» . . . . .	8
2. Flusseindämmungen . . . . .	9
a. Unterdrückung der künstlichen Aufschotterung . . . . .	9
b. Künstliche Kolmatierung in der Talsohle . . . . .	9
3. Wildbachverbauungen . . . . .	10
4. Küstenbauten . . . . .	10
B. Schwächliche, inkonsequente Eingriffe . . . . .	11
C. Nicht gewollte, aber in Kauf genommene Eingriffe . . . . .	11
1. Künstliche Hohlformen . . . . .	11
2. Künstliche Vollformen . . . . .	12
3. Auswirkungen künstlicher Stauseen . . . . .	12
D. Künstliche Eingriffe mit ungewollten, nicht beherrschten Wirkungen . . . . .	12
1. Bergstürze . . . . .	12
2. Rutschungen . . . . .	13
3. Erosionen . . . . .	13
4. Faziesveränderungen . . . . .	13
5. Veränderungen am Grundwasser . . . . .	14
6. Künstliche Seismizität . . . . .	15
7. Terrainsetzungen . . . . .	15
a. Durch Grundwasserabsenkungen . . . . .	15
b. Durch Erdöl- und Erdgasproduktion . . . . .	16
c. Durch Bergbau . . . . .	16
8. Eustatische Schwankungen des Meeresspiegels . . . . .	16
IV. Einschränkung des Prinzips des Aktualismus . . . . .	17
Literaturverzeichnis . . . . .	18

## Einleitung

Als Anthropogeologie versteht man die Beziehungen zwischen Mensch und geologischem Geschehen, und zwar sowohl solchem der Vergangenheit als auch der Gegenwart und der Zukunft (HÄUSLER 1959).

Der Geologe, der Rohstoffe abbaut, der den Bauingenieur bei seinen Bauten unter und auf der Erdoberfläche berät, der bei Wildbachverbauungen, bei Fluss- und Küstenbauten mitwirkt, kurz, der Ingenieurgeologie im weitesten Sinne betreibt, erlebt diese Beziehungen intensiv und ständig. Es sei daher einmal prinzipiell die Frage gestellt, welcher Art diese Beziehungen zwischen Mensch und geologischem Geschehen sind, und im folgenden versucht, sie systematisch zu ordnen.

## I. NUTZUNG MINERALISCHER ROHSTOFFE

Der Bauunternehmer pflegt dem Geologen die Frage zu stellen, wo er eine Kiesgrube eröffnen soll, aus der er sauberen, sandigen, lehmfreien Kies von konstanter

Qualität in möglichst grosser Menge zu möglichst billigem Preis abbauen kann, aber ohne unerwünschte Immissionen zu verursachen, d. h. ohne das Grundwasser zu beeinträchtigen, ohne gefasste Quellen abzugraben und ohne eine hässliche Wunde in der Landschaft zu erzeugen. Ein Tonwarenfabrikant wird dieselben Fragen hinsichtlich des Abbaus von Ton, eine Zementfabrik bezüglich Kalk und Mergel, eine Saline oder Sodafabrik bezüglich Steinsalz stellen.

Im einen wie im andern Fall studiert der Geologe die stratigraphischen und lithologischen Verhältnisse, die morphologisch oder tektonisch bedingten Begrenzungen und berät den Rohstoffproduzenten, wo, in welcher Menge und in welcher Qualität die natürlichen mineralischen Rohstoffe vorhanden seien und wie sie zweckmässig abgebaut werden könnten.

Analoge Fragen werden dem Mineralogen gestellt, der die Erzlagerstätten qualitativ und quantitativ zu erfassen versucht und so ermöglicht, dass der moderne Mensch über alle nutzbaren Metalle in fast beliebiger Menge verfügen kann.

Aber der Mensch verlangt auch nach Energie in beliebigen Mengen, und auch da ist es wieder der Geologe, der die Kohlelager aufgespürt und ihren Abbau begleitet; es ist der Geologe, der die Erdöl- und Erdglaslagerstätten systematisch aufsucht und verfolgt und ihre Nutzung aus Bohrungen begleitet. Es ist der Mineraloge, der seit knapp 30 Jahren systematisch Uranmineralien sucht, die früher als Kuriosa und Raritäten die Naturalienkabinette zierten und heute als hochkonzentrierte Energieträger die Energieproduktion der Weltwirtschaft zu revolutionieren im Begriffe sind.

Alle diese Gesichtspunkte, Aufgaben und Tätigkeiten des Geologen lassen sich unter dem Titel: «Der Mensch nutzt die mineralischen Rohstoffe» zusammenfassen. Ist es nicht ein Triumph der Geologie und der Geologen, bisher stets genügende Mengen an mineralischen Rohstoffen, an Erzen, an Kohle und Erdöl gefunden zu haben? Aber wie lange noch? Wie gross sind die Reserven? Das abzuklären ist ebenfalls Geologenarbeit.

Wo der Mensch etwas abbaut, das nicht im selben Ausmass neu gebildet wird, betreibt er Raubbau.

Als ein Beispiel eines Rohstoffes unseres Landes, der für die kommenden Generationen zur Mangelware werden wird, sei der Kies angeführt. Wenn wir aus Gründen des Grundwasserschutzes den Kies in den Schutzzonen rund um die Fassungen und unterhalb des Grundwasserspiegels nicht abbauen, sondern nur im trockenen Bereich über dem Grundwasser und jene Gebiete, die heute schon oder in Zukunft für Bauzonen ausgeschieden sind, nicht berücksichtigen, werden beim heutigen Ausmass des Abbaus die abbaubaren Kiesvorräte unseres Landes in wenigen hundert Jahren aufgebraucht sein. Wird der Kiesabbau aber in gleichem Masse wie in den vergangenen Jahren gesteigert, so werden die Vorräte entsprechend früher zur Neige gehen.

Auf Figur 1 sind für den Kanton Aargau, einen der kiesreichsten Kantone der Schweiz, diese Verhältnisse graphisch dargestellt. Auf der Abszisse ist die Zeit in Jahren, auf der Ordinate die im Jahre 1970 noch vorhandenen geschätzten Kiesvorräte aufgetragen. Da 1970 der Kiesabbau rund 3 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr betrug, würden bei konstanter Abbauquote nach 466 Jahren die Reserven von 1970 aufgebraucht sein, gemäss der diagonalen Geraden, die links unten beginnt. In den letzten 4 Jahren betrug die jährliche Zunahme des Abbaus rund 0,25 Mio. m<sup>3</sup>; würde diese Quote der Zunahme auch in Zukunft aufrechterhalten, so würde die Abbaukurve statt einer Ge-



raden eine parabelförmige Kurve sein, gemäss der schon nach 95 Jahren die heutigen Reserven aufgebraucht sein würden. Nun findet aber gleichzeitig eine Verminderung des abbaubaren Teils der Kiesreserven durch Überbauung von Kiesland und durch eine verstärkte Grundwassernutzung statt, die auf Figur 1 als gestrichelte Kurve, die links oben beginnt, dargestellt ist. Wo die beiden genannten Kurven sich schneiden, d. h. in 78 Jahren, würde der dannzumal noch vorhandene abbaubare Kiesvorrat aufgebraucht sein.

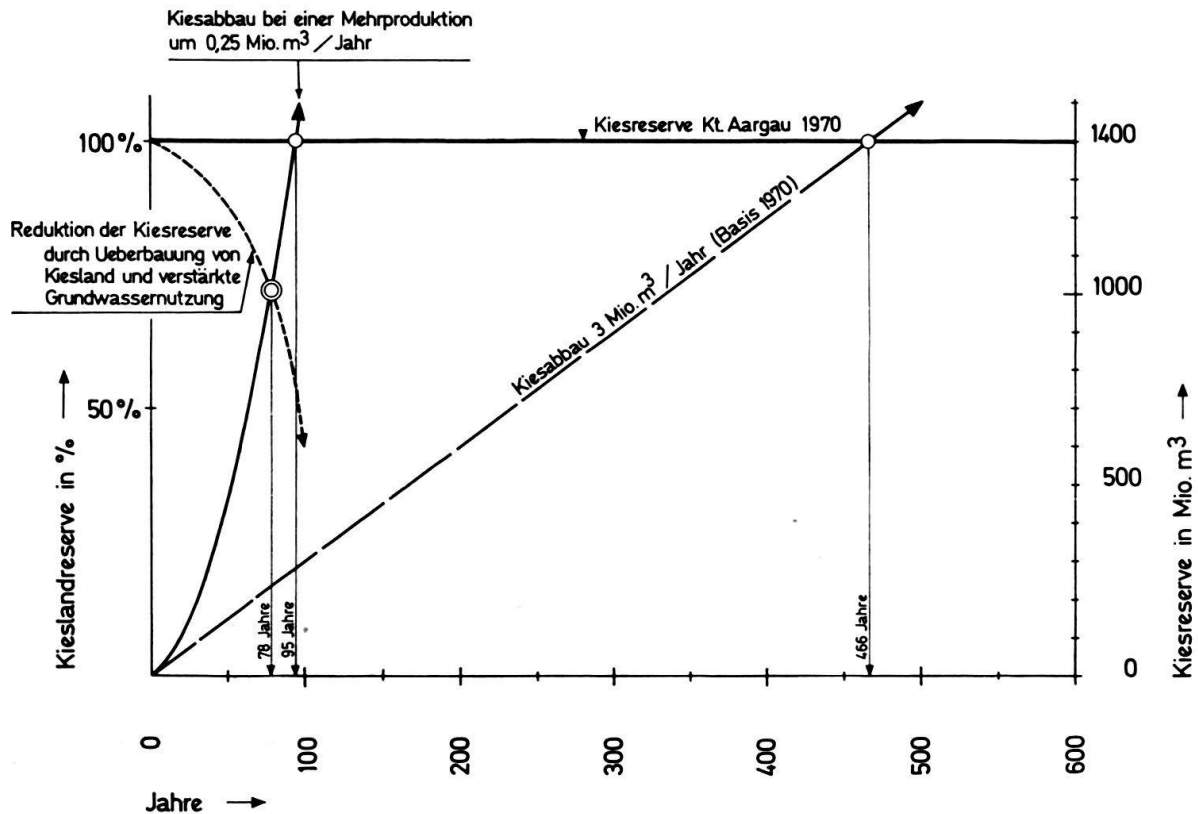


Fig. 1. Verhältnis von Kiesreserve zu Kiesabbau im Kanton Aargau in Funktion der Zeit.

Die Schätzung der Vorräte und des Ausmasses ihrer zukünftigen Reduktion ist selbstverständlich ungenau; trotzdem zeigt das Diagramm unmissverständlich, dass wir die Steigerung des Kiesabbaues, wie sie in den letzten Jahren vor sich ging, nicht weitertreiben können, wollen wir die natürlichen Vorräte nicht auf Kosten der Nachwelt viel zu früh aufbrauchen.

Auch das Grundwasser kann man als nutzbaren Rohstoff betrachten und darauf achten, dass man davon dem Boden nicht mehr entnimmt, als fortlaufend neu gebildet wird, sei es durch die Versickerung der Niederschläge, sei es durch die Infiltration von Oberflächenwasser. Die weltweite Erscheinung eines Absinkens des natürlichen Grundwasserspiegels als Folge der modernen Grundwassernutzung beweist aber, dass diese Regel nicht überall beachtet wird und dass in sehr grossen Gebieten heute ein Raubbau an Grundwasservorräten getrieben wird, der zu einer Störung natürlicher Gleichgewichte führen muss.

## II. ANPASSUNG AN DIE GEOLOGISCHEN GEGEBENHEITEN

### A. Statische Elemente: Baugrundverhältnisse

Der Mensch sucht sich mit seinen Bauten möglichst zweckmässig den vorhandenen, einmal gegebenen geologischen Verhältnissen anzupassen. Der vorsichtige Ingenieur fragt deshalb den Geologen, wie der Baugrund, auf dem er zu bauen wünscht, zusammengesetzt, wie die Setzungsempfindlichkeit einzuschätzen, welche Bodenpressung in welcher Tiefe zulässig und wo der Grundwasserspiegel voraussichtlich anzutreffen sei. Er fragt den Geologen, wie die Stabilität einer natürlichen Böschung zu beurteilen sei, wie die Begrenzung einer Rutschung verlaufe und wie man mit einem projektierten Stollen, mit einer projektierten Strasse oder mit einer Hochspannungsleitung dieser Rutschung ausweichen könne. Er fragt den Geologen, wo die geologisch günstige Stelle für die Plazierung einer Staumauer liege, wie die Dichtigkeit eines vorgesehenen Staubeckens zu beurteilen wäre, durch welche geologischen Formationen der vorgesehene Druckstollen führen werde und mit welchen stollenbautechnischen Schwierigkeiten dort gerechnet werden müsse.

Diese Fragen abzuklären ist Aufgabe des Geologen, um dem Ingenieur zu zeigen, wo und wie er sich zweckmässig den geologischen Verhältnissen mit seinen Bauten anpassen kann bzw. wo er einem schwierigen Abschnitt ausweichen soll.

Dabei hat der Geologe wenn nicht die Entscheidung zu treffen, so doch immerhin die Entscheidenden objektiv zu informieren.

Wenn z. B. der Geologe anlässlich der Begutachtung eines Strassenprojektes erkennt, dass ein bestimmter Hangabschnitt sich in langsamer Kriechbewegung befindet, so bestehen vielleicht die beiden Möglichkeiten, entweder diesen Rutschhang zu meiden, indem man ihm ausweicht, oder aber ihn zu traversieren. Häufig sind für die Entscheidung andere Momente wichtiger als die geologischen, beispielsweise die Bauzeit oder verkehrstechnische Prinzipien.

Der Geologe macht dann nicht selten die bittere Erfahrung, dass seine geologischen Warnungen nicht voll berücksichtigt werden und dass dann später, etwa bei Überschreitung eines zu optimistisch aufgestellten Kostenvoranschlages, versteckt oder offen erklärt wird, die geologische Beratung hätte versagt. Es gehört zu einer gewissen Tragik des Berufes des beratenden Geologen, gelegentlich als Sündenbock gehalten zu müssen, manchmal berechtigt, sehr oft unberechtigt.

### B. Dynamische Elemente

#### *1. Gebiete aktiver Sedimentation oder Erosion*

Die Anpassung des Menschen beschränkt sich aber nicht auf die Berücksichtigung der statischen Elemente, wie etwa des Baugrundes, sondern er berücksichtigt auch die dynamische Komponente. Dabei zeigt es sich, dass ganz allgemein der Mensch Gebiete besonderer geologischer Aktivität meidet. Er meidet Sedimentationsgebiete, die sich durch immer wiederkehrende Überflutungen auszeichnen, und meidet Erosionsgebiete, bei denen spontane Rutschungen oder Wildbachschäden aller Art zu erwarten sind. Er sucht sich vielmehr für seine Siedelungen und Verkehrswege wenn mög-

lich Gebiete geringster geologischer Aktivität aus. Dass dieser Wunsch nach geologischer Ruhe selbstverständlich in grossen Gebieten der Erde Wunsch bleibt und nicht realisiert werden kann, liegt auf der Hand.

## *2. Aktive Vulkan- und Erdbebengebiete*

Aktive Vulkane empfindet der Mensch zwar als zu meidende Gefahrenherde, doch lässt er sich von ihnen nur relativ kurzfristig beeindrucken, wie das, stellvertretend für unzählige andere Vulkangebiete, die Region des Vesuv demonstriert, wo die fruchtbare vulkanische Asche, die unter sich Herculaneum und Pompeji begraben hat, den Bauern doch immer und immer wieder zur Bewirtschaftung und Besiedlung lockt.

Es wäre zu erwarten, dass der Mensch auch die aktiven Erdbebenzonen meidet. Aber ähnlich wie bei den Vulkanen lässt er sich erfahrungsgemäss nur kurzfristig von solchen Gefahrenzonen fernhalten. Die berühmte San Andreas Fault in Kalifornien, die 1906 San Francisco zerstörte und Hunderttausende von Opfern forderte, wurde in den letzten Jahren von den neuen Vororten San Franciscos überflutet, obschon der Geologe mit grosser Wahrscheinlichkeit voraussagen kann, dass sie sich weiterhin bewegen und dabei an den neuen Quartieren schwere Erdbebenschäden verursachen wird.

## **C. Hydrogeologische Elemente**

Wo das Wasser rar ist, sucht sich der Mensch zum Wohnen jene Stellen aus, wo zuverlässige Quellen austreten oder wo mittels Sodbrunnen Grundwasser geschöpft werden kann. Viele ursprüngliche Siedelungen in allen Klimagebieten lassen sich leicht mit diesen beiden Bedingungen erklären. Interessante Beispiele stellen die eigentlichen Oasen in den Wüstengebieten dar, wo einzelne isolierte Quellen oder nutzbare Grundwasservorkommen das Leben im sonst lebensfeindlichen Milieu überhaupt erst ermöglichen.

Dem Geologen von heute stellt sich neben der Nutzung aber auch der Schutz von Quellen und Grundwasser als Aufgabe. Nur zu oft muss er auf Ingenieure und Behörden bremsend wirken, wenn letztere Eingriffe planen, welche die heutige oder zukünftige Nutzung beeinträchtigen würden.

## **III. AKTIVE EINFLUSSNAHME AUF GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN UND VORGÄNGE**

### **A. Bewusste Veränderungen**

#### *1. Flussumleitungen*

Flussbauliche Eingriffe dürften wohl zu den ältesten Beeinflussungen geologischer Vorgänge durch den Menschen gehören.

##### *a. Alte Eingriffe*

Aus der Innerschweiz ist die Ableitung des Renggbaches bei Littau bekannt, dessen Felsbett im Rengloch besonders 1572–1577 (nach KAPPELER) künstlich vertieft

wurde, um ein Überfließen bei Hochwasser gegen Kriens und Luzern zu verhindern (ROESLI 1965).

Ferner ist bekannt, dass in den Jahren 1591 und 1592 bei Zug der Ausfluss der Lorze aus dem Zugersee vertieft wurde, um den Seespiegel abzusenken und Uferüberflutungen zu verhindern. Ähnliche Seeabsenkungen wurden in der Folge auch am Sempachersee und Baldeggersee versucht.

Nach BUSINGER (1836) «floss im Kt. Nidwalden die Aa oder das Aawasser, ehemals Surnen genannt, über den Stanserboden nach Stansstaad, wurde aber durch einen Vertrag des Flössens wegen nach Buochs genommen».

#### *b. Der Kanderdurchstich*

Neben diesen spätmittelalterlichen Flussablenkungen und Flussvertiefungen als menschliche Eingriffe von eher bescheidenem Umfang in das natürliche hydrologische Geschehen erscheint dann die Ableitung der Kander in den Thunersee als eine Massnahme von imposanter Kühnheit. Bis 1714 war die Kander durch das jetzige Glütschbachtälchen in die Aareebene geflossen und hatte die Aare auf der Höhe der Zulgmündung erreicht. Kander und Zulg, beides geschiebereiche Wildbäche, benützten die Aareebene von Thun bis gegen Uttigen als Sedimentationsraum und verursachten gleichzeitig einen Rückstau der Aare, was zu häufigen Überflutungen am Thunerseeufer führte. Die Bewohner der Aareebene hatten allerdings diese geologischen Verhältnisse als unveränderliche Gegebenheiten empfunden und sich ihnen angepasst, die Siedelungen und Verkehrswege den überschwemmungssicheren Flanken der Ebene entlang angelegt und anderseits das eigentliche Sedimentationsgebiet der Talsohle gemieden.

Auf Weisung des Grossen Rates von Bern wurde am 1. April 1711 mit der Ableitung der Kander in den Thunersee begonnen. Als diese Arbeiten einen grösseren Aufwand verursachten als ursprünglich vorgesehen war, wurde der Strättlinger Hügel nicht im offenen Einschnitt, sondern im bergmännisch erstellten Tunnel durchstossen und dieser Tunnelstrecke im Moränenmaterial ein Gefälle von  $6\frac{1}{2}\%$  gegeben. Als dann 1714 die Kander durch dieses künstliche Bett als Hochwasserentlastung dem Thunersee zugeführt wurde, brach der Tunnel zusammen, und der Fluss vermochte dank der rückschreitenden Erosion flussaufwärts rasch das Bett so zu vertiefen, das gar kein Wasser mehr das alte Glütschtälchen hinunterfliessen konnte, sondern sich das gesamte Kanderwasser in den Thunersee ergoss. In kurzer Zeit war rückwärts bis zur Einmündung der Simme in die Kander das Flussbett um volle 21 m vertieft worden, während sich am Thunerseeufer ein entsprechendes Flussdelta aufbaute (BECK 1943, GROSJEAN 1962).

#### *c. Das «Linthwerk»*

Rund 100 Jahre später erfolgte ein weiterer künstlicher Eingriff in das natürliche Sedimentationsgeschehen einer Alluvialebene, nämlich die Korrektur der Linth.

In der Linthebene zwischen Walensee und oberem Zürichsee führte die Sedimentation der mäandrierenden Linth zu einem kontinuierlichen Rückstau des Walensees. In Walenstadt am oberen und in Weesen am unteren Ende des Walensees entstanden

immer häufiger schwere Überschwemmungsschäden. Eine Erhöhung der Dämme längs der alten Linth, des Niederurnerbaches und des Biltenbaches, welche die Hauptgeschiebelieferanten in der March waren, vermochte nichts zu ändern. Auch der Grundwasserspiegel stieg an und führte mit den überbordenden Seitengewässern zu einer Versumpfung der weiten Ebene. In allen Dörfern des Gasters, der March und am Walensee soll damals eine endemische Malaria geherrscht haben, welche eine erhöhte Sterblichkeit verursachte, so dass das Durchschnittsalter in diesen Dörfern um rund 10 Jahre niedriger lag als in der übrigen Schweiz.

Die Sanierung sollte nun durch das sog. «Linthwerk» erfolgen. Der Molliser Kanal, später Escherkanal genannt, sollte die Glarner Linth dem Walenberg entlang direkt in den Walensee führen. Diese wichtigste Etappe wurde am 8. Mai 1811 eröffnet. Dadurch wurde die Möglichkeit gegeben, dass die Linth von nun an ihre Sedimente direkt in den Walensee deponieren konnte und damit die Linthebene als Sedimentationsraum ausfiel. Ferner konnte der Flusslauf gestreckt und dessen Gefälle im untersten Glarnerland vergrössert werden, und schliesslich erlaubte der Walensee, die Hochwasserspitzen der Linth aus dem Glarnerland zu brechen. Als zweites wichtiges Bauwerk wurde der Linthkanal erstellt, der nun das Walenseewasser auf kürzestem Weg in den Zürichsee fliessen liess. Er wurde am 17. April 1816 eröffnet.

Mit dem «Linthwerk» als künstlichem Eingriff des Menschen in das natürliche Sedimentationsgeschehen ist der Name von HANS CONRAD ESCHER (24. August 1767 bis 9. März 1823), des ersten Ingenieurgeologen der Schweiz, eng verknüpft, wurde er doch durch die Tagsatzung mit dem Zunamen «von der Linth» geehrt, den alle seine männlichen Nachkommen tragen durften. In Ziegelbrücke steht die Gedenktafel mit der Inschrift:

«Dem Wohltäter dieser Gegend,  
Johann Conrad Escher von der Linth,  
die Eidgenössische Tagsatzung.  
Ihm danken die Bewohner Gesundheit,  
der Fluss den geordneten Lauf.  
Natur und Vaterland loben sein Gemüt.  
Eidgenossen, Euch sei er ein Vorbild!»

#### *d. Die «Juragewässerkorrektion»*

In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts wurde die Alluvialebene zwischen Murten-, Neuenburger- und Bielersee, die ähnlich wie die Linthebene unter Überschwemmungen und Versumpfungen zunehmend zu leiden hatte, grundlegend saniert, indem man die Aare, die bis dahin von Aarberg über Lyss nach Büren a. A. geflossen war, durch den künstlichen Hagneckkanal direkt in den Bielersee leitete und ihr dadurch, ähnlich wie der Linth, ein neues Sedimentationsgebiet zwies. Zudem wurde als neuer Abfluss aus dem Bielersee der Nidau-Büren-Kanal geschaffen, der die frühere Zihl zu ersetzen hatte. Unter der zielstrebigsten Leitung des Wasserbauers LA NICCA konnte am 16. August 1878 zum ersten Mal Aarewasser in den Bielersee geleitet werden; einen Teil der Vertiefung des Hagneckdurchstiches überliess man optimistischerweise der Erosionskraft der Aare selbst. 1891 wurde das grosse Werk abgeschlossen (PETER 1922).

Die seit Jahren im Gang befindliche und nächstens ebenfalls beendete zweite Juragewässerkorrektion bringt nur hydraulische Veränderungen, indem die wichtigsten



Kanal- und Flußstrecken verbreitert und vertieft werden und damit die Spiegellagen in den drei Jurarandseen konstanter als früher gehalten werden können.

## *2. Flusseindämmungen*

Um Überflutungen der Talsohle durch den Hauptfluss oder durch Seitenbäche zu verhindern, greift der Mensch seit langer Zeit zum Mittel der Dämme, welche den Fluss beidseits begleiten und ihm verunmöglichen sollen, über die Ufer zu treten. Damit verbunden sind meistens auch Begradigungen von Flusskrümmungen und Durchstiche von Mäandern, um den Flusslauf zu verkürzen und das Gefälle zu vergrößern. Dass damit eine frühere Sedimentationstendenz häufig in eine Erosionstendenz umgewandelt wird, ist in vielen Fällen erwünscht.

### *a. Unterdrückung der künstlichen Aufschotterung*

Wird nun aber der Hauptfluss durch den Bau von Längsdämmen daran gehindert, die Talsohle aufzuschottern, so zwingt man ihn, seinen Schutt an seiner Mündung im Delta abzulagern. Dadurch wird das Wachstum des Deltas beschleunigt, was zwangsläufig zu einer rascheren Erhöhung seines Bettes führt und damit wieder zu einer weiteren Erhöhung der einmal aufgeführten Längsdämme zwingt. Hat der Mensch erst einmal begonnen, Flüsse durch seitliche Längsdämme zu kanalisieren, so ist er damit zur Sisyphusarbeit der späteren Dammerhöhungen gezwungen, mit der er nie mehr aufhören kann. Es würde dem geologischen Geschehen wohl eher entsprechen, wenn der Fluss seitlich kolmatieren und so kontinuierlich die Talsohle auf ihrer ganzen Breite erhöhen könnte. Heute ist ein solches geologisches Geschehen aber bereits undenkbar, weil unterdessen die Talsohle, jene des Rheintales wie des Rhonetales oder der Poebene, mit so wertvollen Siedelungen, Fabriken und Verkehrswegen belegt ist, dass dort keine natürliche Aufschotterung jemals noch zugelassen werden kann.

### *b. Künstliche Kolmatierung in der Talsohle*

Einen interessanten und gelungenen Eingriff in das natürliche Sedimentationsgeschehen bildet die sog. «Integralmelioration des Domleschg» in Graubünden. Bei Thusis mündet der Nolla, früher einer der gefürchtetsten Wildbäche Graubündens, aus den steilen Erosionstobeln des Piz Beverin in die Rheinebene. Die Talsohle des Rheintales bestand bisher aus grobkörnigem Rheinkies rezenten Alters, der noch kaum eine nennenswerte Humusdecke zeigte und deshalb landwirtschaftlich fast unproduktiv blieb. Im Rahmen der Integralmelioration des Domleschg wurde 1940 bei Thusis eine Wasserfassung im Nolla erstellt und das schlammgesättigte Nollawasser in speziell erstellten Kanälen auf die kiesige Talsohle des Domleschg geleitet. In einzelnen durch niedrige Dämme voneinander getrennten Feldern wurde der schwarze Tonschieferschlamm zur Sedimentation gebracht, bis das feinkörnige Sediment eine Mächtigkeit von rund 80 cm erreicht hatte. Dann wurde die betreffende Fläche der landwirtschaftlichen Nutzung zur Verfügung gestellt. Der Mensch schrieb also in diesem Falle dem Wildbach vor, wo sein nährstoffreiches, feinkörniges Sediment zu sedimentieren sei. Er entlastete damit einerseits den Hauptfluss, den Hinterrhein, von diesem Sediment und bewirkte andererseits eine flächenhafte Erhöhung der Talsohle und damit verbunden eine wesentliche Steigerung der Fruchtbarkeit des Bodens.



### 3. Wildbachverbauungen

Wo ein Bach unerwünschte Tiefenerosion betreibt, kann man diese verhindern durch den Einbau von Quersperren, bei grossem Gefälle meistens in Form von eigentlichen *Sperrentreppen*. Gleichzeitig kann dadurch auch das Bett gehoben und verbreitert werden. Der Bach, der nicht mehr Tiefenerosion betreiben kann, pflegt dann mit Seitenerosien zu reagieren. Ist auch diese unerwünscht, so muss man sie mittels Leitwerken bekämpfen.

### 4. Küstenbauten

Aktive Eingriffe von imponierender Grosszügigkeit in das natürliche geologische Geschehen an der Grenze zwischen Festland und Meer demonstrieren von alters her die Bewohner der Flachküsten (E. DITTMER 1955).

Seit tausend Jahren beobachtet man eine Transgressionstendenz der Nordsee gegen das Flachland Nordwesteuropas. Die Bewohner jener Küsten wehrten sich gegen das Vordringen des transgredierenden Meeres vorerst dadurch, dass sie sog. Wurten errichteten, künstliche Hügel von 1 bis 2 m Höhe, auf denen sie ihre Siedlungen und Kirchen in sturmflutsicherer Lage erstellten. Später wurden als Schutz gegen das Vordringen der Nordsee anstelle der Wurten zusammenhängende Dämme erstellt. Die folgenschweren Dammbrüche im ausgehenden Mittelalter empfanden die Bewohner als katastrophale Überflutungen des Hinterlandes, aber geologisch war es die ganz natürliche Transgression der Nordsee über die absinkende Flachküste. Seither wird nun durch den Menschen in systematischer Arbeit jenes Land wieder dem Meer abgerungen, das es früher überflutet hatte.

Die grossen Bauten an der Zuidersee in Holland mit dem Abschlussdamm, mit der Trockenlegung des Wieringer Meeres, des Nordostpolders, des östlichen und des südlichen Flevolandes von zusammen rund 160000 ha sind die Ergebnisse der letzten 40 Jahre. Weitere Trockenlegungen folgen.

Ähnliche Projekte unter dem Namen «Deltaplan» wurden im Mündungsgebiet des Rheins und der Schelde in Angriff genommen. Von Insel zu Insel werden dort Verbindungsdämme errichtet, um die Nordsee am Eindringen in das Küstengebiet zu hindern. 700 km alter Deiche, die sonst unterhalten und weiter erhöht werden müssten, um das Hinterland wirklich schützen zu können, werden ersetzt durch 23 km lange neue Dämme, in denen Schleusen eingebaut sind, durch die das Rheinwasser ins Meer abfliessen kann. Durch diese grossen Anlagen soll der Südwestteil der Niederlande vor Überflutungen geschützt werden. Gleichzeitig dienen sie der Wasserwirtschaft, indem das Süsswasser des Rheins im Landesinnern zurückgehalten und das Salzwasser verdrängt werden soll.

Bereits steht auch ein «Wattenplan» zur Diskussion, der vorsieht, die Watteninseln, also die westfriesischen Inseln, untereinander und mit dem Festland zu verbinden, zur Trockenlegung des zwischen ihnen und dem Festland gelegenen Wattenmeeres.

Zum natürlichen und kontinuierlichen Wachstum des Festlandes seinen Rändern entlang auf Kosten des Reliefs, das sich in geologischen Zeiträumen vollzieht, gesellt sich anlässlich der Schaffung solcher Kunstküsten eine Neulandbildung, die schlagartig und abrupt erfolgt und oft dem natürlichen geologischen Rhythmus, im Falle der Nordsee der seit tausend Jahren anhaltenden Transgressionstendenz, widerspricht.

Durch den Deichbau seit dem 12. Jahrhundert werden die einstigen Überflutungsflächen beidseits der Flussmündungen der geologischen Wirkung von natürlicher Sedimentation und Erosion entzogen, während die eigentliche Konsolidationssetzung jener noch sehr losen, jungen Sedimente anhält und dadurch die einmal besiedelten und landwirtschaftlich genutzten Marschen immer weiter unter den Hochwasserspiegel des Meeres bringt. In umgekehrter Richtung verläuft die Bewegung des Meeresspiegels, die eine leicht ansteigende Tendenz aufweist, allgemein als glazialeustatische Wirkung der Eisabschmelzungen an den Polkappen und in den vergletscherten Gebirgen gedeutet.

Im Gebiet der Häfen greift der Mensch in das natürliche Verlandungsgeschehen ein und versucht, im Auftrage der Schifffahrt, durch künstliches Baggern der Schifffahrtsrinnen die natürliche Erosion zu verstärken, während umgekehrt die Küstenbewohner lieber eine vermehrte Sedimentation sehen und diese durch Buhnen und andere Küstenschutzbauten verstärken. Auch hier erleben wir eine echte Interessenkollision; die Interessen der Schifffahrt stehen jenen des Landwirtes an der Küste diametral entgegen (SIMON 1963, 1965).

### **B. Schwächliche, inkonsequente Eingriffe**

Wenn eine menschliche Massnahme, die der natürlichen Tendenz eines geologischen Vorganges zuwiderläuft, zu schwächlich getroffen oder nicht konsequent fortgesetzt wird, kann der natürliche geologische Prozess wieder durchbrechen, was der Mensch anthropozentrisch als Naturkatastrophe zu bezeichnen pflegt.

Wenn ein Hochwasserdamm eines Flusses birst, kann die Überflutung des Hinterlandes zur plötzlichen Sedimentation über weite Flächen vorher trockener Talsohle führen.

Wenn eine Rückhaltesperre in einem Wildbach beim nächsten Hochwasser bricht, kann in wenigen Minuten der Bach jene Erosionsleistung nachholen, an der er vorher durch die Sperre während Jahrzehnten oder Jahrhunderten gehindert worden war.

Am 1. Februar 1953 wurde die Südwestküste von Holland von einer Sturmflut heimgesucht, die zu Deichbrüchen und in der Folge davon zu Überschwemmungen führte, wie sie seit 1421 nie mehr eingetreten waren. 160000 ha standen unter Wasser, 1783 Tote waren zu beklagen als Folge dieses Ereignisses, das sich vor den Augen erfahrenster Wasserbauer abgespielt hatte. Aber das Land senkt sich weiter, denn es besteht aus noch jungen, unkonsolidierten Alluvionen, und umgekehrt steigt unter dem jetzigen Klimaregime eustatisch der Meeresspiegel weiter an, so dass die Differenz zwischen Spiegel des Weltmeeres und bewohnter Landoberfläche zuungunsten der letzteren immer noch grösser wird. Für eine solche Region ist es deshalb ein endloses Werk, die einmal errichteten Dämme gegen das Meer immer wieder zu erhöhen und zu verstärken, um die immer grössere Gefahr einer Überflutung sicherer abwenden zu können. Und es ist im höchsten Masse gefährlich, solche einmal begonnenen Arbeiten nicht konsequent weiterzuführen.

### **C. Nicht gewollte, aber in Kauf genommene Veränderungen**

#### *1. Künstliche Hohlformen*

Der Mensch greift auch in das natürliche Geschehen an der Erdoberfläche ein, ohne dass er bewusst geologische Veränderungen verursachen will, aber er nimmt solche in Kauf, er toleriert sie.

Zu denken ist beispielsweise an Baugruben von Strassen, Bahnen, Gebäuden, an den Bergbau, an Steinbrüche usw., wo der Mensch überall neue Hohlformen schafft, deren Material er für irgendwelche Zwecke verwendet, ohne dass er bewusst geologische Veränderungen verursachen möchte.

## *2. Künstliche Vollformen*

Korrelat zu diesen künstlichen Hohlformen schafft er aber auch künstliche Vollformen in Form von Deponien. Dazu gehören die Halden im Erz- und Kohlenbergbau, der Abraum in Steinbrüchen, in Tongruben, in Kalk- und Mergelbrüchen, der Ausbruch von Stollen und Tunnels.

Zu einem Problem besonderer Art gestaltet sich für unsere Generation die korrekte Deponierung des Kehrichts, der pro Jahr rund 200 kg pro Einwohner beträgt. Nur allzu oft muss der Geologe die Behörden darauf aufmerksam machen, dass aufgelassene Kiesgruben über genutztem Grundwasser nicht der richtige Ort dazu seien. So werden, nachdem bald alle geeigneten Ton- und Mergelgruben aufgefüllt sind, in Zukunft immer mehr natürliche Geländemulden mit lehmigem, undurchlässigem Untergrund dazu auserkoren sein, mit Kehricht aufgefüllt zu werden. Der Landwirt schätzt einen Ausgleich allzu steiler Formen, weil für ihn dadurch die landwirtschaftliche Nutzung einfacher wird, aber der Geologe bedauert den Untergang zahlreicher Geländeformen, welche geologisch bedingt sind und ihm die geologische Geschichte der Landschaft entziffern helfen.

## *3. Auswirkungen künstlicher Stauseen*

In Stauseen schafft der Mensch künstliche Sedimentationsräume, wo früher Erosion geherrscht hatte, und lässt dort limnische Sedimente zur Ablagerung gelangen, statt dieses Material durch den Fluss bis an seine Mündung transportieren zu lassen. Durch einen künstlichen Stausee werden die Hochwasserspitzen gebrochen und damit die Transport- und Erosionskraft und die Geschiebeführung seines Abflusses verringert.

## **D. Künstliche Eingriffe mit ungewollten, nicht beherrschten Wirkungen**

Das geologische Geschehen wird gelegentlich durch Eingriffe des Menschen in einer Weise beeinflusst, die durchaus ungewollt ist und deren Auswirkungen der Mensch nicht mehr beherrscht. Nicht selten spielt er dann die unrühmliche Rolle des Zauberlehrlings, der erstaunt ist, welche Folgen seine Massnahmen zeitigen, und nicht weiss, ob und allenfalls wie er sie wieder rückgängig machen kann.

### *1. Bergstürze*

Zu den wohl spektakulärsten Eingriffen dieser Art gehören die künstlich und unfreiwillig ausgelösten Bergstürze, von denen hier nur drei genannte seien:

Der Bergsturz von Plurs im Bergell, ausgelöst durch unsachgemässen Abbau von Serpentin an der Südflanke über Plurs, vom 4. September 1618, mit rund 2430 Toten; der Bergsturz von Elm, ausgelöst durch unsachgemässen Abbau von Dachschiefer oberhalb Elm im Kanton Glarus, am 11. September 1881, mit 116 Toten (HEIM 1932);

der Bergsturz des Monte Toc bei Longarone in den Südtiroler Dolomiten, ausgelöst durch die Stauspiegelschwankungen im künstlichen Stausee Vaiont, vom 9. Oktober 1963, mit rund 2000 Toten (L. MÜLLER 1964, 1968).

## *2. Rutschungen*

In die Gruppe der ungewollten Ereignisse gehört die unendliche Zahl der künstlich ausgelösten Rutschungen, sei es, dass ein Hang durch eine Baugrube oder eine Strasse angeschnitten oder dass er durch eine künstliche Auffüllung unzulässig belastet oder dass durch unvorsichtige Manipulationen sein Wassergehalt vergrößert und damit sein Scherfestigkeit verringert wurde. In jedem Fall wurde durch den menschlichen Eingriff die natürliche Stabilität so weit reduziert, dass es zum langsamen oder plötzlichen Abgleiten kam.

Wenn die Spiegellage eines Sees künstlich verändert wird, was bei künstlichen Stauseen die Regel ist, führt das unweigerlich zu einer Verringerung der Stabilität der angrenzenden Böschungen und, wo diese ohnehin prekär ist, zu einem spontanen Ufer-rutsch.

Es gehört zum täglichen Brot des beratenden Geologen, den Ingenieur und den Bauunternehmer vorgängig der Bauausführung auf solche Gefahren aufmerksam zu machen oder auch nachträglich Bauherrschaft, Behörden und Versicherungen darüber aufzuklären, ob ein Rutsch durch den Eingriff des Menschen ausgelöst worden sei und damit einen Haftpflichtfall darstelle oder ob er als ein natürliches Ereignis aufzufassen sei, beispielsweise verursacht durch plötzliche Gewitterniederschläge, und damit in die Gruppe der Naturereignisse gehöre. Dass es dabei echte Grenzfälle gibt, ist selbstverständlich.

## *3. Erosionen*

Dass Kahlschläge oder unvorsichtige Beschädigung des Waldes durch den Weidgang der Ziegen zu verstärkter Erosion, zur Bildung von Wildbächen und damit zur verstärkten Schuttsedimentation in den Überschwemmungsgebieten Anlass geben, gehört fast zu den geologischen Gemeinplätzen. Analoges gilt für die bei zu einseitiger landwirtschaftlicher Bewirtschaftung ungewollt entstehenden «Badlands», jene feinziselierten, grossflächigen Erosionsstrukturen in Löss- und Sandöden, die beweisen, dass Kulturpflanzen einen viel bescheideneren Erosionsschutz darstellen als die natürliche Vegetation (ENGLER 1919).

Auch das Spiel von Erosion und Akkumulation, das bei Flüssen meist um ein höchst labiles Gleichgewicht pendelt, wird vom Menschen gelegentlich in einer ungewollten Richtung beeinflusst. Wenn beispielsweise im Einzugsgebiet eines Flusses Wildbachverbauungen erstellt oder Kiesbaggerungen ausgeführt werden, kann das im Unterlauf zu einem unkontrollierten, abrupten Wechsel von Aufschotterung zu Erosion oder zu einer Beschleunigung der Tiefenerosion, im schlimmsten Fall sogar zum Einsturz von Brücken führen.

## *4. Faziesveränderungen*

Die Sedimentation unserer Binnenseen spielte sich im Postglazial während Jahrtausenden ziemlich unverändert ab, entsprechend dem unveränderten Chemismus des



Seewassers. Durch die Einleitung von häuslichem und industriellem Abwasser in die Seen erfolgte in den letzten Jahrzehnten eine Düngung mit Nährstoffen, unter denen dem Phosphat eine zentrale Bedeutung als Regulator zukommt. Im Seesediment führte das zu einem grundlegenden Fazieswechsel, indem über älteren, sauerstoffhaltigen Sedimenten, wie Seekreiden und anorganischen Silten und Tonen, neuerdings nun schwarze Faulschlammschichten, Sapropelite, abgelagert werden. NIPKOW (1920) datiert im unteren Zürichseebecken diesen abrupten Fazieswechsel auf Grund von Jahreswarven an ungestörten Bodenproben auf das Jahr 1886. THOMAS (1971) konnte für den Zürichsee nachweisen, dass seit 1967 die bedenkliche Eutrophierung des Sees rückläufig ist und durch eine Oliogotrophierung, einen erhöhten Sauerstoffgehalt und verringerten Phosphatgehalt, abgelöst wird, welchen anthropogenen Fazieswechsel er auf die Wirkung der in den letzten Jahren erstellten Kläranlagen im Einzugsgebiet des Sees zurückgeführt.

Das Meer, das während Jahrmillionen bis vor wenigen Jahrzehnten eine vom Menschen unbeeinflusste konstante Zusammensetzung aufgewiesen hat, wird in neuester Zeit in den küstennahen Regionen zur Müllgrube (BÖHLMANN 1971). Häusliche und industrielle Abwässer, Abfälle aller Art, Kohlenwasserstoffe und Pestizide werden in grossen Mengen über Flüsse, neuerdings auch direkt in Pipelines oder mittels Transportschiffen dem Meer übergeben. Die einst vom Menschen unbeeinflusste Fazies litoraler Sedimente beginnt damit, anthropogene Einflüsse aufzuweisen. Analog zu den Faziesveränderungen in Binnengewässern kann die Überdüngung küstennaher Meeresteile oder die Vergiftung der autochthonen Flora und Fauna zu veränderten organischen Sedimenten Anlass geben.

### *5. Veränderungen am Grundwasser*

Durch die Verwendung von Kunstdüngern verursacht der Mensch eine unkontrollierte künstliche Anreicherung an Kalium-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen in den obersten Bodenschichten, die durch die Niederschläge wieder ausgelaugt und nach unten ins Grundwasser verfrachtet werden.

Wo der pyrithaltige Abraum aus dem Steinkohlenbergbau auf Halden geschüttet wird, wird im Grundwasser der Sulfatgehalt künstlich erhöht, da die Niederschläge die unbedeckten Halden durchströmen und dabei eine Pyritoxydation bewirken (SIBERT und WERNER 1969).

Analoges gilt für die Deponien anderer chemisch aktiver Industrieabfälle und von Hauskehricht. Wo aber nicht nur feste, sondern flüssige Abfallstoffe dem Untergrund übergeben werden, ist die Gefahr einer unkontrollierbaren Grundwasserverunreinigung natürlich besonders gross. Die Versenkung von Kaliablage in durchlässigen Karstwasserleitern, die zurzeit nicht für die Trinkwasserförderung genutzt werden, wird in Kalibergbaugebieten betrieben und vorderhand als das geringere Übel als Übergabe an die Oberflächengewässer gewertet (MAYRHOFER 1965, FINKENWIRTH 1967). Es kann aber nicht verschwiegen werden, dass das weitere Schicksal solcher Industrieabwässer in grossen Tiefen nicht kontrolliert werden kann und dass durchaus die Möglichkeit besteht, dass sie entgegen der Voraussicht am allgemeinen Wasserkreislauf wieder teilnehmen und in unerwartetem Zeitpunkt und an unerwarteter Stelle im genutzten Grundwasser wieder auftauchen.

Die Infiltration aus anthropogen stark belastenden Flüssen ins Grundwasser kann in letzterem zu vollständiger Sauerstoffzehrung und einer starken Beeinträchtigung der Wasserqualität führen, besonders häufig beobachtet längs Stauhaltungen von Flusskraftwerken. Sehr labiles chemisches Gleichgewicht, geringer Sauerstoffgehalt, Reduktion der Nitrate, Bildung von Ammoniak und kräftige Erhöhung des Gehaltes an gelöstem Eisen und Mangan sind die Kennzeichen solchen Grundwassers.

## *6. Künstliche Seismizität*

In neuerer Zeit wurde bekannt, dass durch den Aufstau grosser Wassermassen in Stauseen oder durch Abwasserversenkungen unter grossem Druck eine spontane künstliche Seismizität ausgelöst werden kann, die im Verlauf von Jahren oder Monaten wieder abklingt. Ein Erdbeben am 10. Dezember 1967 mit dem Konya-Staudamm südöstlich von Bombay als Epizentrum, mit einer Wasserhöhe von rund 110 m, erreichte immerhin eine Magnitude von  $M=6,4$  und forderte rund 200 Tote (ST. MÜLLER 1970). Ob und in welchem Ausmass solche Erdbeben auftreten, lässt sich vorderhand nicht voraussagen; der Mensch beherrscht sie nicht.

## *7. Terrainsetzungen*

### *a. Durch Grundwasserabsenkungen*

Wo der Grundwasserspiegel künstlich abgesenkt wird, sei es in Grundwasserfassungen, sei es in flächenhaft angelegten Entwässerungsanlagen und Drainagen, sei es im Bergbau, führt das unweigerlich zu einer Setzungsbewegung an der Oberfläche. Diese Geländesetzung beträgt in Torfgebieten rund 10–30 % des Betrages der Grundwasserabsenkung, in setzungsunempfindlichen Sanden und Kiesen grössenordnungsmässig 0,1–0,2 %.

Von der rund 200 km<sup>2</sup> messenden Küstenebene bei Saga, Kiuschuu, Japan, melden SAYMA und MOMIKURA (1971) Landsenkungen, die unzweifelhaft mit der sehr intensiven Grundwassernutzung für Bewässerung im Zusammenhang stehen. Die Senkungsgeschwindigkeit betrug in den letzten Jahren im Mittel rund 27 mm/Jahr, im Maximum bis 60 mm/Jahr, und führte zu zahlreichen schweren Gebäudeschäden.

Nach VARNHAGEN (1967) wird in der niederrheinischen Bucht, dem bedeutendsten Braunkohlenrevier Deutschlands, wo die Braunkohle des Mittelmiozäns im Tagbau bis in 250–300 m Tiefe abgebaut wird, eine Grundwasserabsenkung um den ähnlichen Betrag aufrechterhalten. Aus Hunderten von Brunnen von 150 bis 350 m Tiefe werden dort auf einer Fläche von rund 500 km<sup>2</sup> pro Jahr rund eine Milliarde m<sup>3</sup> Grundwasser gefördert. Die auf diese Weise bewerkstelligte Grundwasserabsenkung bewirkt nicht nur die Trockenlegung vieler Brunnen und Grundwasserfassungen, für welche die Braunkohlenbergwerke Ersatzwasser zu beschaffen verpflichtet sind, sondern auch messbare Setzungen der Erdoberfläche, die längs tektonischen Verwerfungen ungleiche Beträge erreichen und dann an Bahnen, Strassen, Rohrleitungen und Kabeln Schäden verursachen können. Die Geländesetzungen werden im Erftgebiet an rund 1200 periodisch nivellierten Punkten kontrolliert. Die Setzungen nehmen mit zunehmender Grundwasserabsenkung nicht linear, sondern im Sinne einer logarithmischen Funktion progressiv zu.



*b. Durch Erdöl- und Erdgasproduktion*

Ähnliche unerwünschte Setzungserscheinungen finden sich in Erdöl- und Erdgasfeldern.

Wo die Reservoirgesteine wenig konsolidiert sind, was besonders in Küstengebieten der Fall sein kann, treten unkontrollierte Terrainsetzungen in der Grössenordnung von Dezimetern, Metern oder Dekametern auf, welche in überbauten Gebieten zwangsläufig zu Gebäudeschäden führen (LOFGREN 1961, 1968).

In beiden Fällen, bei der Grundwasser- wie bei der Erdölnutzung, greift der Mensch in die natürliche Zirkulation der porenfüllenden flüssigen Phase ein, verändert die Druckverhältnisse und ersetzt die ursprüngliche Flüssigkeit durch eine andere oder durch Porenluft.

*c. Durch Bergbau*

Ausgedehnter und uneinheitlicher und damit mit grösseren Schäden verbunden sind die Terrainsetzungen in Bergbaugebieten, die von alters her als «Bergschäden» behandelt werden. Ob der mineralische Rohstoff in Stollen und Kavernen abgebaut oder durch Auslaugung als Sole gefördert wird, in jedem Fall muss man damit rechnen, dass an der Terrainoberfläche ungleiche Setzungen und daraus resultierende Schäden an Liegenschaften und Kunstbauten auftreten (NIEMCZYK 1949, LÜTKENS 1957).

*8. Eustatische Schwankungen des Meeresspiegels*

Es brauchen nicht immer Geologen und Ingenieure zu sein, die ins natürliche geologische Geschehen eingreifen und völlig unbeherrschte Wirkungen auslösen. Das möge an einem Beispiel dargetan werden, das EGLI (1970) anführt: Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft ist als Folge der vom Menschen betriebenen Verbrennungsprozesse in Industrie, für Heizung, Energiegewinnung und an Motorfahrzeugen nach BOLIN und ERIKSSON (1959) von 1900 bis 1950 um rund 12% angestiegen. Die dadurch verstärkte Rückstrahlung hat eine Temperaturzunahme zur Folge, die nach PLASS (1956) 1,1° pro Jahrhundert beträgt.

Eine solche generelle Temperaturerhöhung auf der ganzen Erde muss in den vergletscherten Gebirgen und insbesondere an beiden Polkappen zu einer Eisabschmelzung und, als Folge davon, zu einem glazial-eustatischen Meeresanstieg führen, der an allen natürlichen Flachküsten eine kaum abzuwendende Meeresüberflutung bewirken wird, also beispielsweise für Holland und Norddeutschland, aber ebenso auch für das Podelta mit Venedig wie auch für andere Deltagebiete nicht absehbare Folgen zeitigen wird.

\*

Wenn man diese verschiedenen Eingriffe des Menschen zu klassieren versucht, kann man gelegentlich in eine gewisse Verlegenheit geraten, welche Wirkungen man den tolerierten und welche den unkontrollierten Eingriffen zuordnen will.

Je grösser die Erfahrung der Ingenieure und der beratenden Geologen, um so weniger Platz bleibt eigentlich für die unerwarteten, unkontrollierten Wirkungen. Um so eher stellt sich dann die Frage nach dem Kunstfehler, wenn trotzdem eine solche un-

erwartete Wirkung eintritt, die Frage, ob vom Ingenieur oder vom Geologen gewisse Regeln der Baukunst oder der Geologie verletzt worden seien.

Jeder Ingenieur-Geologe, der ja mit diesen Fragen ständig konfrontiert wird, steht unter dem Druck der Verantwortung, die ihm sein Beruf auflädt, aber ebenso auch unter dem Druck seines Auftraggebers, der die Kosten für die Untersuchung oder für die Sicherung auf ein Minimum beschränkt sehen möchte, aber vom Geologen doch ausdrücklich oder stillschweigend verlangt, die Verantwortung zu übernehmen.

#### IV. EINSCHRÄNKUNG DES PRINZIPS DES AKTUALISMUS

Die Extrapolation der heutigen geologischen Vorgänge auf Vergangenheit und Zukunft ist eine konsequente Anwendung des Aktualismus, welcher als Forschungsmethode vor rund 150 Jahren erstmals von VON HOFF, dann von LEVEL und anderen in die Geologie eingeführt wurde.

Als Beispiel möge an die periodischen Vermessungen der Deltas unserer Alpenflüsse in die Voralpenseen erinnert werden, aus welchen Daten wir deren Wachstum und korrelat dazu die Abtragungsleistung der Flüsse in ihrem alpinen Einzugsgebiet zahlenmässig zu erfassen vermögen (Eidg. Amt für Wasserwirtschaft 1939, WAIBEL 1962). Aus diesen Deltavermessungen der letzten Jahrzehnte können wir den rezenten Abtrag in den Alpen auf die Vergangenheit extrapolieren. Es ergibt sich daraus – gleiches Klima und ruhige Kruste vorausgesetzt –, dass in den letzten 600000 Jahren die Einzugsgebiete unserer Alpenflüsse im Mittel um rund 200–300 m durch Erosion erniedrigt worden sind. Umgekehrt können wir die heutige Erosionsleistung auf die Zukunft extrapolieren und aussagen, dass die heutigen Einzugsgebiete, auf die Alpenrandseen als ihre Erosionsbasis bezogen, in rund 3–4 Mio. Jahren auf die Hälfte erniedrigt sein werden (JÄCKLI 1958).

Dieser aktualistische Gedankengang muss nun aber im Hinblick auf die anthropogenen Eingriffe eingeschränkt werden. Der Einfluss des Menschen wirkt sich beschleunigend auf die Abtragsprozesse dort aus, wo Waldrodungen und Kahlschläge vom Mittelalter bis ins letzte Jahrhundert die Hänge vom schützenden Wald entblössten und vermehrt der Erosion preisgaben. Umgekehrt haben alle künstlichen Entwässerungen, Aufforstungen, Wildbachverbauungen, künstlichen Kolmatierungen vom Typus Domleschg, künstlichen Stauseen und Kiesbaggerungen in den Flüssen eine verzögernde Wirkung auf das Deltawachstum.

Wenn der Geologe den räumlichen und zeitlichen geologischen Maßstab wahren will, wird er erkennen, das mindestens bisher in der Kette der nie abreissenden Naturvorgänge der Faktor «Mensch» neben allen übrigen geologischen Faktoren eine örtlich überaus beschränkte Rolle spielte, die zeitlich übrigens erst seit rund 3000 Jahren eingesetzt hat. Wenn jedoch in absehbarer Zeit mit nuklearen Sprengstoffen Bergbau betrieben wird, wenn mit nuklearen Mitteln neue Schifffahrtswege gebaut, Flüsse abgeleitet, Hafenbecken geschaffen, Landbrücken durchstossen werden, wird sich das bisherige Verhältnis zwischen menschlichen und natürlichen Eingriffen allerdings grundlegend ändern (VON BÜLOW 1954).

Die heutige Generation von Naturwissenschaftlern hat gegenüber der ihr anvertrauten und, anthropozentrisch ausgedrückt, ihr ausgelieferten Erde die Verantwortung zu tragen. Vom Menschen wird verlangt, dass er, wenn er schon als geologischer

Faktor in das natürliche geologische Geschehen eingreift, das mit Mass und mit Überlegung tue. Die Nichtgeologen verlangen und erwarten vom Geologen, dass er nur solche geologischen Eingriffe vollziehe, deren Wirkungen und Konsequenzen er zu überblicken vermag und deren Folgen er in räumlicher und zeitlicher Beziehung beherrscht.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- BASLER, E. (1971): *Umweltprobleme aus der Sicht der technischen Entwicklung*. Schweiz. Bauztg. 89/13.
- BECK, P. (1943): *Die Natur des Amtes Thun*. Druck- und Verlagsanstalt Ad. Schaer, Thun.
- BENTZ, A., und Martini, H. J. (1968): *Lehrbuch der angewandten Geologie*. Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart.
- BÖHLMANN, D. (1971): *Müllgrube Meer?* Kosmos 7/71.
- BÜLOW, K. VON (1954): *Anaktualistische Wesenszüge der Gegenwart*. Z. d. geol. Ges. 105.
- BUSINGER, A. (1836): *Der Kanton Unterwalden*.
- COLLET, L. W. (1916): *Le charriage des alluvions*. Annalen Schweiz. Landeshydrographie, Bern.
- DITTMER, E. (1955): *Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste*. Eiszeitalter und Gegenwart 8.
- Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (1939): *Deltaaufnahmen*.
- EGLI, E. (1970): *Natur in Not. Gefahren der Zivilisationslandschaft*. Hallwag-Verlag, Bern und Stuttgart.
- ENGLER, A. (1919): *Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer*. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen 12.
- FINKENWIRTH, A. (1967): *Deep Well Disposal of Waste Brine in the Werra Potash Region*. AIH-Mémoires VII. Hannover.
- GERBER, Ed. (1967): *Die Flussauen in der schweizerischen Kulturlandschaft*. Geogr. Helv. 22/1.
- GIERLOFF-EMDEN, H. G. (1954): *Die morphologischen Wirkungen der Sturmflut vom 1. Februar 1953 in den Westniederlanden*. Hamburger geographische Studien 4, Hamburg.
- GRAFTDIJK, K. (1960): *Holland bezwingt das Meer*. Verlag Wereldvenster, Baarn, Holland.
- GROSJEAN, G. (1962): *Die Ableitung der Kander in den Thunersee vor 250 Jahren*. Jb. vom Thuner- und Brienersee, Interlaken.
- HÄUSLER, H. (1959): *Das Wirken des Menschen im geologischen Geschehen*. Naturk. Jb. der Stadt Linz.
- HEIM, ALB. (1932): *Bergsturz und Menschenleben*. Vjschr. natf. Ges. Zürich, 77/20.
- JÄCKLI, H. (1957): *Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes. Ein Beitrag zur exogenen Dynamik alpiner Gebirgslandschaften*. Beitr. Geol. Schweiz, geotechnische Serie, 36.
- (1958): *Der rezente Abtrag der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation*. Eclogae geol. Helv. 51/2.
- (1964): *Der Mensch als geologischer Faktor. 250 Jahre Kanderdurchstich*. Geogr. Helv. 19/2.
- KOLB, A. (1962): *Sturmflut 17. Februar 1962. Morphologie der Deich- und Flurbeschädigungen zwischen Moorbürg und Kranz*. Hamburger geogr. Studien 16, Hamburg.
- LOFGREN, B. E. (1961): *Measurement of Compaction of Aquifer Systems in Areas of Land Subsidence*. U.S. Geol. Survey Research.
- (1968): *Analysis of Stresses Causing Land Subsidence*. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 600-B.
- LÜTKENS, O. (1967): *Bauen im Bergbaugebiet*. Springer-Verlag, Berlin.
- MAYRHOFFER, H. (1965): *Die Kaliabwässerversenkung in den Plattendolomit des Werra-Gebietes*. Exkursionsführer AIH-Kongress Hannover.
- MEYER, R. (1970): *Die Beanspruchung der Umwelt durch die Besiedlung*. Aus: «Schutz unseres Lebensraumes», Verlag Huber, Frauenfeld.
- MÜLLER, L. (1964): *The Rock Slide in the Vajont Valley*. Felsmechanik u. Ingenieurgeol. 2.
- (1968): *New Considerations on the Vajont Slide*. Felsmechanik u. Ingenieurgeol. 6.
- MÜLLER, St. (1970): *Man-Made Earthquakes. Ein Weg zum Verständnis natürlicher seismischer Aktivität*. Geol. Rundschau 59/2.
- MORLOT, V. (1916): *Flusskorrekturen der Schweiz*. Schweiz. Oberbauinspektorat 5, Bern.
- NIEMCZYK, H. (1949): *Bergschadenkunde*. Glückauf, Essen.

- NIPKOW, F. (1920): *Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsatzes im Zürichsee*. Z. Hydrologie 1, 100–122.
- PETER, A. (1922): *Die Juragewässerkorrektion*. Bern.
- ROESLI, F. (1965): *Das Renggloch als geologisches Phänomen und als Beispiel einer frühen Wildbachkorrektur*. Eclogae geol. Helv. 58/1.
- SAYAMA, M., und MOMIKURA, Y. (1971): *Groundwater in the Shiroishi Plane (Japan)*. International Association of Hydrogeologists, Asian Regional Conference, Guidebook for Kyushu Tour.
- SIBERT, G., und WERNER, H. (1969): *Bergeverkipfung und Grundwasserbeeinflussung am Niederrhein*. Fortschr. Geol. Rheinld. Westf. 17.
- SIMON, W. G. (1963): *Sturmfluten in der Elbe und bei Hamburg in historischer und aktuogeologischer Sicht*. Abh. Verh. nat. Ver. Hamburg 7.
- (1965): *Geschichte des Elbe-Aestuars*. Abh. Verh. nat. Ver. Hamburg 9.
- SPITS, A. (1959): *Neues Land. Zuiderseewerke und Deltaplan*. Amsterdam.
- (1960): *Die Deltawerke*. Vereniging Nederland in den Vreemde. Amsterdam.
- SCHMID, W. (1962): *Wildbachverbauungen und Flusskorrekturen im Einzugsgebiet der Linth/Limmat*. Wasser- und Energiewirtschaft 8.
- SCHULTZ, K. (1965): *Der Generalplan für das Land Schleswig-Holstein*. NZZ, Bl. 5, vom 10. 11. 1965.
- Schweiz. Vereinigung für Innenkolonisation und industrielle Landwirtschaft (1945): *Die Integralmelioration in der Talebene Domleschg*.
- STUMM, W. (1971): *Manipulation der Umwelt durch den Menschen*. NZZ Nr. 441 vom 22. 9. 1971.
- THOMAS, E. A. (1971): *Oligotrophierung des Zürichsees*. Vjschr. naturf. Ges. Zürich 116/1.
- VARNHAGEN, B. (1967): *Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Grundwasserabsenkung und Bodensetzung im Rheinischen Braunkohlenrevier*. Diss. T. H. Aachen.
- VOGT, J. (1958): *Zur historischen Bodenerosion in Mitteldeutschland*. Petermanns Mitt. 3.
- WAIBEL, F. (1962): *Das Rheindelta im Bodensee. Seegrundaufnahme im Jahre 1961*. Bericht des österreichischen Rheinbauleiters, Bregenz.
- ZWITTIG, L. (1964): *Die Beeinflussung des Grundwassers durch Mülldeponien*. Steirische Beitr. Hydrogeol.

